

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

ЮВІЛЕЙНИЙ ВИПУСК

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ:
ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО**

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ



Головний редактор – професор, д.т.н., Гордєєв О.О.

№50 2023

м. Луцьк

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ:
ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

№50 2023р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
професор, д.т.н. Гордєєв О.О.	(м. Луцьк)
Відповідальний секретар:	
доц., к.т.н. Христинець Н.А.	(м. Луцьк)
Члени редакційної колегії:	
проф., д.т.н. Андрущак І.Є.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Ліщина Н.М.	(м. Луцьк)
проф., д.пед.н. Тулашвілі Ю.Й.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Ліщина В.О.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Здолбїцька Н.В.	(м. Луцьк)
проф., PhD. Milosz Marek	(Польща, м. Люблін)
проф., д.т.н. Мельник А.О.	(м. Львів)
проф., д.т.н. Мороз Б.І.	(м. Дніпро)
проф., д.т.н. Тарасенко В.П.	(м. Київ)
проф., PhD. Alison McMillan	(Великобританія)
проф., PhD. Дехтяр Ю.Д.	(Литва, м. Рига)
доц., к.т.н. Мельник К.В.	(м. Луцьк)
проф., д.пед.н. Чернящук Н.Л.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Костючко С.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Дуда О.М.	(м. Тернопіль)
доц., к.т.н. Назаревич О.Б.	(м. Тернопіль)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
доц., к.т.н. Дуда О.М.	(м. Тернопіль)
доц., к.т.н. Ткачук А.А.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Мороз С.А.	(м. Луцьк)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
доц., к.т.н. Євсюк М.М.	(м. Луцьк)

Адреса редколегії:

Луцький національний технічний університет,
кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки
вул. Львівська 75, ауд.141
м.Луцьк, 43018
тел. (0332) 74-61-15
E-mail: cit@lntu.edu.ua,
сайт журналу: **cit-journal.com.ua**

Журнал засновано у грудні 2010 р.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 16705–5277 Р.
Засновник: Луцький національний технічний університет

**Рекомендовано до друку Вченою радою
Луцького національного технічного університету**
(протокол №8 засідання від 28.03.2023р.)

Журнал рішенням МОН України
наказом №515 від 16.05.2016р,
включено в перелік наукових фахових видань.

**Видання індексується у
наукометричних та реферативних базах:**
Open Academic Journals Index
Academic Resource Index ResearchBib
Rootindexing
Information Matrix for the Analysis of Journals
Ulrichsweb.

ISSN 2524-0560 (Online)
ISSN 2524-0552 (Print)

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Ковівчак Я.В., Дубук В.І., Берташ Д.С. Розробка автоматизованої системи моніторингу показників фізіологічного стану дитини.	5
Кузавков В.В., Поляк І.Є. Аналіз транспортної бази для встановлення стабілізованої платформи нетипової артилерійської системи.	15
Сіромаха А.Г., П'ятикоп О.Є., Котихова Л.Д. Питання розробки програмного забезпечення для автоматизації проведення та перевірки диктантів	21
Швачич Г.Г., Мамузич І., Мороз Б.І., Алексєєв О.М., Харь А.Т., Мироненко М.А. Прогнозування виробничних процесів на основі поліноміального регресійного аналізу.	27
ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Васильківський М.В., Болдирева О.С., Онищук Д.О., Гнатенко Ю.Ю. Динамічна інформаційна мережа із вбудованим штучним інтелектом.	36
Гулівата І.О., Радзіховська Л.М. Застосування кейс-технологій при здійсненні математичного моделювання економічних процесів.	46
Добришин Ю.Є., Бондаренко І.Д., Сидоренко С.М. Формалізація технологічного процесу діагностики програмного забезпечення після впливу кібератак.	52
Касянчук Д.П., Марченко О.І. Модифікований метод статичного аналізу коду для рішення задачі згортки рядкових констант.	57
Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rechun O.Yu. Components and key features of the analysis symmetric cryptocircuit.	65
Медвінський С.В. Авторизація користувача у комп'ютерній системі за допомогою зчитування зображення капілярів судинної оболонки ока.	71
Мельничук Ю.Є. Принципи побудови інформаційних систем освітнього призначення.	77
Міскевич О.І. Аналіз роботи мережевих утиліт в командному вікні Windows	84

Пастернак Р. М. Релятивістські рівняння руху в потенціальному силовому полі.	90
Поплавська Г.В. Дослідження впливу цифрових засобів на якість навчання.	95
Проніна О. І., Палій І. Д. Використання доповненої реальності для навчання дітей ранньої грамотності.	100
Романюк П.І. Хмарні технології: аналіз, перспективи, реалізації.	108
Саланда І.П., Фурман О.А., Бабій Н.В., Галаган І.М., Клак Д.С. Розробка моделі ключових STEM-компетентностей для учасників сучасного освітнього процесу.	114
Сахнюк П. В., Замурусва О. В., Федосов С. А. Використання ТУРОЗ як системи управління контентом у корпоративній сфері.	120
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА	
Romaniuk V., Bieliakov R. Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network.	125
Борисов О.В., Борисов І.В. Використання дронів для покращення ефективності електрозв'язку в умовах бойових дій.	131
Борисов О.В. Роль нейромережі у військовій розвідці та бойових діях.	136
Васильківський М.В., Будащ М.В., Болдирева О.С. Забезпечення інформаційного захисту в телекомунікаційних мережах 6G.	142
Мороз С.А., Якимчук Н.М., Селепина Й.Р., Євсюк М.М. Методи оцінки навантаження та втрат в телекомунікаційних мережах зв'язку.	151
Роман В.І., Глючок В.О. Удосконалення комп'ютерної програми для розрахунку координат розташування та вагових коефіцієнтів акустичних каналів ультразвукових витратомірів.	157

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-01>

УДК 004.67, 004.622, 004.031.4

Ковівчак Ярослав Васильович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-3905-4108>

Дубук Василь Іванович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6339-1032>

Берташ Діана Сергіївна, бакалавр

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДИТИНИ

Ковівчак Я.В., Дубук В.І., Берташ Д.С. Розробка автоматизованої системи моніторингу показників фізіологічного стану дитини. Стаття присвячена розробці автоматизованої системи моніторингу показників фізіологічного стану дитини. Приведено обґрунтування актуальності розробки системи. Проведено аналіз існуючих мобільних пристроїв отримання даних про фізіологічний стан людини. Розглянуто їх переваги та недоліки. Розроблено структурну схему системи. Побудовано діаграму випадків використання. Розроблено діаграму діяльності та діаграму класів. Побудовано базу даних системи. Здійснено реалізацію усіх компонентів системи, бази даних та інтерфейсу користувача. Розроблена автоматизована система моніторингу фізіологічного стану дитини може знайти своє застосування як окрема система, так і як частина медичного сервісу України для комплексного опрацювання даних про стан здоров'я дітей.

Ключові слова: автоматизована система, моніторинг показників, фізіологічний стан людини, діагностика та профілактика захворювань.

Kovivchak Ya., Dubuk V., Bertash D. Development of an automated system for monitoring indicators of a child's physiological state. The article is devoted to the development of an automated system for monitoring indicators of a child's physiological state. The ground for the relevance of the development of the system is provided. An analysis of the existing mobile devices for collecting data on a human physiological state was carried out. Their advantages and disadvantages of such devices are considered. A structural diagram of the system has been developed. A diagram of use cases is built. An activity diagram and class diagram has been developed. The system database has been built. All components of the system, database and user interface are realized. The developed automated system for monitoring the child's physiological state can be used both as a separate system and as part of the medical service of Ukraine for comprehensive processing of the health data of children.

Keywords: automated system, monitoring indicators, human physiological state, diagnostics and prevention of diseases.

Постановка задачі. Розвиток сучасних інформаційних технологій безпосередньо впливає на всі сфери людського життя: роботу, безпеку, відпочинок та інші. Однак, однією із найважливіших сфер життя людини є охорона здоров'я. Стан здоров'я людини, її самопочуття і, відповідно, можливості активного життя та ефективної праці є визначальними як для конкретної людини, так і для суспільства загалом. Тому інтенсивного розвитку набувають технології для діагностики і попередження захворювань, лікування, реабілітації та інших медичних цілей. У більшості випадків обладнання, що використовує відповідні технології, є доступним лише у стаціонарних медичних закладах, зокрема, для інтенсивної терапії [1]. Це ускладнює доступ до них для більшості людей. А, як відомо, несвоєчасно виявлення відхилення певних фізіологічних показників стану організму людини від норми може призвести до суттєвого ускладнення її здоров'я.

Концепція персоналізованої медицини, викладена автором у [3], передбачає організацію медичної допомоги, яка базується на виборі діагностичних, лікувальних та профілактичних засобів із урахуванням генетичних, фізіологічних, біохімічних та інших особливостей пацієнта. При цьому передбачається перехід від традиційної клінічної до персоналізованої діагностики захворювання з урахуванням індивідуальних показників пацієнта. Практичній реалізації такої концепції сприятиме використання системи моніторингу необхідних показників фізіологічного стану людини в домашніх умовах.

Особливо важливим є завдання моніторингу показників здоров'я дитини, адже діти самостійно не можуть описати і визначити свій фізіологічний стан. Тому звернення батьків до лікаря про незадовільний стан здоров'я дитини повинно бути своєчасним з метою його швидкої корекції [12]. Таким чином, доцільною є розробка системи, яка допоможе здійснювати контроль основних показників фізіологічного стану дитини: пульсу [9], сатурації [10], температури тіла [11], частоти

дихання [4], наявності бронхіальних хрипів [12], а також допоможе отримати додаткову інформацію про рухову активність дитини [8] та якість сну [2] тощо.

Отже, актуальною задачею є розробка системи моніторингу показників фізіологічного стану дитини, яка дасть змогу батькам і сімейному лікарю дистанційно отримувати об'єктивні показники про фізіологічний стан дитини. Такий моніторинг забезпечить отримання актуальної інформації про виникнення захворювання, необхідність надання пацієнту тих чи інших медичних послуг, забезпечить своєчасне лікування та попередить ускладнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Було проведено аналіз існуючих систем та пристроїв, які дають змогу отримувати дані про стан здоров'я людини. Таких пристроїв, на сьогодні, існує достатньо багато. Проте, багато з них призначені для визначення лише одного фізіологічного показника. Для більш детального аналізу було вибрано системи, які одночасно забезпечують отримання певного набору даних про фізіологічний стан людини.

Пристрій, розроблений авторами [5], використовується у складі комплексної медичної системи моніторингу сенсорних розладів, вимірює фізіологічні показники – температуру тіла та пульс.

При цьому на ринку представлена значна кількість моделей розумних годинників [14], які представляють собою комплексні пристрої, що вимірюють та обробляють показники фізіологічного стану людини.

Автори наукового дослідження [6] дослідили характеристики бездротової передачі біомеханічних сигналів з використанням протоколу TCP в телекомунікаційних мережах стандарту IEEE 802.11 Wi-Fi та підтвердили можливість ефективних зв'язків вбудованих та розподілених мобільних пристроїв, що підтримують роботу з відповідними мережами, і застосовуються у медицині, телемедицині та телереабілітації.

Пристрій *Tueo Health* [13] (приведено на рис. 1) використовує безконтактний давач, який дає змогу зібрати необхідні дані під час сну пацієнта. Перед використанням цього пристрою на основі фізіологічних даних людини визначаються показники астми.

Давач розміщується під матрацом і коли пацієнт спить він знімає дані про необхідні фізіологічні параметри людини. Якщо ці дані виходять за межі норми, пристрій надсилає дані лікарю.

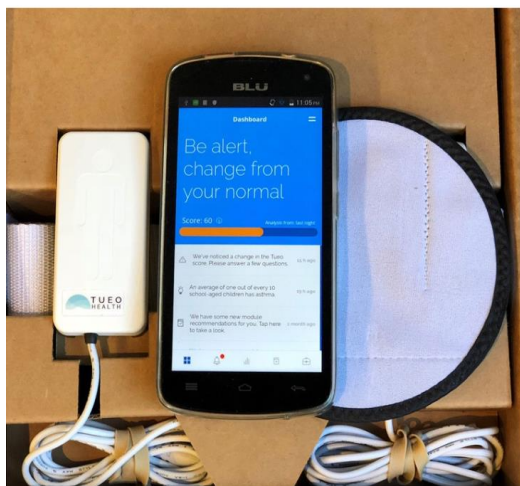


Рис. 1 – Загальний вигляд пристрою Tueo Health

Лікар проводить повний аналіз даних і розробляє рекомендації для покращення здоров'я пацієнта. Система збирає дані про частоту серцевих скорочень, частоту дихання, наявність кашлю, а також параметри, які допомагають визначити якість сну.

До переваг даного пристрою можна віднести: визначення якості сну; частоти серцевих скорочень; частоти дихання та кашлю; виявлення критичного стану під час сну; підтримка зв'язку з лікарем; оповіщення батьків про критичний стан дитини; збір даних за допомогою безконтактного давача.

До недоліків належать: залежність отримання даних від місця розміщення давача; збір даних, що стосуються лише однієї хвороби - астми; неможливість цілодобово отримувати необхідні дані.

Таким чином пристрій Tuo Health може використовуватись лише для виявлення симптомів астми у дитини і тільки під час сну.

Пристрій *Mi Band* [15] є одним із варіантів фітнес-трекера (рис. 2). Він передбачає виконання наступних функцій: визначає кількість зроблених кроків, вимірює пульс, витрачені калорії і на основі зібраної інформації може визначати стресовий стан людини.



Рис. 2 – Загальний вигляд пристрою *Mi Band*

Крім того, він містить вбудований пульсоксиметр для вимірювання рівня кисню в крові (сатурації), а також може здійснювати моніторинг сну: час засинання, пробудження, фази і тривалість сну. Трекер передбачає під'єднання до смартфона, що дає змогу зберігати статистику активності та фізіологічних показників користувача.

До переваг пристрою *Mi Band* можна віднести: вимірювання багатьох параметрів; містить вбудований будильник; цілодобове відстеження необхідних показників; наявний доступ до збереженої статистичної інформації.

Недоліки пристрою: він не призначений для використання дітьми; можлива неточність отриманих параметрів; відсутність повідомлення про критичний стан; не передбачено зв'язку з лікарем.

Отже, пристрій *Mi Band* має багато функцій, які є затребуваними для дорослої аудиторії, але є незручними для контролю за станом здоров'я дітей.

Пристрій *Babelt* [16] - призначений для моніторингу здоров'я дітей. Загальний вигляд пристрою приведено на рис. 3. Він здійснює збір і контроль основних фізіологічних параметрів організму дитини (частоти серцевих скорочень, температури тіла та якості сну). Пристрій може зберігати зібрані дані на хмарі. У випадку виходу контрольованих параметрів за межі норми, він надсилає повідомлення на заданий номер телефону.

За допомогою даного пристрою в режимі реального часу можна здійснювати дистанційний контроль необхідних фізіологічних параметрів. Давачі пристрою розміщені у корпусі-браслеті у формі ведмедика. Така форма браслета не викликає негативної реакції дітей.



Рис. 3 – Загальний вигляд пристрою *Babelt*

До переваг даного пристрою можна віднести: вимірювання частоти серцевих скорочень, температури тіла та якості сну; цілодобовий контроль показників; застосування антиалергічних матеріалів для браслету; надсилання повідомлень про критичний стан дитини. Недоліки: обмежена кількість фізіологічних параметрів вимірювання; відсутність мережного зв'язку з лікарем чи батьками.

Здійснивши аналіз переваг і недоліків пристроїв аналогічного призначення було прийнято рішення розробити автоматизовану систему моніторингу показників фізіологічного стану дитини з наступними функціями: визначення рівня фізичної активності; вимірювання пульсу; вимірювання сатурації; вимірювання температури; моніторинг сну; вимірювання частоти дихальних рухів; інформування про критичний стан.

Метою дослідження було розроблення автоматизованої системи моніторингу фізичного стану дитини.

Основна частина. У даній роботі розроблено структурну схему системи моніторингу показників фізіологічного стану дитини (рис. 4).

На структурній схемі приведено основне коло користувачів, елементи системи та зв'язки між ними. До основних користувачів системи належать: дитина, батьки та лікар. Дитина взаємодіє з компонентом системи, на якому розміщені давачі. Давачі вимірюють параметри фізіологічного стану дитини. Отримана інформація передається на хмарний сервер і у випадку виходу одного із параметрів за допустимі межі формується стисле текстове повідомлення (SMS) та надсилається батькам і лікарю. Крім того, отримані дані опрацьовуються на хмарному сервері, а результати опрацювання також передаються батькам та лікарю.

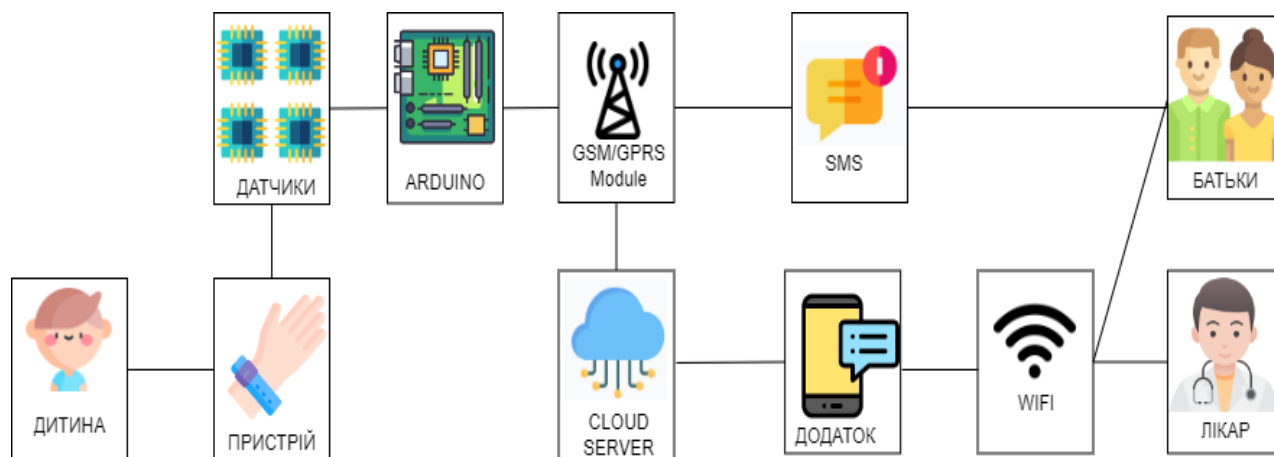


Рис. 4 – Структурна схема системи моніторингу фізіологічних показників

Під час проектування системи побудовано діаграму варіантів використання. Ця діаграма приведена на рис. 5. На діаграмі показано послідовність доступу до функцій системи її основними користувачами.

З метою визначення способів обміну даними між компонентами системи моніторингу по-

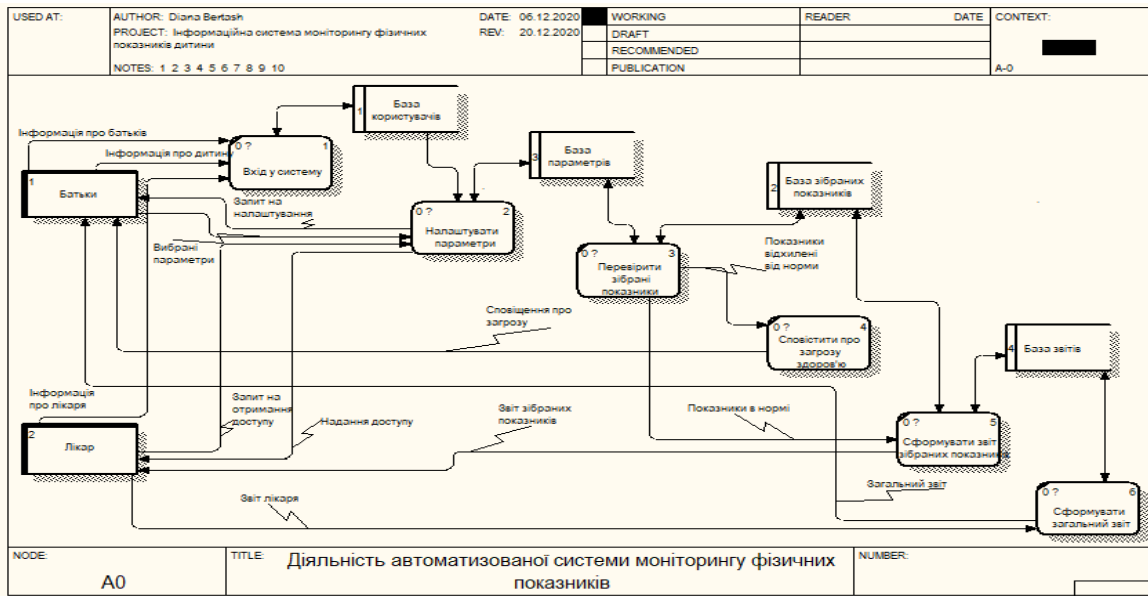


Рис. 7 – Діаграма потоків даних системи

казників фізичного стану дитини побудовано діаграму потоків даних. Діаграма потоків даних системи приведена на рис. 7.

На діаграмі показано, що основні потоки даних в системі організовано між наступними функціональними блоками: блоком управління входу в систему, блоком налаштування параметрів, блоком перевірки отриманих показників, блоком повідомлення про загрозу здоров'ю, блоком формування локальних звітів на основі отриманих показників, блоком формування загального звіту.

Для виконання основних функцій в системі передбачено 10 класів. Розроблену діаграму класів приведено на рис. 8. На цій діаграмі крім основних класів і їх структури показано взаємозв'язки між ними. В автоматизованій системі моніторингу фізичних показників дитини передбачено наступні класи: користувач, лікар, батьки, пристрій, характеристики даних, сповіщення користувача, сповіщення, подія, надсилання файлу, звіт.

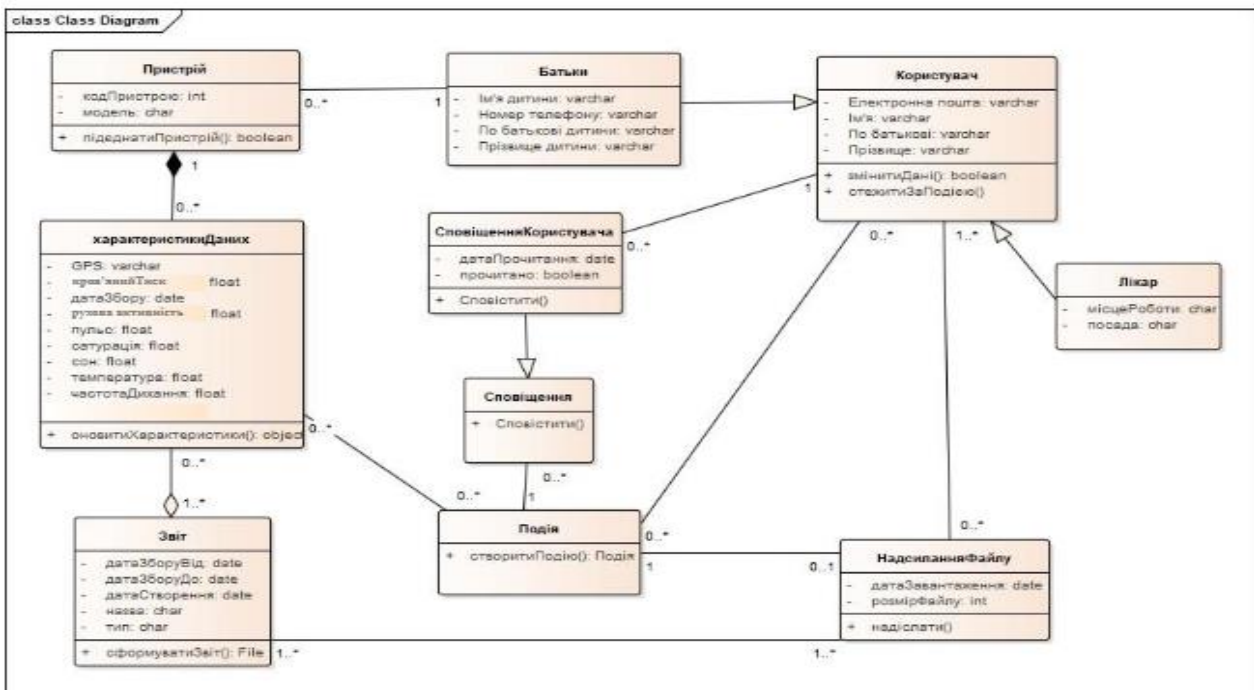


Рис. 8 – Діаграма класів

Також було побудовано базу даних автоматизованої системи моніторингу показників фізіологічного стану дитини. Структуру бази даних системи розроблено з використанням інструментів [19] та приведено на рис. 9. При практичній реалізації роботи з базою даних було використано інформаційно-технологічні рішення на базі Hibernate [17], Amazon RDS [18].

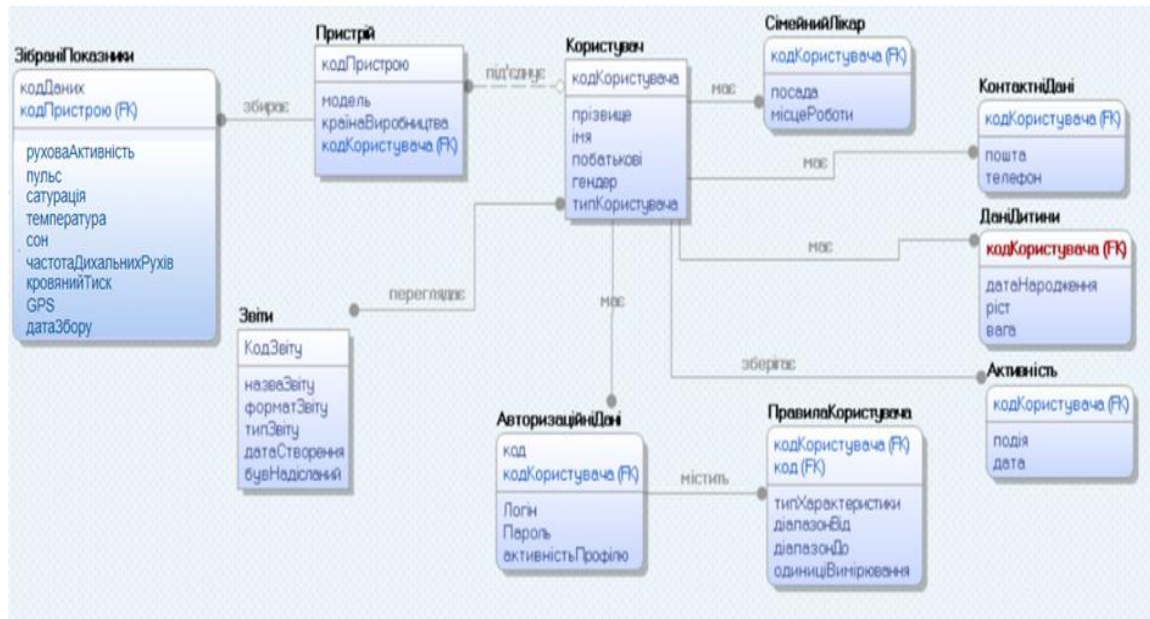


Рис. 9 – Структура бази системи

Під час розробки системи здійснено реалізацію всіх компонентів системи, бази даних та інтерфейсу користувача. При цьому було використане інструментальне програмне середовище IntelliJ IDEA [24], проектне середовища Apache Maven [25].

Інтерфейс користувача приведено на рис. 10.

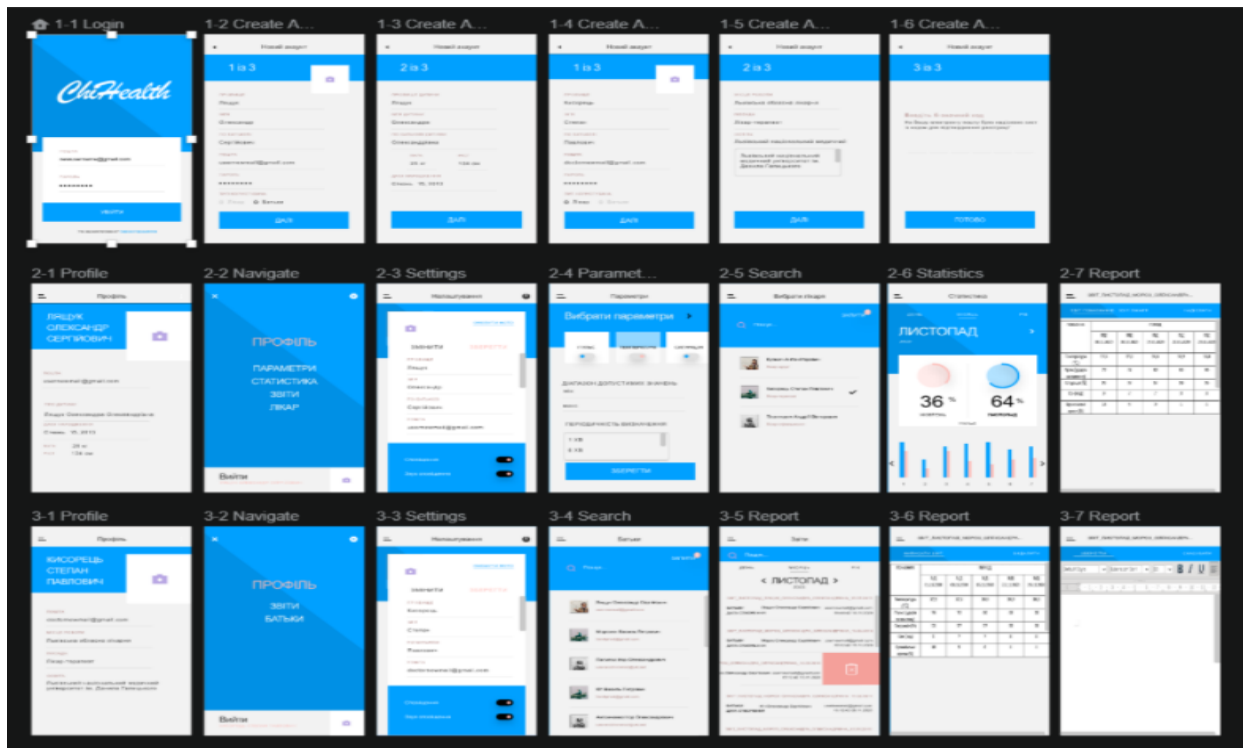


Рис. 10 – Загальний вигляд основних вікон інтерфейсу системи

Здійснено тестування компонентів системи, бази даних та її інтерфейсу.

Висновки. У результаті виконання роботи було здійснено аналіз існуючих пристроїв отримання даних про фізіологічний стан людини. Розглянуто їх переваги та недоліки. При проектуванні системи побудовано необхідний набір діаграм, які створили передумови для здійснення реалізації системи. Було розроблено базу даних та інтерфейс системи. Також виконано тестування компонентів системи, бази даних та інтерфейсу. Як результат роботи, розроблено автоматизовану систему моніторингу показників фізіологічного стану дитини. Запропонована система автоматизованого моніторингу фізіологічних показників здоров'я дитини може знайти своє практичне застосування як відокремлена для використання різними пацієнтами в домашніх умовах, так і як частина загальної комплексної системи.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що розроблено автоматизовану систему моніторингу показників фізіологічного стану дитини, яка забезпечить контроль фізіологічних показників організму дитини та повідомлення про зміну її фізіологічного стану.

Розроблена система моніторингу показників фізіологічного стану дитини також може бути успішно використана для опрацювання даних про фізіологічний стан організму дорослої людини як в умовах перебування у медичному закладі, так і вдома. Відповідна система може бути інтегрованою до складу комплексної системи медичного сервісу України, призначеної для збору та опрацювання інформації про стан здоров'я дітей або пацієнтів певного медичного закладу. Це сприятиме підвищенню рівня охорони здоров'я населення, що впливатиме позитивно на його життєдіяльність.

У перспективах подальших досліджень у даному напрямку є розширення номенклатури показників фізіологічного стану дитини, що підлягають моніторингу, контролю та подальшому опрацюванню та системна інтеграція розробленої системи моніторингу показників фізіологічного стану дитини до різних медичних систем та сервісів.

Список бібліографічного опису

1. Bockholt R., Paschke S., Heubner L., Ibarlucea B., Laupp A., Janićijević Ž., Klinghammer S., Balakin S., Maitz M.F., Werner C., Cuniberti G., Baraban L., Spieth P.M. Real-Time Monitoring of Blood Parameters in the Intensive Care Unit: State-of-the-Art and Perspectives. *Journal of Clinical Medicine*. 2022. Vol.11, no.9. 2408. URL: <https://doi.org/10.3390/jcm11092408> (date of access: 25.02.2023).
2. Eigl E.S., Urban-Ferreira L.K., Schabus M. A low-threshold sleep intervention for improving sleep quality and well-being. *Frontiers in Psychiatry*. 2023. Vol.14. 1117645. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1117645> (date of access: 25.02.2023).
3. Хайтович М.В. Персоналізована медицина: сучасний стан та перспективи. *Український науково-медичний молодіжний журнал*. Том 2. № 88. С.6-11. URL: [https://doi.org/10.32345/USMYJ.88\(2\).2015.6-11](https://doi.org/10.32345/USMYJ.88(2).2015.6-11) (дата звернення: 25.02.2023).
4. Shirasuna M. Data Analysis and System Development for Medical Professionals on Sleep Apnea Syndrome and Orthostatic Dysregulation by Processing-Healthcare Professionals and Patients. *Sensors*. 2022. Vol.22, issue 3. 1254. URL: <https://doi.org/10.3390/s22031254> (date of access: 25.02.2023).
5. Vicente-Samper J.M., Avila-Navarro E., Sabater-Navarro J.M. Data Acquisition Devices Towards a System for Monitoring Sensory Processing Disorders. *IEEE Access*. 2020. Vol.8. 20040267. PP.183596 — 183605. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029692> (date of access: 25.02.2023).
6. Callejas-Cuervo M., Vélez-Guerrero M.A., Alarcón-Aldana A.C. Characterization of Wireless Data Transmission over Wi-Fi in a Biomechanical Information Processing System. *Revista facultad de ingenieria*. 2019. Vol. 29, no. 54. e10228. URL: <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10228> (date of access: 25.02.2023).
7. Wnek K., Borylo P. A Data Processing and Distribution System Based on Apache Nifi. *Photonics*. 2023. Vol. 10, issue 2. 210. URL: <https://doi.org/10.3390/photonics10020210> (date of access: 25.02.2023).
8. Марченко Т.М. Рухова активність дітей дошкільного віку (консультація для батьків). *Всеосвіта*. URL: <https://vseosvita.ua/library/ruhova-aktivnist-ditej-doskilnogo-viku-konsultacia-dla-batkiv-235332.html> (дата звернення: 25.02.2023).
9. Що таке аритмія та як не прогавити патології серця у дітей. *Medion*. 2022. URL: <https://medion.pl.ua/klinika/shho-take-aritmiya-ta-yak-ne-progaviti-patologii-serca-u-ditej/> (дата звернення: 25.02.2023).
10. Пульсоксиметрія. *Empendium*. URL: <https://empendium.com/ua/chapter/B27.V.25.3>. (дата звернення: 25.02.2023).
11. Температура у дитини: все, що ви хотіли знати. *KinderKlinik*. URL: <https://kinderklinik.ua/uk/temperatura-u-ditini-vse-shho-vi-hotili-znati/> (дата звернення: 25.02.2023).
12. Рибаківський М. Принципи корекції загального стану: огляд дитини в стані, що загрожує життю. *Empendium*. URL: <https://empendium.com/ua/chapter/B27.8.209>. (дата звернення: 25.02.2023).
13. Helping your family manage asthma one day at a time. *Tueo Health*. URL: <https://www.tueohealth.com> (date of access: 25.02.2023).
14. Як вибрати розумний годинник. *Samsung Shop*. URL: <https://samsungshop.com.ua/samsung-news/1138.html> (дата звернення: 25.02.2023).

15. Mi Smart Band 6. На крок попереду. Mi. URL: <https://www.mi.com/ua/product/mi-smart-band-6/> (дата звернення: 25.02.2023).
16. Daniel. Babelt Smart Bracelet Monitors Your Baby's Temperature, Heart Rate and Sleep. Gadgets.in. URL: <https://gadgets.in.com/babelt-smart-bracelet-monitors-your-babys-temperature-heart-rate-and-sleep.htm> (date of access: 25.02.2023).
17. Hibernate. Everything data. Hibernate Org. URL: <https://hibernate.org/> (date of access: 25.02.2023).
18. Amazon RDS. Set up, operate, and scale a relational database in the cloud with just a few clicks. Amazon. URL: https://aws.amazon.com/rds/?nc1=h_ls (date of access: 25.02.2023).
19. Erwin Data Modeler. Erwin by Quest. URL: <https://www.erwin.com/products/erwin-data-modeler/> (date of access: 25.02.2023).
20. Hernandez R.D. The Model View Controller Pattern – MVC Architecture and Frameworks Explained. Freecodecamp. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/the-model-view-controller-pattern-mvc-architecture-and-frameworks-explained/> (date of access: 25.02.2023).
21. Why Spring? Spring by VMware Tanzu. URL: <https://spring.io/why-spring> (date of access: 25.02.2023).
22. Chris on Code. Build a RESTful API Using Node and Express 4. August 19, 2021. Digital Ocean. URL: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/build-a-restful-api-using-node-and-express-4> (date of access: 25.02.2023).
23. Darling S. How building a decision tree can help crack the team productivity code. Invision. URL: <https://www.invisionapp.com/inside-design/decision-tree-template/> (date of access: 25.02.2023).
24. IntelliJ IDEA – the Leading Java and Kotlin IDE. The IDE that makes development a more productive and enjoyable experience. Jet Brains. URL: <https://www.jetbrains.com/idea/> (date of access: 25.02.2023).
25. Welcome to Apache Maven. Apache Maven Project. URL: <https://maven.apache.org/> (date of access: 25.02.2023).

References

1. Bockholt, R., Paschke, S., Heubner, L., Ibarlucea, B., Laupp, A., Jančićjević, Ž., Klinghammer, S., Balakin, S., Maitz, M.F., Werner, C., Cuniberti, G., Baraban, L., & Spieth, P.M. (2022). Real-Time Monitoring of Blood Parameters in the Intensive Care Unit: State-of-the-Art and Perspectives. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9), 2408. <https://doi.org/10.3390/jcm11092408>
2. Eigl, E.S., Urban-Ferreira, L.K., & Schabus, M. (2023). A low-threshold sleep intervention for improving sleep quality and well-being. *Frontiers in Psychiatry*, 14, 1117645. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1117645>
3. Khajtovych, M.V. (2015). Personalized medicine: current situation and perspectives. *Ukrainian Scientific Medical Youth Journal*, 2(88), 6-11. [https://doi.org/10.32345/USMYJ.88\(2\).2015.6-11](https://doi.org/10.32345/USMYJ.88(2).2015.6-11)
4. Shirasuna, M. (2022). Data Analysis and System Development for Medical Professionals on Sleep Apnea Syndrome and Orthostatic Dysregulation by Processing-Healthcare Professionals and Patients. *Sensors*, 22(3), 1254. <https://doi.org/10.3390/s22031254>
5. Vicente-Samper, J.M., Avila-Navarro, E., & Sabater-Navarro, J.M. (2020). Data Acquisition Devices Towards a System for Monitoring Sensory Processing Disorders. *IEEE Access*, 8, 20040267. 183596-183605. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029692>
6. Callejas-Cuervo, M., Vélez-Guerrero, M.A., Alarcón-Aldana, A.C. (2019). Characterization of Wireless Data Transmission over Wi-Fi in a Biomechanical Information Processing System. *Revista facultad de ingeniería*, 29(54), e10228. <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10228>
7. Wnek, K., Borylo, P. (2023). A Data Processing and Distribution System Based on Apache Nifi. *Photonics*, 10(2), 210. <https://doi.org/10.3390/photonics10020210>
8. Marchenko, T.M. (2020, April 2). Movement activity of pre-school age children (consultation for parents). *Vseosvita*. <https://vseosvita.ua/library/ruhova-aktivnist-ditej-doskilnogo-viku-konsultacia-dla-batkiv-235332.html>
9. Medion. (2022, June 10). What is arrhythmia and how not to let pass heart pathology of children. <https://medion.pl.ua/klinika/shho-take-aritmija-ta-yak-ne-proraviti-patologii-serczya-u-ditej/>
10. Empendium. (2023). Pulse Oximetry. <https://empendium.com/ua/chapter/B27.V.25.3>.
11. KinderKlinik. (2020, May 7). Temperature of Child: all you want to know. <https://kinderklinik.ua/uk/temperatura-u-ditini-vse-shho-vi-hotili-znati/>
12. Rybakowski M. (2022, November 4). Principles of physiological state correction: review of child at dangerous for life state. <https://empendium.com/ua/chapter/B27.8.209>.
13. Tueo Health. (2017). Helping your family manage asthma one day at a time. <https://www.tueohealth.com>
14. Samsung Shop. (2023). How to choose smart watch. <https://samsungshop.com.ua/samsung-news/1138.html>
15. Mi. (2023). Mi Smart Band 6. At one step forward. <https://www.mi.com/ua/product/mi-smart-band-6/>
16. Daniel. (2016, November 19). Babelt Smart Bracelet Monitors Your Baby's Temperature, Heart Rate and Sleep. Gadgets.in. <https://gadgets.in.com/babelt-smart-bracelet-monitors-your-babys-temperature-heart-rate-and-sleep.htm>
17. Hibernate Org. (2023). Hibernate. Everything data. <https://hibernate.org/>
18. Amazon. (2023). Amazon RDS. Set up, operate, and scale a relational database in the cloud with just a few clicks. https://aws.amazon.com/rds/?nc1=h_ls
19. Erwin by Quest. (2023). Erwin Data Modeler. <https://www.erwin.com/products/erwin-data-modeler/>
20. Hernandez, R.D. (2021, April 19). The Model View Controller Pattern – MVC Architecture and Frameworks Explained. Freecodecamp. <https://www.freecodecamp.org/news/the-model-view-controller-pattern-mvc-architecture-and-frameworks-explained/>
21. Spring by VMware Tanzu. (2023). Why Spring? <https://spring.io/why-spring>

22. Chris on Code. (2021, August 19). Build a RESTful API Using Node and Express 4. Digital Ocean. <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/build-a-restful-api-using-node-and-express-4>
23. Darling, S. (2022, January 6). How building a decision tree can help crack the team productivity code. Invision. <https://www.invisionapp.com/inside-design/decision-tree-template/>
24. Jet Brains. (2023). IntelliJ IDEA – the Leading Java and Kotlin IDE. The IDE that makes development a more productive and enjoyable experience. <https://www.jetbrains.com/idea/>
25. Apache Maven Project. (2023). Welcome to Apache Maven. Apache Maven Project. <https://maven.apache.org>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-02>

УДК 62-23

Кузавков Василь Вікторович, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-0655-9759>

Поляк Ілля Євгенійович, ад'юнкт

<https://orcid.org/0000-0002-5469-3215>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ БАЗИ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ СТАБІЛІЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ НЕТИПОВОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ СИСТЕМИ

Кузавков В.В., Поляк І.Є. Аналіз транспортної бази для встановлення стабілізованої платформи нетипової артилерійської системи. В роботі проведено аналіз технічних характеристик транспортних засобів з метою встановлення нетипових вогневих засобів тактичної ланки з уніфікованою стабілізаційною платформою. Стабілізаційна платформа забезпечує автоматичну компенсацію збурень обумовлених функціонуванням вогневих засобів. В основу аналізу покладено вимоги до рухомих засобів, перелік нетипових вогневих засобів які вже використовуються в зоні ведення бойових дій та недоліки конструкції саморобного переобладнання транспортних засобів.

Ключові слова: транспортна база, стабілізована платформа, однооб'ємний, двооб'ємний, триоб'ємний автомобіль.

Kuzavkov V.V., Polyak I.E. Analysis of the transport base for the installation of a stabilized platform of an atypical artillery system. In the work, an analysis of the technical characteristics of vehicles was carried out with the aim of installing atypical firearms of the tactical link with a unified stabilization platform. The stabilization platform provides automatic compensation for disturbances caused by the operation of fire equipment. The basis of the analysis is the requirements for mobile vehicles, the list of atypical firearms that are already used in the combat zone, and the shortcomings of the constructions of self-made conversion of vehicles.

Keywords: transport base, stabilized platform, one-volume, two-volume, three-volume car.

Постановка завдання. При застосуванні сучасних зразків техніки, які адаптовані для роботи в умовах швидкої зміни обстановки, основна увага приділяється максимальному спрощенню їх налаштування, ефективному використанню особовим складом з різним рівнем технічної підготовки. Напрямок вдосконалення та модернізації військової техніки повинно бути підвищення ефективності функціонування системи управління до складу якої входить сукупність різнотипних технічних засобів (засобів зв'язку).

Аналіз досліджень. За результатами доступних публікацій [1] Проведено аналіз змін в конструкції сучасних автомобілів вітчизняного й іноземного виробництва. [2] Запропоновано визначення зміни центру маси в залежності від тактико-технічних характеристик встановленого нетипового вогневого засобу.

Метою статті є здійснення аналізу колісних транспортних баз цивільного призначення які використовуються з нетиповими вогневими засобами у тактичній ланці ЗСУ.

Виклад основного матеріалу. В ході збройної агресії РФ проти України швидкоплинність та мобільності ведення бойових дій вимагає масового використання високомобільних транспортних засобів (ТЗ). Волонтерські організації намагаються задовільнити постійно зростаючий запит ЗСУ в таких ТЗ.

На сьогодні вже спостерігається стійка тенденція до адаптації вогневих засобів різного типу та призначення (в тому числі і авіаційних) до наземної транспортної бази. Подалі, такі вогневі засоби називатимемо «не типові вогневі засоби». На даний час використовується транспортна база на колісній або гусеничній базі. Встановлення на нетипові вогневі засоби на високомобільній транспортній базі доводить доцільність створення таких систем.

Водночас, переобладнанні ТЗ в польових умовах призводить до зменшення потенційних можливостей вогневих засобів. Це пов'язано з відсутністю допоміжних систем наведення, керування, стабілізації, які здатні врахувати особливості ТЗ і вогневих засобів як єдиної системи.

Відсутність централізованого керування цим процесом призвело до прояви в тактичній ланці цивільних транспортних засобів різних виробників. Спільною рисою таких транспортних засобів є висока мобільність, висока прохідна здатність та можливість встановлення вогневих засобів ураження нетипових для сухопутних військ. Варіанти таких саморобних конструкцій наведено на рисунках 1,2,3. Відсутність інженерних розрахунків, які б узгоджували технічні характеристики рухомого засобу з певним вогневим засобом, відсутність систем автоматичного керування знижують ефективність самих вогневих засобів та створюють небезпеку для особового складу

бойових розрахунків.



Рисунок 1 Задньопривідний ТЗ з нетиповою установкою РСЗВ



Рисунок 2 Повнопривідний ТЗ з нетиповою установкою РСЗВ



Рисунок 3 Гусеничний ТЗ з НУРСАМИ

Кожен автомобіль, від виробника забезпечується інструкцією з експлуатації. Параметри основних вузлів, механізмів і систем автомобіля, умови застосування, відображені в технічній документації.

Для організації експлуатації ТЗ в реальних бойових умовах та оцінки можливості встановлення вогневого засобу використовуємо наступні технічні параметри:

- номінальна вантажопідйомність (у кг, чи т);
- число місць для сидіння (стояння), включаючи водія;
- маса спорядженого автомобіля (у кг) і розподіл її по осях;
- габаритні розміри (м)-довжина, ширина, висота;
- колія (мм) передніх і задніх коліс або відстань між серединами здвоєних коліс;
- найбільша швидкість руху (км/год) з повним навантаженням по горизонтальній, прямолінійній дорозі з удосконаленим покриттям.

Однією з основних умов є наявність місця для встановлення та кріплення вогневого засобу, також необхідно передбачити можливість усунення демаскуючих ознак приналежності ТЗ до збройних сил.

При проведенні аналізу всі ТЗ розподілена за типом та видом кузова:

- відкриті (седан, універсал);
- закриті (кабріолет, родстер);
- вантажні (пікап, фургон).

До основних видів кузова відносяться: однооб'ємні (мінівен, мікробен); двооб'ємні (універсал, фургон); триоб'ємні (пікап, седан).

Однооб'ємний автомобіль має вантажність в межах 750-1000 кг . Місце для встановлення вогневого засобу (об'єм багажника) в межах 100-300л але потрібні конструктивні зміни в рамі авто. Прохідність (кліренс) в межах 100-190мм та мобільність (розгін та макс. швидкість) лежить в межах 13-19с та 140-160км/г. Має передню підвіску яка реалізована (поперечний важіль, поздовжній тросіон, поперечний стабілізатор, амортизаційна стійка) задня підвіска реалізована (поздовжній важіль, тяга, поперечний стабілізатор, пружина, нахилений важіль). Прохідність (кліренс) в межах 100-190мм та мобільність.

Двооб'ємний автомобіль має вантажність в межах 520-570 кг. Місце для встановлення вогневого засобу (об'єм багажника) в межах 350-500л але потрібні конструктивні зміни в рамі авто. Прохідність (кліренс) в межах 110-140мм та мобільність (розгін та макс. швидкість) лежить в межах 13-14с та 180-190км/г. Має передню підвіску яка реалізована (поперечний стабілізатор, амортизаційна стійка) задня підвіска реалізована (поперечний стабілізатор, гвинтова пружина,). Прохідність (кліренс) в межах 110-140мм.

Триоб'ємний автомобіль має вантажність в межах 1000-1500 кг. Місце для встановлення вогневого засобу (об'єм багажника) в межах вантажності (відкритий) не потрібні конструктивні зміни в рамі авто. Прохідність (кліренс) в межах 200-400мм та мобільність (розгін та макс. швидкість) лежить в межах 14-18с та 150-180км/г. Має передню підвіску яка реалізована (поперечний стабілізатор, пружина) задня підвіска реалізована (поперечний стабілізатор, гвинтова пружина,). Прохідність (кліренс) в межах 200-400мм.

Таблиця 1 Зведена таблиця характеристик ТЗ з перерахованими типами кузовів

Тип авто	Вантажність	Можливість встановлення	Мобільність	Прохідність
Седан	-	-	+	-
Універсал	+	-	+	+
Кабріолет	-	-	+	-
Родстер	-	-	+	-
Пікап	+	+	+	+
Фургон	+	+	-	-
Мінівен	+	+	-	-

Проведений аналіз показав, що найбільш придатним ТЗ для встановлення вогневих засобів є триоб'ємний автомобіль типу «Пікап».

Під час переобладнання ТЗ виникає низка технічних питань. Одне з них - кріплення вогневого засобу до ТЗ. Конструкція створена з підручних засобів без дотримання технологічних умов (іноді без розрахунків) зменшує ефективність використання вогневого засобу (відсутність наведення, зменшення темпу стрільби, зменшення влучності встановленого засобу) та може створювати загрозу для обслуговуючого персоналу.

Під час ведення вогню, не залежно від місця встановлення, вогневий засіб створює тиск на підресорні та непідресорні маси ТЗ змінюючи його коливальні властивості. Це, в свою чергу, змінює умови прицілювання та точність влучення (вогневу ефективність).

Колівальний процес залежить від наступних факторів:

- маса транспортного засобу;
- Розташування вантажу та механізмів;
- знаходження центра ваги ТЗ, ширина та довжина колії автомобіля та розташування підресорених мас по довжині й по висоті;
- радіус коліс та шин;
- твердість та тертя в системі підвіски, твердість амортизаторів, твердість та внутрішній тиск у шинах;
- місцезнаходження вісі крену, напрямку ведення вогню (лінії прицілювання) в горизонтальній та вертикальній площинах.

Колівальний ефект центра маси ТЗ можливо охарактеризувати прискоренням, періодом і амплітудою. Наявність таких характеристик колівального процесу дозволяє аналізувати та моделювати

його за допомогою математичного апарату(перетворення Лапласа та Фур'є) [5] .

При виведенні зі стану спокою об'єкту дослідження, він здійснить вільні коливання. Пружні системи які використовуються завжди мають коливання з визначеною частотою. Позначимо її частотою вільних власних коливань. Частота вільних власних коливань має залежність від маси та твердості системи:

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{cg}{G}} \text{ кол/хв}, \quad (1)$$

де G – маса тіла в кг; c – жорсткість системи підвіски в кг/см.

У випадку використання вогневих засобів виникає необхідність захисту підресореної частини транспортної бази від явища - «пробій». Для математичного опису закону зміни сили відновлення підресорних частин від деформації можливо використати нелінійну функцію. Виходячи з вимог до підвіски, це є степеневий або близький до нього закон зміни відновлювальної сили.

Властивості нелінійності у силі відновлення пружних амортизаторів є труднощами для дослідження та стійкості транспортної бази. Деякі питання пов'язані з динамікою колісних транспортних засобів з об'єктами вогневого ураження із нелінійно-пружною характеристикою сили відновлення розглянуто в [3, 4]. Власні поперечно-кутові та вертикальні коливання спричиняють вплив на підресорну частину ТЗ яка діє на його стійкість. Вказані нетипові збурення спричиняють небажані резонансні коливання на підресорну частину ТЗ - резонансні вертикальні коливання підресореної частини під час використання вогневих засобів.

Дослідженням в цьому випадку підлягають динамічні характеристики підвіски на резонансній частоті коливань та шляхи компенсації вказаних коливань.

Для розв'язку задач що поставлені за модель досліджуваного об'єкту взято двомасову механічну систему(рис. 4).

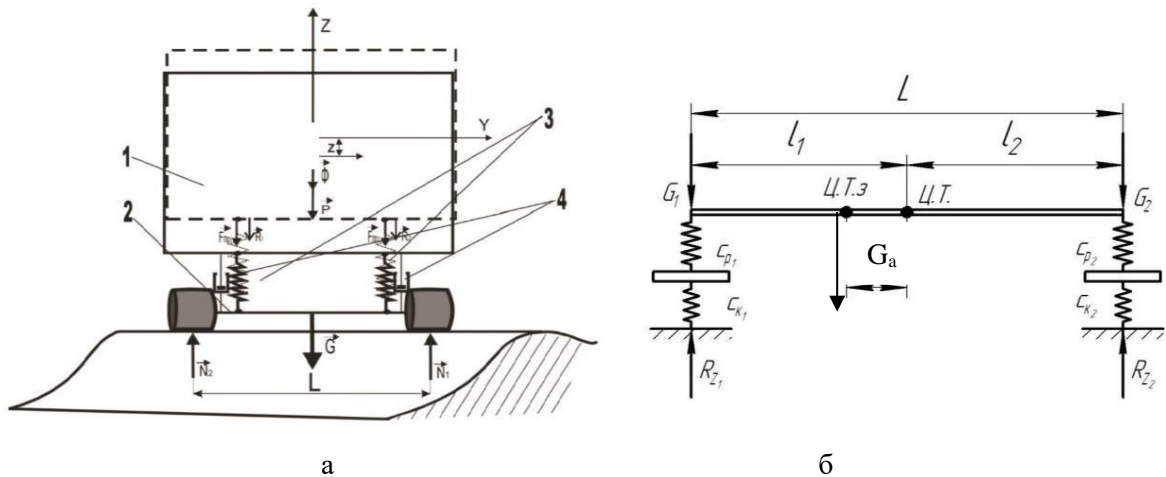


Рисунок 4. Модель транспортного засобу (а) та зміни центра ваги підресорної частини в дослідженні вертикальних коливань (б)

На рисунку 4(а) позначено: 1- підресорена частина 2- непідресорена частина 3- пружинні амортизатори 4- демпферні пристрої.

Окрім того, вважаємо:

відновлювальна сила $F_{пр}$ пружних амортизаторів, як функція їх деформації, описується степеневою функцією:

$$F_{пр} = c\Delta^{v+1}, \quad (2)$$

де Δ — деформація, c, v — сталі;

сила опору демпферних пристроїв - R залежить від деформації пружних амортизаторів;

сила, яка діє на підресорену частину зі сторони демпферних пристроїв описується періодичною функцією часу (рис.5).

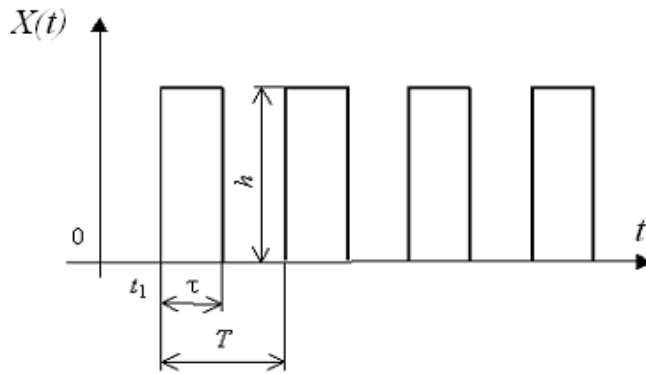


Рисунок 5 Вид та параметри збуджуючого впливу

На рис.5 позначено: T - періодичність пострілу, h сила віддачі діяння τ - тривалість збуджуючої дії геометричні характеристики та силові характеристики підвіски правого та лівого бортів однакові - N ;

центр ваги підресореної частини не збігається з його геометричним центром рис.4 (б).

На рис. 4(б) позначено: Ц.Т. – центр ваги автомобіля; Ц.Т.з – зміщений центр ваги автомобіля; L – база автомобіля; C_{p1} та C_{p2} – жорсткість передніх і задніх пружних елементів підвіски відповідно; $C_{к1}$ та $C_{к2}$ – жорсткість передніх і задніх коліс; R_{z1} та R_{z2} – реакції на передніх і задніх колесах; l_1 та l_2 – відстань від осей до центру ваги автомобіля; G_a – маса автомобіля, Δl – відстань від старого до нового центру ваги автомобіля.

Згідно з умовою рівноваги важеля, зусилля на опорах ($l_1=l_2$):

$$G_1 = G_2 = \frac{G_a \cdot l_1}{L} = \frac{G_a \cdot l_2}{L}, \quad (3)$$

При збільшенні ваги автомобіля на величину ΔG (вага вогневого засобу) його центр ваги зміститься на величину Δl . Тоді розрахункова схема автомобіля набуде вигляду:

$$G_1 = \frac{(G_a + \Delta G) \cdot (l_2 + \Delta l)}{L}, \quad (4)$$

$$G_2 = \frac{(G_a + \Delta G) \cdot (l_1 - \Delta l)}{L}, \quad (5)$$

Підставивши значення Δl ($\Delta l = k \cdot \Delta G$) отримаємо :

$$G_2 = \frac{G_a \cdot l_1}{L} + \frac{l_1 - k \cdot G_a}{L} \cdot \Delta G - \frac{k}{l} \cdot \Delta G^2, \quad (6)$$

За таких припущень підресорена частина перебуває у поступальному русі, а значить її положення однозначно визначається переміщенням центра ваги. Рівняння «динамічної рівноваги» підресореної частини набуває виду:

$$F_{пр} + R + \frac{P}{2} = 0, \quad (7)$$

де P — вага підресореної частини.

Якщо у довільний момент часу фіксувати положення центру ваги відносно його положення статичної рівноваги:

$$\Delta = f(z, \Delta_{ст.}, F_p), \quad (8)$$

де $\Delta_{ст.}$ — статична деформація амортизаторів, z — положення центру ваги підресореної частини у довільний момент часу., F_p — функція зміни збурення.

Очевидно статична деформація визначається співвідношенням:

$$\Delta_{ст.} = (P / C)^{\frac{1}{v+1}}, \quad (9)$$

Колісна та гусенична транспортна база мають відмінності в стійкості до коливального процесу. Звідси і моделі розрахунку компенсаційного впливу будуть різнитися.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Таким чином, для виконання бойових завдань потрібна ТБ з найбільшим тяговим зусиллям і прохідністю, ходова частина повнопривідної колісної ТБ повинна забезпечувати жорстко блокований привід крутильного моменту по мостах при збереженні кінематичної відповідності між ними.

Тож найпоширенішим та менш фінансово затратним є ТЗ з великою кількістю відкритого вільного місця на колісному ході - ТЗ типу «пікап». У зв'язку з цим, науковою задачею є створення відповідних математичних моделей для розрахунку компенсаційного впливу уніфікованої стабілізаційної платформи на основі технічних характеристик ТЗ та нетипового вогневого засобу.

Список бібліографічного опису

1. S. Kurnikov, «Формування ринкової структури автомобільного парку України», Politechnika Rzeszowska, № 11, 2017, pp. 35-39.
2. Сокіл Б. І. Власні вертикальні коливання корпусу автомобіля з урахуванням нелінійних характеристик пружної підвіски / Б. І. Сокіл, Р. А. Нанівський, М. Г. Грубель // Автомобільний транспорт : науково-вироб. журнал. — 2013. — № 5 (235). — С. 15—18.
- 3 Вертикальні коливання підресореної частини колісних транспортних засобів під дією випадкових збурень / [М. Г. Грубель, О. П. Красюк, М. Б. Сокіл, Р. А. Нанівський] // Наукові нотатки :Зб. наук. пр. ; Луцький національний технічний ун-т, Луцьк. — 2014. — В. 46. — С. 112—116.
4. Чудаков Е.А. Теория автомобиля. М. : Машгиз, 1950. 340-345 с.
5. Поляк І. Є. “Варіант будови системи стабілізації уніфікованої платформи транспортного засобу” Збірник тез доповідей II міжнародної науково-технічної конференції *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку* ВІТІ Київ 2022 С.172-174.

References

1. S. Kurnikov, "Formation of the market structure of the car fleet of Ukraine", Politechnika Rzeszowska, No. 11, 2017, pp. 35-39.
2. Sokil B. I. Inherent vertical oscillations of the car body taking into account the nonlinear characteristics of the elastic suspension / B. I. Sokil, R. A. Nanivskyi, M. G. Grubel // Automotive transport: research and development. magazine. — 2013. — No. 5 (235). - pp. 15-18.
- 3 Vertical oscillations of the sprung part of wheeled vehicles under the action of random disturbances / [M. H. Grubel, O. P. Krasniuk, M. B. Sokil, R. A. Nanivskyi] // Scientific notes: Collection. of science Ave.; Lutsk National Technical University, Lutsk. — 2014. — V. 46. — P. 112—116.
4. Chudakov E.A. Theory of the car. M.: Mashgiz, 1950. 340-345 p.
5. Polyak I. E. "Variant of the structure of the stabilization system of the unified platform of the vehicle" Collection of theses of reports of the II international scientific and technical conference *Systems and technologies of communication, informatization and cyber security: current issues and trends of development* VITI Kyiv 2022 P.172-174.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-03>

УДК 004.93

Сіромаха Аліна Геннадіївна, магістр

П'ятикоп Олена Євгенівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7731-3051>

Котихова Людмила Дмитрівна, асистент

<https://orcid.org/0009-0006-5008-622X>

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро/Маріуполь, Україна

ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОВЕДЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ ДИКТАНТІВ

Сіромаха А.Г., П'ятикоп О.Є., Котихова Л.Д. Питання розробки програмного забезпечення для автоматизації проведення та перевірки диктантів. Раніше диктанти були невід'ємною частиною будь-якого навчання та вивчення мови, для кращого запам'ятовування слів та орфографії. Але на цьому етапі життя через різні зовнішні причини навчання часто вимушено бути дистанційним. В цих умовах стало складніше проводити даний вид роботи, тому написання диктантів майже припинило своє існування, хоча це дуже ефективна форма роботи. Розвиток інформаційних технологій дозволяє створити програмне забезпечення для автоматизації процесу проведення диктантів. В статті наведено аналіз публікацій щодо синтезу мови та пошуку подібності між текстами. Надано опис прототипу програми, яка проводить вимову тексту та подальшу перевірку набраного користувачем тексту з початковим. В статті приводяться результати тестування програми для різних видів помилок.

Ключові слова: диктант, орфографія, синтезатор мови, автоматизоване порівняння тексту, перевірка синтаксису.

Siromakha A.G., Piatykop O.Y., Kotykhova L.D. Issues of developing software for automating the conduct and verification of dictations.

Previously, dictations were an integral part of any language learning and learning for better memorization of words and spelling. But at this stage of life, due to various external reasons, education is often forced to be remote. Under these conditions, it became more difficult to carry out this type of work, so writing dictations almost ceased to exist, although this is a very effective form of work. The development of information technology makes it possible to create software for automating the process of conducting dictations. The article presents an analysis of publications in the field of language synthesis methods and the search for similarities between texts. A description of the prototype of the program is presented, which performs the pronunciation of the text and the subsequent verification of the text typed by the user with the original one. The article presents the results of testing the program for different types of errors.

Keywords: dictation, spelling, language synthesizer, text comparison automation, syntax check.

Постановка наукової проблеми. Раніше диктанти були невід'ємною частиною будь-якого навчання та вивчення мови, для кращого запам'ятовування слів та орфографії. Але на цьому етапі життя через зовнішні причини і зручність перебування на дому або будь-де люди почали переходити на дистанційне, тобто онлайн навчання, де стало складніше проводити даний вид роботи, тому написання диктантів майже припинило своє існування, хоча це дуже ефективна форма роботи.

Нині сучасні інформаційні технології розвиваються дуже швидко. Створюється безліч різних програмних засобів для поліпшення і спрощення життя людей.

З початку 50-х років минулого століття інтенсивні дослідження сприяли створенню першої системи формантного синтезу мови. У наступні два десятиліття дослідження в цій галузі породили безліч робіт з базових методів лінгвістичної та просодичної обробки. Проте сам синтез мови не виходив за межі формантного підходу [1].

З поширенням комп'ютерів, початок 90-х було ознаменовано новим підходом до генерування промови – Unit–Selection (компіляційний синтез). Синтез мови за допомогою Unit–Selection кардинально відрізнявся від формантного синтезу високою якістю та природністю. Для максимального наближення синтезованої мови до природної людської за допомогою Unit Selection потрібно мати великий мовний корпус та серйозні обчислювальні потужності. Однак цей підхід мав свої недоліки, крім високої вартості, наприклад низьку гнучкість. Фактично було неможливо було змінювати акустичні ознаки під час синтезу мови для покращення експресивності мови або зміни її емоційності [2].

Кінець 90-х і початок 2000-х став свідком нового підходу до генерування промови з тексту, відомим як статистичний параметричний синтез промови (скорочено СПСМ). СПСМ вирішує основні проблеми, з якими зіткнувся Unit–Selection. Ця технологія дозволяє змінювати акустичні ознаки під час синтезу мови, вимагає невеликого обсягу місця для зберігання даних, і дуже зручна для дослідження впливу акустичних параметрів на емоційність мови.

До початку 2010-х технологія прихованих марківських моделей (скорочено СММ) домінувала у системах СПСМ завдяки низці переваг, зокрема, таких як надійність та швидкість обчислення. Однак, незважаючи на те, що технологія СММ працює досить ефективно, вона має серйозні обмеження в точності передбачення акустичних параметрів, оскільки, як показала практика, дерева прийняття рішень неефективні для моделювання складних контекстних залежностей.

Застосування глибокої нейронної мережі (англійською – Deep Neural Network, скорочено DNN) в СПСМ показало, що нейронні мережі можуть досягти більшої природності мови, ніж традиційні СММ, навіть з однаковою кількістю параметрів [3].

Пізніше у 2015 році Хейга Зен першим застосував нейронні мережі з довгою короткостроковою пам'яттю (англійською – Long-Short Term Memory, скорочено LSTM), завдяки чому акустичне моделювання в СПСМ перейшло від покадрового на ефективніше моделювання за послідовністю.

Однак мовні параметри, що генеруються цими моделями, виходять сильно згладженими, внаслідок чого якість мови, як і раніше, залишається невисокою в порівнянні з природною мовою. Ефект сильно згладжених акустичних параметрів є однією із найскладніших проблем у синтезі мови.

Також стало очевидним, що ступінь наукового опрацювання таких технологій дуже відрізняється для різних мов. Одним із основних та важливих напрямів є розробка високоякісних методів просодичної та лінгвістичної обробки для малоресурсних мов, як зазначено у статті [4].

Метою роботи є створення програмного забезпечення для автоматизації проведення та перевірки диктантів з використанням синтезу мови та методів порівняння текстових документів для пошуку помилок (виявлення текстуальної подібності).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Все частіше у повсякденному житті стали використовувати синтезатори мови. Як видно вже за однією назвою, вони здійснюють синтез мови, тобто формують письмовий текст в усний. За науковим визначенням – це комп'ютерне моделювання людської мови з текстового подання за допомогою методів машинного навчання. Завдяки цьому, наприклад, можна вивчати нові іноземні слова з правильною вимовою, читати книги не відволікаючись від своїх справ, sms-повідомлення, документи та цілі веб-сайти, можна будувати запити в пошукових системах без допомоги клавіатури, отримувати інформацію з особистого рахунку без використання паролів і навіть давати вказівки персональному автомобілю чи озвучувати текст диктантів на уроках у школах та на екзаменах, що частково виконується в даній роботі.

Існує кілька методів синтезу мови. Перший полягає у побудові слів шляхом комбінування фонем і алофон. Отримана фонемна послідовність, після вибору висоти тону та інтонації, перетворюється на мовлення. При такому підході генерується цілком зрозуміла мова, але користувачу, що слухає, ясно, що їх вимовляє робот. Другий метод синтезу мови полягає у її імітації з використанням моделі голосового тракту людини. Тут глухі і дзвінки згодні в мові є джерелами періодичних і шумових сигналів відповідно. Потім сигнали проходять крізь каскад фільтрів [5].

Існує безліч статей, де розглядаються різні методи використання синтезатору мови та його вдосконалення.

У статті [6] розбирається алгоритм стеммінгу, процедура скорочення всіх слів з однаковим до загальної форми, корисний у багатьох галузях обчислювальної лінгвістики та інформаційно-пошукова робота. Хоча форма алгоритму варіюється в залежності від його застосування, деякі лінгвістичні проблеми є спільними для будь-якої процедури стеммінгу. Як основу для оцінки попередніх спроб із цими проблемами, у цій статті спочатку обговорюються теоретичні та практичні атрибути алгоритмів стеммінгу. Потім нова версія контекстно-залежної запропонований алгоритм найбільшої відповідності для англійської мови; хоча розроблена від використання у системі передачі бібліотечної інформації, вона має загальний характер. Основна лінгвістична проблема у виділенні коріння, варіації у написанні стембел, обговорюється досить докладно.

У статті [5] пропонується нейронне збудження на основі WaveNet. Модель (ExcitNet) для статистичного параметричного синтезу промови системи. Звичайні системи нейронного вокодування на основі WaveNet значно покращують якість сприйняття синтезованої мови шляхом статистичної генерації тимчасової послідовності мовних сигналів через авторегресивну структуру. Поліпшити ефективність моделювання, запропонований вокодер ExcitNet використовує адаптивний зворотний фільтр для відокремлення спектральних складових від мовного сигналу. Залишкова

складова, тобто сигнал збудження. Потім навчені та згенеровані в рамках WaveNet. Таким чином, якість синтезованого мовного сигналу може бути надалі покращена, оскільки спектральна складова добре представлена фреймворком глибокого навчання і, крім того, залишковим компонентом, що ефективно генерується структурою WaveNet. Експериментальні результати показують, що запропонований вокодер ExcitNet, навчається в залежності від того, хто говорить, так і незалежно від того, хто говорить, перевершує традиційні вокодери з лінійним передбаченням і аналогічним чином налаштовані звичайні вокодери WaveNet.

У статті [7] представлена ефективність систем перетворення тексту на мову у поєднанні з нейронними вокодерами для створення високоякісної мови. Проте збирання необхідних навчальних даних та створення цих передових систем з нуля — це час і ресурсомісткий. Економічний підхід полягає у розробці нейронних вокодерів для поліпшення мови, що генерується існуючими та недорогими системами TTS. Проте такий підхід зазвичай достатній. Включає 2 проблеми: 1) тимчасові невідповідності між TTS та природними формами хвиль 2) акустичні невідповідності для перевірки та тестування.

Для вирішення цих проблем приймають циклічну модель перетворення голосу, для створення узгоджених у часі даних, для навчання та акустично узгоджені покращені дані для тестування нейронних вокодерів. Ця структура може бути застосована до довільних систем TTS та нейронних вокодерів. У цій роботі застосовується метод із сучасним вокодером WaveNet для двох різних базових систем TTS, а також об'єктивні та суб'єктивні експериментальні результати, що підтверджують ефективність запропонованої структури.

У статті [8] пропонують реалізувати покращення мови шляхом регенерації чистої мови з «помітного» уявлення, витягнутого з шумного сигналу. Мережа, яка виділяє суттєві ознаки, навчається, використовуючи набір клонів мережі екстрактора з поділом ваги. Клони отримують спектри різних шумових версій, той самий мовний сигнал, як і вхід. За висновком, суттєві особливості формують вхідні дані для мережі WaveNet, які генерують природний і чистий мовний сигнал з тими самими атрибутами, що і чистий наземний сигнал. У міру того, як сигнал стає більш шумним, система робить природні звукові помилки, які залишають на мовленні різноманіття замість традиційних артефактів, знайдених в інших системах.

Як стверджують у цій статті, проведені експерименти підтверджують, що система генеративного покращення забезпечує сучасну продуктивність покращення за подібним тестом. Система на основі клонів відповідає або перевершує інші системи за кожним вхідним діапазоном відношення – сигнал–шум зі статистичною значимістю.

У статті [9] робиться спроба визначити переваги двомовного навчання. Використовується мова trix (казахська) та вбудована мова (російська). Зокрема, оцінюється продуктивність моделі на матричних словах та вкладеннях виділених слів окремо. Використовують два набори даних: казахська мова з перемиканням коду та російська без перемикання коду. Навчають одномовну модель для кожного набору даних та двомовну модель для їхнього поєднання.

Основна мета експериментів — порівняти продуктивність моделі, навченої мови з перемиканням коду, з моделлю, навченої мови без перемикання коду, тобто на висловлюваннях обох текстів. Експериментальні результати показують, що двомовне навчання покращує навички моделі продуктивності на матричних словах та значно покращує її продуктивність на вбудовані слова. Спостерігається покращення 14,69% у кодових словах.

Також, в даний час має велике практичне застосування пошук подібності між текстами, у тому числі для виявлення плагіату в наукових та творчих дослідженнях. Існує три основні категорії виявлення текстуальної подібності: порівняння на основі слів, лінійний пошук на основі пунктів, що використовується пошуковими системами та стилістичний аналіз. Також існують методи, засновані на різних характеристиках текстів, такі як методи, що ґрунтуються на семантиці, як для виявлення плагіату; так і для пошуку інформації.

На вхіді процесу порівняння текстів є два документи, призначені для порівняння, один із яких є еталоном. На першому рівні аналізу проводиться вилучення текстових пасажів, виходом цього першого рівня буде перелік значних пасажів з кожного документа, які послужать як вхідні дані для наступного рівня для дозволу анафори, а останній, своєю чергою, надходить до рівня уявлення схем. Побудована схема подання є входом для виявлення рівня схожості між текстовими пасажами.

На цьому рівні, як вхідні дані використовуються текстові пасажі з документів і на основі їх результатів порівняння, виконується обчислення подібності між цими двома документами.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Для реалізації програмного забезпечення для автоматизації проведення та перевірки диктанту «Dictation Practice», було визначено умови, що повинні враховуватись при розробці:

- повинна працювати на базі операційної системи Windows;
- програма повинна мати процес перетворення тексту на мовлення для диктування;
- необхідно мати такі можливості як зупинка відтворення тексту та його включення спочатку;
- можливість вибору різних бібліотек синтезу мови, для вибору зручної для конкретної людини;
- можливість перевірки тексту, порівняння з початковим та виведення їх на екран;
- повинен у кінці виводитись висновок результатів написання диктанту, таких як «кількість слів написаних всього», «кількість знаків пунктуації», «кількість помилок», а також виділення помилок у самому тексті.

За ними було побудовано діаграму використання за методологією UML, що зображено на рисунку 1.

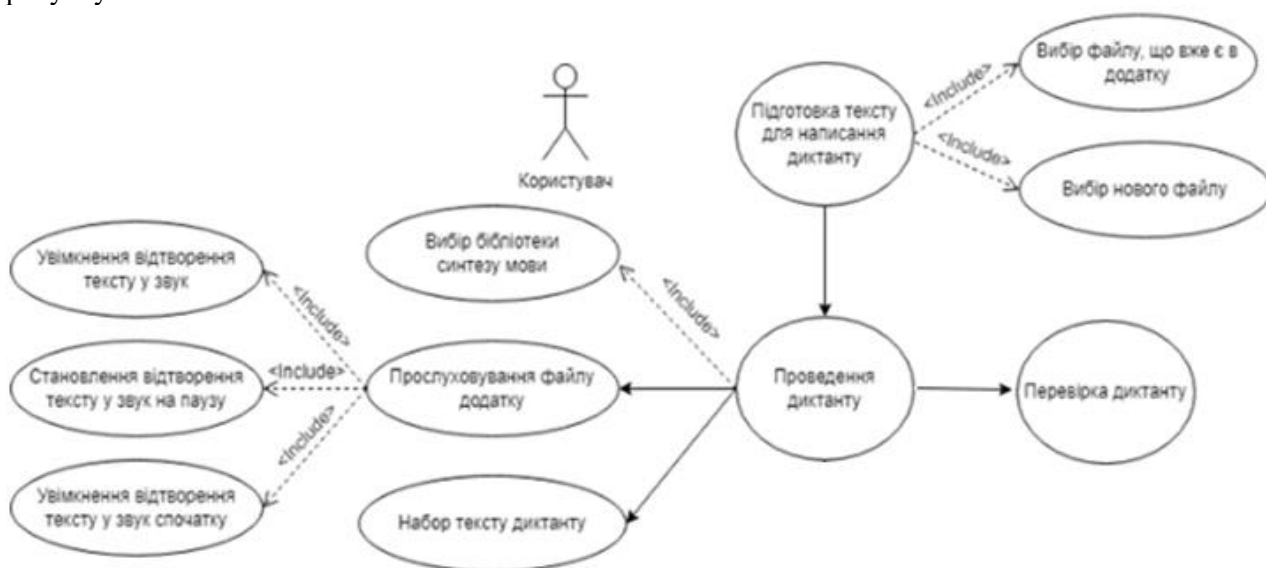


Рис. 1 – Діаграма варіантів використання додатку «Dictation Practice»

При розробці було використано бібліотеки для створення інтерфейсу користувача Win Forms (Windows Forms) та .NET Framework, а сам модуль написано на високорівневій мові програмування C#. Причиною використання є швидкість роботи .NET Framework та мови C#, та можливість формування користувацьких елементів керування у бібліотеці Win Forms. В якості синтезаторів мови використано бібліотеки Microsoft, Google, Amazon.

Розглянемо класи додатку «Dictation Practice» докладніше:

- OpenFileForm – початкова форма додатку, у якій необхідно обрати вже існуючий у додатку файл чи додати новий з комп'ютера, для початку роботи з вчиткою диктанту;
- MainForm – головна форма додатку, де є можливість вибору бібліотеки синтезатору мови (Microsoft, Google, Amazon), а також програвання тексту та форма для запису диктанту учнем для подальшої перевірки та виводу результату;
- DictationForm – кінцева форма, у якій вже виводиться результат перевірки / порівняння двох текстів та пошуку помилок.

Загальну діаграму класів наведено на рисунку 2.

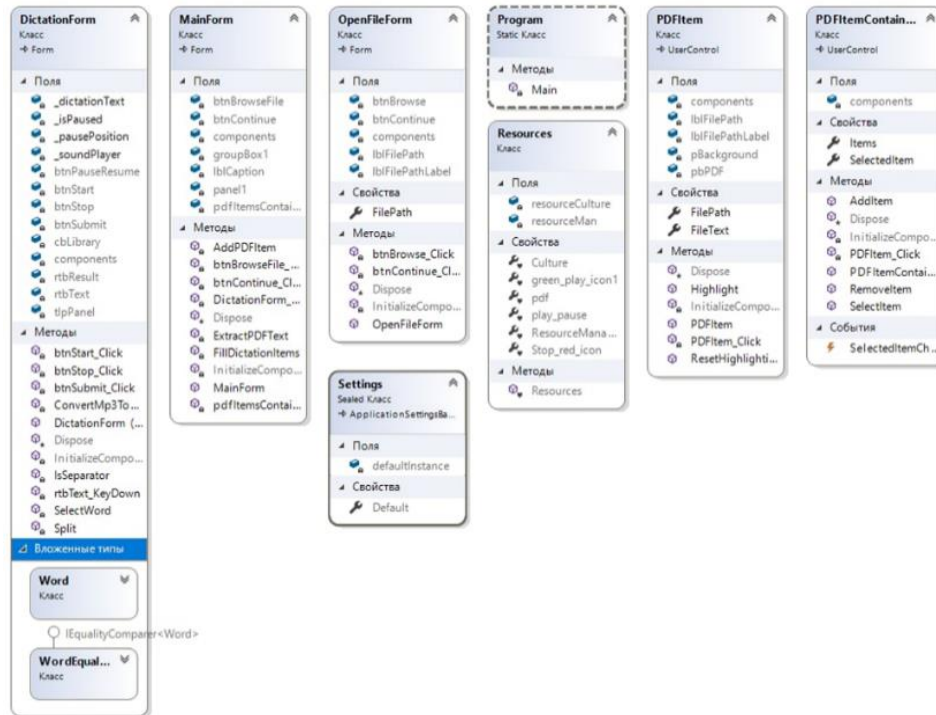


Рис. 2. Діаграма класів програми проведення диктантів «Dictation Practice»
Перевірка дефектів на практиці у розрахунковому вигляді надана у таблиці 1.

Таблиця 1. Результати використання програми проведення диктантів «Dictation Practice»

№	Можливі дефекти	Вхідні дані	Вихідні дані
1	Орфографічні помилок (по 1 в слові по всьому тексті)	8	8
2	Орфографічні помилки (по декілька в 1 слові по всьому тексті)	14	9
3	Пропуск знаку пунктуації	6	Розподілених знаків: 5 з 11
4	Зайві знаки пунктуації	15	Розподілених знаків: 15 з 11
5	Пропуск потрібного знаку пунктуації та занесення зайвого	Пропущено 6, додано 4	Розподілених знаків: 9 з 11
6	Написання усіх слів малими буквами	Задано усі слова (78)	4 помилки у словах, де потребується велика буква
7	Написання усіх слів великими буквами	Задано усі слова (78)	61 помилка (виділяє майже всі слова)
8	Використання непотрібних пробілів	Додано 9	Не сприймає як помилку (0)
9	Пропуск пробілів (не склеюючи слова)	7	Немає помилок, кількість слів 78 з 78
10	Пропуск пробілів (склеюючи по два слова)	7	Кількість слів 71 з 78 (сприймає як 1 слово), помилок 14 (на кожне слово)
10	Пропуск пробілів (склеюючи по декілька слів)	Пропущено 5 пробілів (склеюючи у 1 слово)	Кількість слів 73 з 78 (сприймає як 1 слово), помилок 5 (на кожне слово)
12	Використання спецсимволів (не склеюючи зі словом)	2	Кількість слів 80 з 78, помилок 0
13	Використання спецсимволів (склеюючи зі словом)	2	Кількість слів 78 з 78, помилок 2

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Нині сучасні інформаційні технології розвиваються дуже швидко. Створюється безліч різних програмних засобів для поліпшення і спрощення життя людей. Особливо це актуально в умовах дистанційного навчання. В умовах

онлайн навчання традиційна форма проведення диктантів потребує трансформації. Тому можна запропонувати автоматизацію процесу проведення та перевірки диктантів за допомогою відповідного програмного забезпечення. В роботі проведено аналіз наукових досліджень та публікацій сучасного стану технологій синтезу мови та перевірки подібності тексту. За допомогою мови програмування C# та бібліотек синтезу мови Microsoft, Google, Amazon розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє користувачу прослухати та набрати текст, а потім автоматично перевірити його з початковим зразком. Проведене тестування на різні види помилок показало можливість та доцільність розробки. Наступна діяльність буде присвячено покращенню ефективності роботи програми. Використання подібних програм сприятиме удосконаленню організації проведення та перевірки диктантів під час дистанційної форми навчання та для самопідготовки учнів.

Список бібліографічного опису

1. Fant G. Acoustic theory of speech production, The Hague, The Netherlands, Mouton, 1960.
2. Brown, P. F., Desouza, P. V., Mercer, R. L., Pietra, V. J. D., and Lai, J. C. Class-based n-gram models of natural language // Computational linguistics. 1992. V. 18. P.467-479.
3. Stratos K. et al. A Spectral Algorithm for Learning Class-Based n-gram Models of Natural Language //UAI. – 2014. – P. 762-771.
4. Kaliyev A., Rybin S.V., Matveev Y. The pausing method based on brown clustering and word embedding // Lecture Notes in Computer Science. 2017. V. 10458. P. 741-747
5. Morise M., Yokomori F., Ozawa K. WORLD: a vocoder-based high-quality speech synthesis system for real-time applications //IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems. – 2016. – Т. 99. – №. 7. – С. 1877-1884.
6. Lovins Julie Beth. Development of a Stemming Algorithm // Mechanical Translation and Computational Linguistics. — 1968.
7. Morise M., Watanabe Y. Sound quality comparison among high-quality vocoders by using re-synthesized speech //Acoustical Science and Technology. – 2018. – Т. 39. – №. 3. – С. 263-265.
8. Watts O., Valentini-Botinhao C., King S. Speech Waveform Reconstruction Using Convolutional Neural Networks with Noise and Periodic Inputs //ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2019. – С. 7045-7049.
9. Dmitrii Ubskii, Yuri Matveev, Wolfgang Minker. Impact of Using a Bilingual Model on Kazakh Code-Switching Speech // «Grammatical Structure in Codeswitching». 2019. P. 6

1. ite DK, Tudor-Locke C, Zhang Y, Fielding R, LaValley M, Felson DT, et al.
2. Daily walking and the risk of incident functional limitation in knee
3. osteoarthritis: an observational study. Arthritis Care Res (Hoboken).
4. 2014;66(9):1328-

References

1. Fant G. Acoustic theory of speech production, The Hague, The Netherlands, Mouton, 1960.
2. Brown, P. F., Desouza, P. V., Mercer, R. L., Pietra, V. J. D., and Lai, J. C. Class-based n-gram models of natural language // Computational linguistics. 1992. V. 18. P.467-479.
3. Stratos K. et al. A Spectral Algorithm for Learning Class-Based n-gram Models of Natural Language //UAI. – 2014. – P. 762-771.
4. Kaliyev A., Rybin S.V., Matveev Y. The pausing method based on brown clustering and word embedding // Lecture Notes in Computer Science. 2017. V. 10458. P. 741-747
5. Morise M., Yokomori F., Ozawa K. WORLD: a vocoder-based high-quality speech synthesis system for real-time applications //IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems. – 2016. – Т. 99. – №. 7. – С. 1877-1884.
6. Lovins Julie Beth. Development of a Stemming Algorithm // Mechanical Translation and Computational Linguistics. — 1968.
7. Morise M., Watanabe Y. Sound quality comparison among high-quality vocoders by using re-synthesized speech //Acoustical Science and Technology. – 2018. – Т. 39. – №. 3. – С. 263-265.
8. Watts O., Valentini-Botinhao C., King S. Speech Waveform Reconstruction Using Convolutional Neural Networks with Noise and Periodic Inputs //ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2019. – С. 7045-7049.
9. Dmitrii Ubskii, Yuri Matveev, Wolfgang Minker. Impact of Using a Bilingual Model on Kazakh Code-Switching Speech // «Grammatical Structure in Codeswitching». 2019. P. 6

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-04>

УДК 004.6

Швачич Геннадій Григорович¹, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-7023-1857>

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Мамузич Ілля², д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-7968-7540>

²Загребський університет, м. Загреб, Хорватія

Мороз Борис Іванович¹, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Алексєєв Олексій Михайлович¹, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4793-6669>

Харь Альона Тарасівна¹, асистент

<https://orcid.org/0000-0003-3176-7792>

Мироненко Микола Андрійович³, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6316-6778>

³Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут трубно-промисловості ім. Я.Ю. Осади», м. Дніпро, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ПОЛІНОМІАЛЬНОГО РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Швачич Г.Г., Мамузич І., Мороз Б.І., Алексєєв О.М., Харь А.Т., Мироненко М.А. Прогнозування виробничих процесів на основі поліноміального регресійного аналізу. В даній роботі на основі поліноміального регресійного аналізу побудовані адекватні математичні моделі виробництва труб на основних підприємствах гірничо-металургійного комплексу України. Це дозволило виконати прогноз розвитку відповідних ланок виробництва. При чому обробка експериментальних даних проводилася на основі використання сучасних засобів інформаційних технологій. Для побудови математичних моделей висувалися гіпотези про поліноміальну залежність експериментальних даних.

Ключові слова: математичне моделювання, прогноз, трубне виробництво, регресійний аналіз, адекватність моделі, інформаційні технології.

Shvachych G.G., Mamuzich I., Moroz B.I., Aleksieiev O.M., Khar A.T., Myronenko M.A. Prognostication of production processes based on polynomial regression analysis. In the article, on the basis of polynomial regression analysis, adequate mathematical models of pipe production at the main enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine are constructed. This made it possible to forecast the development of the relevant production chains. At the same time, the processing of experimental data was carried out by modern means of information technology. To build mathematical models, a hypothesis was put forward about the polynomial dependence of the experimental data.

Key words: mathematical modeling, prognosis, pipe production, regression analysis, model adequacy, information technology.

Постановка наукової проблеми.

В останні роки методи статистичного аналізу широко застосовуються в різних сферах діяльності людини і стають потужним інструментом в руках сучасного науковця та інженера. Ці методи дозволяють здійснити ефективну, строго наукову реєстрацію, обробку та аналіз результатів спостережень. Більш того, часто статистичні дані є єдиним джерелом інформації про досліджуване явище чи процес, тому питання статистичного аналізу стають основними при інтерпретації експериментальних даних. Не менше значення сьогодні надається і плануванню експериментальних досліджень. Все зростаюча складність експериментів, їх вартість, змушує дослідника відшукувати оптимальні плани організації та проведення дослідів.

Важлива причина актуальності застосування методів статистичного аналізу полягає в тому, що в даний час відбувається бурхливий розвиток нових інформаційних та комунікаційних технологій, їх проникнення в численні сфери діяльності людини. Це дозволяє контролювати виробничі процеси в режимі реального часу за допомогою реєстрації, передачі в базу, обробки та видачі рекомендацій щодо своєчасного корегування роботи автоматів, що, в свою чергу, забезпечує стабільність виробничих процесів, наприклад, за рахунок контролю зсуву центру розсіювання, контролю розмаху розсіювання та ін.

Отримання великих масивів первинної інформації та їх своєчасна обробка дозволяє отримувати відомості про розподіли випадкових величин, яких часто не вистачає розробникам нових технологій, обладнання систем і агрегатів. Слід зазначити, що завдання статистичного аналізу нерідко мають справу з великими і багатовимірними масивами вихідних даних, громіздкими і

© Швачич Г.Г., Мамузич І., Мороз Б.І., Алексєєв О.М., Харь А.Т., Мироненко М.А.

рутинними розрахунками при їх обробці, тому використання сучасних інформаційних технологій є задачею першочерговою.

В даній роботі на основі поліноміального регресійного аналізу побудовані адекватні математичні моделі виробництва труб на основних підприємствах гірничо-металургійного комплексу (ГМК) України. Це дозволило виконати прогноз розвитку відповідного виробництва.

Зауважимо, що глобалізаційні виклики початку 2020-х років вкрай різноспрямовані. Сучасний етап розвитку економіки України обумовлений впливом уведення в країні воєнного стану через нічим неспровоковану збройну агресію Росії проти країни-засновниці ООН України. Тому стаття, у якій розглядаються питання стану та перспектив розвитку трубної галузі ГМК України у 2022 році є актуальною.

Мета статті полягає у створенні на основі використання сучасних інформаційних технологій адекватних математичних моделей розвитку трубного виробництва, які використовуються для прогнозування аналізу виробничої діяльності підприємств. При цьому за основу досліджень взято огляд ринку трубної галузі ГМК України в період травня – серпня 2022 року на основі інформації, яка є у розпорядженні Об'єднання підприємств «Укртрубопром». Подібний аналіз особливостей розвитку металургійних підприємств і став основою для математичного моделювання прогнозу процесу виробництва труб на основі поліноміального регресійного аналізу.

Аналіз досліджень.

Аналіз літературних джерел показав, що метод найменших квадратів часто використовується в задачах статистичного моделювання навіть у тих випадках коли досліджувані набір даних різко змінює геометричну структуру [1–3]. У статті аналізуються статистичні дані на основі аналізу часових рядів. Для побудови математичної моделі висувалися гіпотези про поліноміальну залежність експериментальних даних. Проведення відповідних досліджень обумовлені наступними особливостями розвитку ГМК України.

За останні п'ять років на металургійних підприємствах України відбувалося стабільне зростання показників господарської діяльності [4–6]. Це було зумовлено як позитивною кон'юктурою на світових ринках металопродукції, так і відкладеним попитом через вплив пандемії COVID-19 у 2019- 2021 роках. Також позитивним чинником стало переорієнтування українських підприємств на збут своєї металургійної продукції на більш високомаржинальних ринках у країнах ЄС та США. Причому західні компанії-споживачі воліють укладати довготермінові контракти на постачання продукції, що забезпечує українських металургів стабільними надходженнями обігових коштів.

Щодо теорії обробки металів тисненням, то у означений період тривав розвиток уявлень про природу пластичної деформації металів. Це знайшло своє відображення, до прикладу, в роботах [7, 8].

В області математичного моделювання також мав місце певний прогрес [9,10]. Зокрема, прикладне значення мають поліноміальні моделі, що дозволяють здійснити достовірний прогноз відносно результатів моделювання. При чому, обробка експериментальних даних проводиться на основі використання сучасних засобів інформаційних технологій.

Актуальність теми обумовлена й тим, що трубні підприємства України, обрані нами для аналізу, є помітними гравцями світового ринку виробників подібної продукції, а метод математичного моделювання дозволяє з високою точністю виконати прогноз подальшого їхнього розвитку. При цьому модель може враховувати вплив воєнних дій на динаміку зміни виробничих результатів.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Об'єднання підприємств «Укртрубопром» було створено у 1992 році й нині є представником ключових виробників трубної продукції в Україні. Перш ніж ґрунтовно аналізувати сучасний стан трубної галузі ГМК України, варто порівняти обсяги виробництва, досягнуті в Україні за часів СРСР.

На момент розпаду Країни Рад її трубна промисловість виготовляла близько 19 млн. тон труб на рік, зокрема в Україні – 6,3 млн. тон труб на рік. Це були труби різноманітного призначення й широкого сортаменту. Всього близько 10 тисяч типорозмірів: діаметром від капілярних для медичної промисловості до 1420 мм для магістральних нафто- та газогонів.

Головною ж проблемою, що обмежувала зростання обсягів виробництва ще від радянської доби залишалася обмеженість внутрішнього ринку споживання подібної металопродукції. У 2022

році додався ще один суттєвий чинник – збройна агресія Росії проти України, яка суттєво впливає на динаміку економічних показників вітчизняних трубних підприємств.

У табл. 1 наведено зведене виробництво сталевих труб деякими підприємствами Об'єднання «Укртрубопром» за чотири місяці (травень – серпень) 2022 року в порівнянні з аналогічним періодом 2021 року. Для подальшого аналізу обрані саме ці підприємства, оскільки кожне з них є лідером на своєму сегменті ринку трубної продукції, а також відвантажують більшу частку своєї продукції за кордон.

Таблиця 1. Щомісячне виробництво сталевих труб підприємствами Об'єднання підприємств «Укртрубопром» у травні-серпні 2022 р. У порівнянні з аналогічним періодом 2021 р.

Найменування продукції по підприємствам	травень 2022 р.	травень 2021 р.	червень 2022 р.	червень 2021 р.	липень 2022 р.	липень 2021 р.	серпень 2022 р.	серпень 2021 р.
Труби сталеві, тис. тон:								
ТОВ «ІНТЕРПАЙП НЗБТ Ніко Тюб»	46,4	52,8	41,8	60,3	37,6	59,6	42,1	59,3
ТОВ «ВО «ОСКАР»	0,48	0,2	0,070	0,166	0,080	0,208	0,232	0,203
ТОВ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН»	1,0	1,5	0,9	1,5	0,5	1,5	0,7	1,5
ТОВ НВО «Трубосталь»	0,1	0,2	0,07	0,2	0,02	0,1	0,02	0,1
АТ «ІНТЕРПАЙП НмТЗ»	3,4	4,4	0,45	5,0	0,7	1,6	0,1	6,3
Труби сталеві по Об'єднанню «Укртрубопром»	51,4	59,4	43,2	67,0	39,2	63,3	42,8	67,2

Як видно з табл. 1, падіння виробництва за чотири місяці достатньо суттєве. Пояснення перебуває у площині активізації бойових дій в Україні в зоні розташування виробничих потужностей означених суб'єктів господарської діяльності. Також варто зробити наступне роз'яснення, що задля зручності із 16 спостережень, тобто щотижневих, у табл. 1 представлені лише 4 точки для апроксимації, тобто щомісячні дані, які являють собою суму щотижневих результатів виробничої діяльності.

Математичне моделювання широко застосовується в бізнесі, економіці, дослідженні економічної активності та навіть при аналізі політичних процесів. Головним інструментом тут виступає *економічна модель*, тобто економіко-математична модель факторного аналізу, параметри якої оцінюються засобами математичної статистики. Така модель орієнтована на аналіз і прогнозування конкретних економічних процесів на основі реальної статистичної інформації.

При вивченні залежності економічних показників на основі реальних статистичних даних із використанням апарату теорії регресійного аналізу можна відзначити, що лінійні моделі використовуються досить рідко. Здебільшого вони застосовуються як окремий випадок задля зручності й візуальності розгляду поточного економічного процесу. На практиці частіш за все зустрічаються моделі, які відображають економічні процеси у вигляді нелінійних залежностей. Прогнозування процесу виробництва труб, є однією з найбільш важливих задач, яку керівники підприємств й інвестори повинні вирішувати з метою успішного розвитку бізнесу. Лінійні моделі прогнозування складних часових рядів, зокрема і трендових, не завжди точно й достатньою мірою описують те, що відбувається при виробництві продукції. В запропонованій широкому загалу роботі розглянуто задачу прогнозування за допомогою поліноміального регресійного аналізу.

Принципова відмінність такого підходу полягає у наступному. Параметри поліноміальних рівнянь оцінюються, як правило, методом найменших квадратів. Суть такого підходу полягає в тому, щоб сума квадратів відхилень фактичних рівнянь ряду від відповідних теоретичних значень була найменшою. Цей метод призводить до системи так званих нормальних рівнянь задля

визначення невідомих параметрів обраних кривих. Такий підхід є справедливим, оскільки, як і в лінійній регресії, відповідні функції лінійні за параметрами та нелінійні за змінними.

Нелінійна регресія за включеними змінними не є складною в оцінці її параметрів. Вона визначається, як і в лінійній регресії, методом найменших квадратів (МНК), адже ці функції лінійні за параметрами. Відповідно, поліном будь-якого порядку може бути зведеним до лінійної регресії з її методами оцінювання параметрів і перевірки гіпотез.

Як доводить досвід численних досліджень, серед нелінійної поліноміальної регресії найчастіше використовується рівняння другого ступеня, в окремих випадках – поліном третього порядку. Обмеження щодо використання поліномів більш високих ступенів пов'язані з вимогою однорідності досліджуваної сукупності: чим більшим є порядок поліному, тим більше згинів має крива й відповідно менш однорідною є сукупність за результативною ознакою.

На першому етапі розглянемо прогнозування випуску продукції для підприємства ТОВ «Інтерпайп НЗБТ Ніко Тьюб». Задля цього побудуємо кореляційне поле, яке наведене на рис. 1. Окремо зазначимо, що пунктиром на рис. 1 виділено лінію регресії.

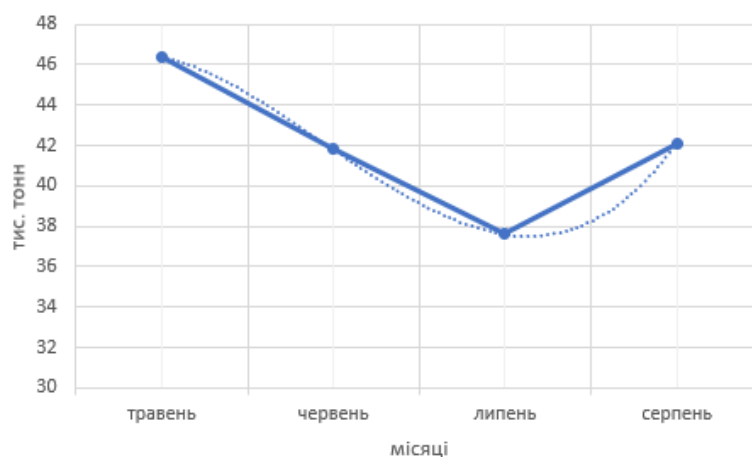


Рис. 1. Кореляційне поле та лінія регресії випуску продукції підприємства «Інтерпайп Ніко Тьюб»

Та перш ніж перейти до подальшого аналізу математичної моделі, розглянемо більш детально об'єкт дослідження – трубопрокатне підприємство. ТОВ «Інтерпайп Ніко Тьюб», яке знаходиться у м. Нікополі, один з високотехнологічних заводів України, оснащений системами контролю якості, які дозволяють випускати продукцію відповідно до світових стандартів API 5L, API 5CT, ASTM та інших. Трубопрокатний цех № 2 (ТПЦ № 2) – один з основних виробничих цехів заводу, який випускає продукцію для клієнтів зі США, Південної Америки, Африки, і країн Близького Сходу. ТПЦ № 2 випускає труби для видобутку і транспортування нафти і газу, нафтогазової промисловості, машинобудування та енергетики, а також труби загального призначення [11]. Навчання нових кадрів і підвищення кваліфікації відбувається у приміщенні навчального центру IQ 267, місією якого є зміна мислення співробітників, завдяки можливості професійного та особистісного зростання.

Повернімося до подальшого аналізу математичної моделі. В даному випадкові можливо висунути гіпотезу про нелінійне поліноміальне рівняння регресії другого ступеня. Це пояснюється тим, що для інтервалу значень фактору змінюється характер зв'язків ознак, які розглядаються: зворотний зв'язок змінюється на прямий. При цьому нормальне рівняння МНК для поліноміального рівняння другого ступеня має вигляд:

$$\begin{cases} n \cdot a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i. \end{cases} \quad (1)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (1) для даної вибірки значень, отримують рівняння регресії другого порядку наступного вигляду:

$$y = 2,26 \cdot x^2 - 13,09 \cdot x + 57,63. \quad (2)$$

Задля перевірки якості отриманої математичної моделі визначають основні статистичні характеристики вибіркової сукупності. Такі значення наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Статистичні характеристики вибірки по підприємству «Інтерпайп Ніко Тьюб»

№ пп	Характеристика	Значення
1	Оцінка матем. очікувань	41,98
2	Оцінка дисперсії	12,92
3	Оцінка станд. відхилень	3,59

Для перевірки якості математичної моделі на першому етапі визначимо значення коефіцієнту детермінації R^2 . Для цього скористаємося співвідношенням виду:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3)$$

де: \bar{y} – оцінка математичного очікування ознаки яку спостерігають, y_i – значення ознаки за якою спостерігають у вибірковій сукупності, \hat{y}_i – значення ознаки по рівнянню регресії.

Для вказаної математичної моделі отримано значення коефіцієнту детермінації, яке дорівнює $R^2 = 0,92$. Це означає, що 92% варіації залежної змінної пояснюється впливом незалежних змінних й лише 8% варіації залежної змінної пояснюється іншими факторами, діючими вибірково. Для перевірки адекватності математичної моделі скористаємося критерієм Фішера. F - статистика Фішера, що обчислюється зі співвідношення виду:

$$F_{набл} = \frac{R^2}{(1 - R^2)} \cdot (n - 2), \quad (4)$$

де n – об'єм вибіркової сукупності.

Для розглянутої математичної моделі за співвідношенням (4) було визначено спостережне значення критерію Фішера $F_{спост.} = 23$. За таблицею критичних точок розподілу Фішера з (1,2) ступенями свободи й при рівні значимості 5% знаходять критичне значення критерія Фішера. При цьому $F_{кр.} = 18,51$. Тодя получають, что $F_{спост.} > F_{кр.}$. Це означає, що значення коефіцієнту детермінації R^2 статистично значиме й з вірогідністю 0,95 можливо зробити висновок про адекватність обраної математичної моделі. Для періоду упередження в один місяць віднайдемо прогнозне значення випущеної продукції на підприємстві «Інтерпайп Ніко Тьюб». При цьому $y_{пр} = 50,09$ тис. тон сталевих труб.

Розрахуємо довірчий інтервал для прогнозованого значення. При цьому формула для розрахунку довірчих інтервалів прогнозу відносно тренду, що має вигляд поліному другого чи третього порядку, має наступний вигляд:

$$U_y = \hat{y}_{n+L} \pm t_\alpha \cdot S_{\hat{y}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{t_L^2}{\sum_{i=1}^n t^2} + \frac{\sum_{i=1}^n t^4 + 2t_L^2 \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + n \cdot t_L^4}{n \cdot \sum_{i=1}^n t^4 - (\sum_{i=1}^n t_i^2)^2}}, \quad (5)$$

де L — період упередження; \hat{y}_{n+L} — точковий прогноз по моделі на $(n + L)$ — й момент часу; n — кількість спостережень у часовому ряду; $S_{\hat{y}}$ — стандартна похибка оцінки прогнозованого показника; t_α — табличне значення критерія Стюдента для рівня значимості α та для числа ступенів свободи, який дорівнює $n - 2$.

У відповідності з формулою (5) отримують наступні довірчі інтервали: (35,79; 64,39). Це означає, що з достовірною ймовірністю 0,05 випуск сталевих труб по даному підприємству буде належати даному інтервалу для заданого періоду упередження.

Таким чином, на основі запропонованої математичної моделі можливо зробити висновок про те, що дане підприємство у вересні-жовтні 2022 року зможе вийти на травневі обсяги виготовлення труб за умови зменшення інтенсивності обстрілів з боку окупаційних військ РФ, або ж їх витісненні з регіону на більш значні відстані від місця розташування підприємства.

На другому етапі досліджень розглянемо прогнозування випуску продукції для ВО «Оскар». З цією метою побудуємо кореляційне поле, яке наведено на рис. 2. також на цьому рисунку пунктирною лінією виділено лінію регресії.

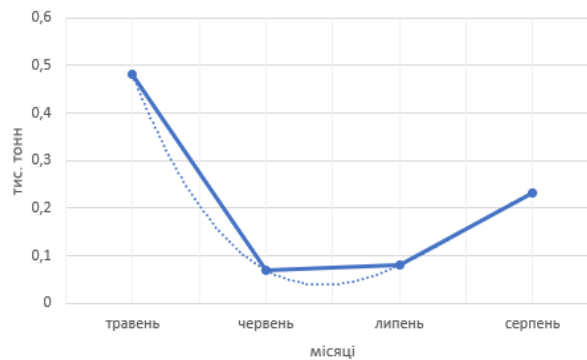


Рис. 2. Кореляційне поле та лінія регресії виготовлення продукції підприємства ВО «Оскар»

У даному випадкові можливо висунути гіпотезу про нелінійне поліноміальне рівняння регресії третього ступеня. Це пояснюється тим, що для інтервалу значень фактору змінюється характер зв'язків ознак, що розглядаються: зворотній зв'язок змінюється на прямий, при цьому параболічна залежність буде несиметричною, а значить рівняння регресії буде припускати відповідні помилки апроксимації. Для рівняння третього ступеня крива припускає більше перегинів й відповідно вона буде менш однорідною. При цьому нормальне рівняння МНК для поліноміального рівняння третього ступеня має вигляд:

$$\begin{cases} n \cdot a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^5 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^6 = \sum_{i=1}^n x_i^3 \cdot y_i. \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (6) для даної вибірки значень, отримують рівняння регресії третього порядку наступного вигляду:

$$y = 0,046 \cdot x^3 + 0,488 \cdot x^2 - 1,55 \cdot x + 1,59. \quad (7)$$

Для перевірки якості отриманої математичної моделі визначають основні статистичні характеристики вибіркової сукупності даного підприємства. Такі значення наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Статистичні характеристики вибірки по підприємству ВО «Оскар»

№№ пп	Характеристика	Значення
1	Оцінка матем. очікування	0,22
2	Оцінка дисперсії	0,04
3	Оцінка станд. відхилення	0,2

Задля перевірки якості математичної моделі на першому етапі визначимо значення коефіцієнту детермінації R^2 . З цією метою скористаємося співвідношенням (3). Для обраної математичної моделі отримано значення коефіцієнту детермінації, яке дорівнює $R^2 = 0,99$. Це означає, що 99 % варіації залежної змінної пояснюється впливом незалежних змінних і лише 1 % варіації залежної змінної пояснюється іншими факторами, що впливають на вибірку лише вибірково. Задля перевірки адекватності математичної моделі скористаємося критерієм Фішера. F -статистика Фішера, що обчислюється за співвідношенням (4). Для розгляду математичної моделі за співвідношенням (4) було визначено спостережене значення критерію Фішера $F_{спост} = 198$. За таблицею критичних точок розподілу Фішера з (1,2) ступенями свободи та при рівні значимості 5 % знаходять критичні значення критерію Фішера. При цьому $F_{кр.} = 18,51$. Тоді отримують, що $F_{спост.} > F_{кр.}$. Це означає, що величина коефіцієнту детермінації R^2 статистично значима й з вірогідністю 0,95 можна дійти висновку, що математична модель є адекватною. Також варто зауважити, що чим далі $F_{спост.}$ віддалено від $F_{кр.}$, тим більш адекватною є математична модель, тобто тим більш точно апроксимаційна крива буде описувати теоретичну лінію.

Для періоду упередження в один місяць знайдемо прогнозоване значення виготовленої продукції на підприємстві ВО «Оскар». При цьому, $y_{пр} = 0,28$ тис. тонн сталевих труб. Розрахуємо довірчий інтервал для прогнозного показника. При цьому формула для розрахунку довірчих інтервалів прогнозу відносно тренда, який має вигляд полінома третього порядку, буде відповідати співвідношенню (5). У відповідності з формулою (5) отримують наступні довірчі інтервали: (0,16; 0,4). Це означає, що із довірчою ймовірністю 0,05 випуск сталевих труб по даному підприємству буде перебувати у діапазоні даного інтервалу для заданого періоду упередження.

Порівнюючи результати прогнозу випуску продукції на підприємствах «Інтерпайп Ніко Тьюб» та ВО «Оскар», можна зазначити, що вибір у першому випадкові поліноміальної моделі другого порядку був обумовлений тим, що кореляційне поле виготовлення продукції (див. рис. 1) було симетричним відносно свого мінімуму. Для підприємства ВО «Оскар» це поле відрізнялось явною відсутністю симетрії, що обумовило перехід на третій порядок поліноміального рівняння. Це було виправданим кроком, оскільки математична модель набула рис більшої адекватності, тобто лінія регресії більш точно описала реальну картину розвитку підприємства.

З іншого боку, застосування поліноміального рівняння третього ступеня призводить до того, що виникає потреба розв'язування більш складної системи рівнянь (6) порівняно з поліноміальним рівнянням другого ступеня, коли розв'язують більш просту систему рівнянь (1).

Для підприємства «СЕНТРАВІС» обрахунок прогнозу здійснювався за методикою підприємства ВО «Оскар». При цьому було отримано наступне рівняння регресії:

$$y = 0,15 \cdot x^3 - 1,05 \cdot x^2 + 2 \cdot x - 0,1. \quad (8)$$

Якість математичної моделі на першому етапі визначалась величиною коефіцієнта детермінації R^2 . Для отриманої математичної моделі (8) значення коефіцієнта детермінації відповідало $R^2 = 0,99$. Статистичний аналіз коефіцієнта детермінації довів, що він має рівень ймовірності 0,95 й підтверджує адекватність обраної математичної моделі. Для періоду упередження в один місяць знайдемо прогнозоване значення виготовленої продукції на підприємстві «СЕНТРАВІС». При цьому, $y_{np} = 1,22$ тис. тонн сталевих труб.

Принагідно зазначимо, що ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» – один з високотехнологічних заводів України, оснащений системами контролю якості, які дозволяють випускати продукцію відповідно до світових стандартів API 5L, API 5CT, ASTM та інших. Виробничий майданчик Компанії ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН», одне з найбільших в Європі спеціалізованих підприємств з виробництва безшовних нержавіючих труб, об'єднує трубопресовий та трубоволоочильний цехи, які до 2000 року були частиною «Нікопольського Південнотрубного заводу» (НПТЗ), у минулому найбільшого промислового комплексу з виробництва безшовних труб [12]. Нині підприємство є провідним глобальним постачальником високоякісних рішень у сегменті безшовних нержавіючих труб, посідаючи перше місце за об'ємами продажів в Україні та Близькому зарубіжжі, четверте місце в країнах ЄС та дев'яте в світі [12].

Тепер зробимо деякий загальний побіжний аналіз щодо розвитку вітчизняної металургії в умовах воєнного стану в державі. Українська металургійна галузь у 2022 році стала збитковою через зростання цін на електроенергію, проблеми з логістикою в умовах війни і падіння світових цін на металопродукцію. Наприклад, падіння цін на залізорудну сировину і металопродукцію з початку 2022 року приблизно на 35% та 30% відповідно. Вітчизняні металургійні підприємства, що продовжують працювати, завантажені в середньому на 15% [13]. У сегменті трубокатного виробництва темпи зменшення обсягів випуску готової продукції за сім місяців за даними Об'єднання підприємств "Укртрубопром" дещо повільніші й складають лише чверть від минулорічного обсягу виробництва (табл. 4).

Таблиця 4. Виробництво сталевих труб в Україні на підприємствах ОП "Укртрубопром" за сім місяців у 2021 та 2022 роках

Назва показника	січень-липень 2021 року	січень-липень 2022 року
Виробництво сталевих труб в Україні, тис. тон	374,6	280,1
Різниця у виробництві сталевих труб в Україні за 7 міс. 2021 до 2022 рр., тис. тон	- 94,5	
Різниця у виробництві сталевих труб в Україні за 7 міс. 2021 до 2022 рр., %	74,8	

В цілому ж варто зазначити, що негативний вплив воєнних дій на подальший розвиток підприємств металургійної галузі України матиме довготривалий ефект, навіть за умов нашої беззаперечної перемоги у цій нічим неспровокованій війни із вкрай агресивним північно-східним сусідом.

Відносно швидке подолання наслідків російської окупації суверенних територій України можливе лише за умови співпадіння в часі декількох важливих чинників: міжнародної економічної та військово-технічної підтримки; значних репараційних виплат з боку країни-агресорки; політичної волі задля продовження руху шляхом реформ у повоєнній Україні.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

В даній роботі на основі поліноміального регресійного аналізу побудовані адекватні математичні моделі виробництва труб на основних підприємствах гірничо-металургійного комплексу України. Це дозволило виконати прогноз розвитку відповідних ланок виробництва. При чому обробка експериментальних даних проводилася на основі використання сучасних засобів інформаційних технологій. В роботі показано, що метод найменших квадратів часто використовується в задачах статистичного моделювання навіть у тих випадках коли досліджуваний

© Швачич Г.Г., Мамузич І., Мороз Б.І., Алексєєв О.М., Харь А.Т., Мироненко М.А.

набір даних різко змінює геометричну структуру. Для побудови математичних моделей висувалися гіпотези про поліноміальну залежність експериментальних даних. Представлені в статті математичні моделі забезпечують отримання адекватних результатів прогнозованих показників господарської діяльності вибраних для аналізу підприємств.

Проведені дослідження показали, що за останні п'ять років на підприємствах ГМК України відбувалося стабільне зростання показників роботи. Це було зумовлено як позитивною кон'юнктурою на світових ринках металопродукції, так і відкладеним попитом через вплив пандемії COVID-19 у 2019- 2021 роках. Також позитивним чинником стало переорієнтування українських підприємств на збут своєї металургійної продукції на більш високомаржинальних ринках у країнах ЄС та США. Причому західні компанії-споживачі воліють укладати довготермінові контракти на постачання продукції, що забезпечує українських металургів стабільними надходженнями обігових коштів. Обрані ж для аналізу трубні підприємства України є помітними гравцями на світовому ринку виробників подібної продукції.

Запропонований підхід дозволяє прогнозувати виробничі процеси, а також розвивати певні інвестиційні процеси в основні сектори трубної промисловості. Показано негативний вплив ведення бойових дій в Україні військами Російської Федерації.

Список бібліографічного опису

1. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних. Запоріжжя, 2011. 268 с.
2. Єрина А.М. Статистичне моделювання та прогнозування. К.: КНЕУ, 2014. 340 с.
3. Мармоза А.Т. Практикум з теорії статистики. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 344 с.
4. Тубольцев Л.Г., Гриньов А.Ф. Економічні аспекти роботи чорної металургії України. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 3. С. 85 – 88.
5. Грищенко С.Г., Тубольцев Л.Г., Гринєв А.Ф. Позитивные аспекты развития металлургии Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 4. С. 7 – 16.
6. Мироненко М.А. Розвиток металургії України в умовах глобалізаційних викликів за підсумками 2021 року. *Економічний вісник Дніпровської політехніки*. 2022. № 1 (77). С. 36 – 45.
7. Мазур В.Л., Тимошенко В.И. Теория и технология прокатки (гидродинамические эффекты смазки и микрорельеф поверхности). Киев: ИД «АДЕФ Украина», 2018. 560 с.
8. Шломчак Г.Г. Реометаллика. Днепро: Лира, 2021. 311 с.
9. Ivanets O., Morozova I. Features of Evaluation of Complex Objects with Stochastic Parameters, *11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021: proceedings*. Degendorf, Germany, 2021, pp. 159–162.
10. Kuzmin V. M., Zaliskyi M. Yu., Odarchenko R. S., Petrova Y. V. New approach to switching points optimization for segmented regression during mathematical model building, *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, pp. 106–122.
11. Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://nikotube.interpipe.biz/ru/about/about/>
12. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://www.centraavis.com/uk/about-us/>
13. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://ua.korrespondent.net/business/economics/4514631-metalurhiina-haluz-stala-zbytkovoui-ukrmetallurhprom>

References

1. Bakhrushin V.E. Data analysis methods. Zaporizhzhya, 2011. 268 p.
2. Erina A.M. Statistical modeling and prognostication. K.: KNEU, 2014. 340 p.
3. Marmozza A.T. Practical work on the theory of statistics. K.: Elga, Nika-Center, 2003. 344 p.
4. Tuboltsev L.G., Grinov A.F. Economic aspects of work black metallurgy in Ukraine. *Metallurgical and mining industry*. 2018. No. 3. P. 85 – 88.
5. Grishchenko S.G., Tuboltsev L.G., Grinev A.F. Positive aspects of the development of metallurgy in Ukraine. *Metallurgical and mining industry*. 2018. No. 4. P. 7 – 16.
6. Mironenko M.A. Development of metallurgy in Ukraine in the face of globalization challenges in 2021. *Economic Bulletin of the Dniprovskaya Polytechnic*. 2022. No. 1 (77). pp. 36 – 45.
7. Mazur V.L., Timoshenko V.I. Theory and technology of rolling (hydrodynamic effects of lubrication and surface microrelief). Kyiv: ID "ADEF Ukraine", 2018. 560 p.
8. Shlomchak G.G. Rheometallic. Dnipro: Lira, 2021. 311 p.
9. Ivanets O., Morozova I. Features of Evaluation of Complex Objects with Stochastic Parameters, *11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021: proceedings*. Degendorf, Germany, 2021, pp. 159–162.
10. Kuzmin V. M., Zaliskyi M. Yu., Odarchenko R. S., Petrova Y. V. New approach to switching points optimization for segmented regression during mathematical model building, *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, pp. 106–122.
11. Electronic resource. – Access mode: <http://nikotube.interpipe.biz/en/about/about/>
12. Electronic resource. – Access mode: <https://www.centraavis.com/uk/about-us/>
13. Electronic resource. – Access mode: <https://ua.korrespondent.net/business/economics/4514631-metalurhiina-haluz-stala-zbytkovoui-ukrmetallurhprom>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-05>

УДК 621.391

Васильківський Микола Володимирович, к.т.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-6586-2563>**Болдирева Ольга Сергіївна**, аспірант,**Онищук Денис Олександрович**, студент,**Гнатенко Юрій Юрійович**, студент.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ДИНАМІЧНА ІНФОРМАЦІЙНА МЕРЕЖА ІЗ ВБУДОВАНИМ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Васильківський М.В., Болдирева О.С., Онищук Д.О., Гнатенко Ю.Ю. Динамічна інформаційна мережа із вбудованим штучним інтелектом. Досліджено архітектуру орієнтованої мережі на користувача, яка передбачає використання виділеної абонентської мережі, яка об'єднує всі необхідні функції для надання інформаційних послуг. Враховуючи переваги технології UCN визначено, що орієнтована на користувача архітектура радіомережі природно та ідеально поєднується з децентралізованою технологією, яка є невразливою для DDoS-атак та єдиних точок відмови (SPOF). Розглянуто особливості планування роботи великих мережевих систем за умови гарантованого надання інформаційної послуги із використанням існуючих рішень, що отримані в результаті дослідження роботи центрів обробки даних та застосуванні їх у масштабі мережі з підтримкою кількох орендарів та паралелізму. Отримані результати дослідження розподілених систем вказують, що головною метою має бути підвищення ефективності, а не оптимальності. Досліджено особливості надання кожному клієнтському пристрою власного «приватного» віртуального екземпляру базової мережі через децентралізовану структуру віртуальних машин чи контейнерів із використанням гнучких програмно-конфігурованих мереж (SDN) та віртуалізованих мережевих функцій (NFV). Розглянуто ідеологію архітектури UCN, яка полягає у формуванні фундаментальної, гнучкої, безпечної та надійної мережевої архітектури із простою структурою та повним набором функцій. Вказані функціональні характеристики підвищують довіру мережі 6G. Досліджено особливості формування цифрового домену користувача спираючись на підхід UCN з чіткою вираженою границею, що містить ресурси даних, такі як профіль користувача, профіль служби та профіль ресурсів (включаючи мережні ресурси, так і ресурси кінцевого обладнання). В результаті, визначено правила керування цінними цифровими активами, що належать користувачеві у повній відповідності з нормативними вимогами до безпеки та конфіденційності.

Ключові слова: орієнтована мережа на користувача, децентралізована технологія, програмно-конфігурована мережа, віртуалізована мережева функція, цифровий домен користувача, штучний інтелект платформи 6G, проактивне надання мережевих послуг, інтелектуальне керування абонентським доступом.

Vasykivskiy M., Boldyreva O., Onyshchuk D., Hnatenko Yur. Dynamic information network with built-in artificial intelligence. The architecture of the user-oriented network, which involves the use of a dedicated subscriber network that combines all the necessary functions for the provision of information services, has been studied. Considering the advantages of UCN technology, it is determined that the user-centric architecture of the radio network is naturally and ideally combined with a decentralized technology that is invulnerable to DDoS attacks and single points of failure (SPOF). The peculiarities of planning the operation of large network systems under the condition of guaranteed provision of information services are considered using existing solutions obtained as a result of research on the operation of data centers and their application on a network scale with support for several tenants and parallelism. The obtained results of research on distributed systems indicate that the main goal should be to increase efficiency, not optimality. The peculiarities of providing each client device with its own "private" virtual instance of the core network through a decentralized structure of virtual machines or containers using flexible software-configured networks (SDN) and virtualized network functions (NFV) have been studied. The ideology of the UCN architecture is considered, which is to form a fundamental, flexible, secure and reliable network architecture with a simple structure and a full set of functions. The specified functional characteristics increase the reliability of the 6G network. The peculiarities of the formation of the user's digital domain based on the UCN approach with a well-defined boundary containing data resources such as user profile, service profile and resource profile (including network resources and end equipment resources) are studied. As a result, the rules for managing valuable digital assets owned by the user in full compliance with regulatory requirements for security and privacy have been defined.

Keywords: user-centric network, decentralized technology, software-configured network, virtualized network function, digital user domain, 6G platform artificial intelligence, proactive network service provision, intelligent subscriber access management.

Постановка наукової проблеми. У попередніх телекомунікаційних системах мобільного зв'язку абонентські пристрої не мають жодного контролю над самою мережею при взаємодії із центром обслуговування абонентів мережі. Орієнтовані на користувача мережі (UCN) формують ключову особливість архітектури телекомунікаційних систем на основі технології 6G та відносяться до мереж з особливою структурою, яка дозволяє їм підлаштовуватись під користувача та бути керованою користувачем. Як випливає з назви, «орієнтована на користувача» означає, що користувачі зможуть визначати (за допомогою штучного інтелекту (ШІ)) перелік послуг мережі, які можливо отримувати, а також способи їх використання та керування. Для задіяних служб в мережі доступу користувачі можуть налаштовувати політики використання ресурсів, а також кінцеві пристрої, що належать одному й тому ж домену [1]. Користувачі контролюють усі дані, що ними

© Васильківський М.В., Болдирева О.С., Онищук Д.О., Гнатенко Ю.Ю.

створюються або належать їм, а також відповідні права процесу (наприклад, ідентифікація, авторизація доступу та інформація про статус користувача). При цьому, користувачі можуть бути фізичними особами споживачами, підприємствами або галузевими користувачами, а послуги будуть створюватись інтелектуальним та персоналізованим чином в домені користувача на основі профілю, поведінки та переваг користувачів [2].

Технологія UCN формує спосіб взаємодії користувачів, мережових сервісів та програм, що впливає на відповідний доступ до мережі, керування мобільністю, безпеку та володіння особистими цифровими активами. Враховуючи поточну тенденцію розвитку модульності та хмарності мережових функцій, телекомунікаційна послуга, що заснована на програмному забезпеченні, дозволяє розгортати основні мережові функції (такі як пересилання, керування сеансами та керування політиками) без обмежень розташування. При цьому, архітектура мережі для кожного користувача буде модульною із загальним контекстом, що усуває обмін повідомленнями між традиційними мережовими функціями [3].

Зростання інтересу до локального/приватного зв'язку в обмеженій галузі формує передумову для побудови мережі на основі технології UCN у форматі повністю розподіленої і взаємопов'язаної граничної платформи, яка має свої важливі переваги, зокрема стійкість до атак завдяки децентралізованості, яка обмежує масштаб збитків. Крім того, технологія UCN підтримує модель «системи систем», в якій різні системи та користувачі з відповідними пулами ресурсів взаємодіють для отримання остаточних необхідних результатів, в той час як кожен користувач організує свої власні ресурси за допомогою різних взаємодій. На основі цього принципу можна легко покращити як стійкість системи до відмови, так і ефективність обробки трафіку в системі [4].

У мережі UCN абонентський домен не обмежений фізичними пристроями користувача, оскільки мережовий домен забезпечує його апаратно-програмне розширення, в якому область розгортання служб і додатків визначається на основі різних критеріїв, наприклад послуг, що вимагають більшої обчислювальної потужності або підвищеної критичної пропускну здатності мережі. Науковою проблемою є необхідність розроблення оптимального методу надання дійсно персоналізованих послуг для кожного користувача, що, у свою чергу, сприятиме зміні парадигми з мережі для всіх на власну мережу із використанням технології UCN, яка перетворить телекомунікаційну мережу на основі 6G із мережі простого доступу у середовище надання послуг.

Метою роботи є: дослідження великих мережових систем за умови гарантованого надання інформаційної послуги для усунення суперечності між оптимальністю та розміром результуючої мережової взаємодії розрахованих на значні ресурси користувачів.

Аналіз досліджень. Тривалий розвиток систем мобільного зв'язку зумовив відмінні риси та послуги кожного покоління, які визначають фундаментальну філософію проектування системної архітектури телекомунікаційних мереж. Перед переходом із технології 5G на технологію 6G важливо враховувати всі обмеження поточної системи з урахуванням потенційних варіантів використання та інноваційності мережі 6G [5].

Функціонал мобільної мережі складається з рівня керування та рівня користувача. При цьому, рівень керування в основному «керує» рівнем користувача, забезпечуючи виділення мережових ресурсів для надання послуг відповідно до запитів користувача, тоді як рівень користувача в основному дотримується вказівок та реалізує їх. У сучасному мобільному зв'язку застосовується принцип проектування, заснований на мережових функціях (NF), що зумовлює створення монолітних мережових об'єктів. Рівень керування складається з набору NF, відповідальних за автентифікацію та авторизацію доступу, мобільність, керування сеансом, керування даними (наприклад, репозиторій NF, контекст абонентського обладнання та політика) та керування операціями (наприклад, мобільність, сеанс та QoS). У свою чергу рівень користувача складається з набору транспортувальних елементів, які переносять пакети даних користувача від джерела до місця призначення і повідомляють метрики потоку назад на рівень керування [6].

Очевидні переваги з точки зору розгортання та витрат на експлуатацію і керування мають телекомунікаційні мережі передачі телефонії та інформаційних даних із кількістю абонентів, що обчислюється мільйонами. Проте постійно зростаюча складність такої конструкції мережі залежить від швидкого збільшення кількості абонентів, кількості мережового обладнання, протоколів, інтерфейсів і взаємозв'язків/взаємодій між мережовим обладнанням. Оскільки вказана архітектура телекомунікаційної мережі використовує безліч протоколів, які використовують кілька мережових функцій та численні обміни повідомленнями. Бездоганність будь-якої реалізації у кращому разі є сумнівною, тому що повідомлення, що передаються в цих процедурах зв'язку, достатньо складні. В

результаті, перешкодою для масштабування мережі є велика кількість станів обладнання користувача, які необхідно підтримувати в різних мережевих функціях з використанням протоколів підтримки узгодженості станів абонентського обладнання доступу [7].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Архітектура стільникової мережі була в першу чергу розроблена для забезпечення довготривалих сеансів зв'язку (наприклад, телефонних) з енерго- та ресурсним абонентським обладнанням. Одним із принципів проектування централізованої архітектури всіх поколінь архітектури стільникових мереж, що значною мірою спираються на концепцію архітектури телефонної мережі, тобто високоцентралізованої будови та ієрархічно розгорнутої топології є NF-орієнтованість, в результаті чого монолітні мережеві функціональні об'єкти реалізуються або у фізичному обладнанні, або у віртуальних об'єктах, що обслуговують велику кількість кінцевих користувачів, таких як керування мобільністю, дані пристрою/абонента, керування сеансом, аутентифікація, пересилання пакетів даних та застосування політик. Функціонал стільникової мережі передбачає керування станом абонентського обладнання або кінцевого користувача, що по суті є прототипом великого розподіленого кінцевого автомату, тобто телекомунікаційна мережа при цьому має підтримувати узгоджені стани для різних мережевих функцій шляхом обміну повідомленнями [5].

Незважаючи на переваги та недоліки розподілених мереж у порівнянні з централізованими, очевидно, що при багаторазовому збільшенні кількості підключених різномірних та інтелектуальних користувачів/пристроїв виникають проблеми безпеки та масштабованості телекомунікаційної мережі. Отже, через відкриту архітектуру на основі технології IP стільникові бездротові системи вразливі для звичайних атак через інтернет. В результаті, базова мобільна мережа вразлива для DoS-атак через її централізований характер. При цьому, звичайні та розподілені DoS-атаки на централізовані мережеві функціональні модулі спричиняють серйозні наслідки, оскільки мобільні мережі є критично важливою інфраструктурою, що забезпечує стабільну життєдіяльність усього суспільства. Починаючи з 4G/LTE ієрархічна мережа на основі шлюзів стала рівнем користувача базових мереж 4G та 5G. При цьому, така мережа призначена для керування сеансами кожного користувача пристрою, тобто щоразу, коли пристрій вимагає доступу до даних, повинна відбутися послідовність обміну повідомленнями між різними компонентами ядра і RAN, перш ніж може бути переданий будь-який пакет даних рівня програми. Дотримання допустимої кількості підключених через базову мережу доступу інтелектуальних пристроїв, які підтримують тривалі сеанси зв'язку без жорстких вимог щодо затримки та обмежень обробки пакетів керування, гарантуватиме працездатність поточної архітектури інфокомунікаційної мережі. Однак при стрімкому зростанні кількості та різноманітності підключених пристроїв (наприклад, датчики в інтелектуальному транспортному засобі, промислові роботи, а також IoT пристрої, що носяться і імплантуються) в мережеві архітектурі можуть виникнути критичні вузькі місця [6].

Система мобільного зв'язку стикається з дилемою щодо ідентифікації та захисту інформаційних даних. Враховуючи велику кількість джерел даних в телекомунікаційній мережі, оператори зв'язку намагаються їх монетизувати, особливо дані, прямо чи опосередковано пов'язані з кінцевими користувачами через правила конфіденційності. З іншого боку, кінцеві користувачі не можуть контролювати власні дані і тому вони мають бути впевнені, що постачальники послуг не будуть ними зловживати. Крім того, користувачам важко виявити та відстежити порушення інформаційного захисту даних через недостатню обізнаність та знання [7].

Технологія 5G найкраще реалізує вертикальну структуру клієнта за рахунок підтримки неліцензованого доступу та кампусних мереж і при цьому конструкція та архітектура базової мережі майже виключно створені для операторів. Отже, не приділяється особливої уваги функціям, необхідним для різних споживачів, які мають власну вертикальну ієрархію (наприклад, промислові підприємства). Тому, в мережі 5G, орієнтованій на операторів, користувачі можуть обирати операторів зв'язку із найкращим обслуговуванням, що проблематично для самих операторів зв'язку через необхідність підтримки величезної кількості неочевидних функцій та додаткових вимог до інформаційних послуг.

Традиційні телекомунікаційні мережі спроектовані за принципом "кожна функція на всю мережу", як показано на рис. 1, що призвело до появи кількох монолітних мережевих функцій, які обслуговують велику кількість користувачів/пристроїв і при цьому кожна мережна функція, така як AMF та функція керування сеансом (SMF) у мережах 5G має дуже специфічні завдання. Таким чином, можна з упевненістю сказати, що принцип NF-орієнтованості природно призводить до централізованої архітектури інфокомунікаційної мережі [1].

Архітектура орієнтованої мережі на користувача, передбачає, що кожен користувач використовує власну виділену мережу, яка об'єднує всі необхідні йому функції для надання послуг, як показано на рис. 1. Відповідно до цього принципу проектування, технологія UCN відповідає за керування мобільністю, політиками, сеансами та персональними даними (за допомогою децентралізованих технологій). Однією з переваг технології UCN є різке скорочення обміну сигналами та в результаті зменшення затримки. При цьому, використовується менша кількість протоколів, що, у свою чергу, знижує складність і, отже, призводить до здешевлення та спрощення системи керування мережею. Орієнтована на користувача архітектура природно та ідеально поєднується з децентралізованою технологією, яка є невразливою для DDoS-атак та єдиних точок відмови (SPOF).

Доступність та стабільність інформаційного сервісу забезпечуються за рахунок використання як децентралізованих, так і розподілених хмарних технологій, які допомагають рівномірно розподіляти навантаження на систему між мережевими вузлами. Для покращення масштабованості, складності та надійності телекомунікаційної мережі, а також зрештою зниження вартості її реалізації необхідно зводити до мінімуму кількість типів мережних вузлів. Децентралізована мережева архітектура є невразливою для атак, оскільки реалізація всіх послуг мобільної мережі є розподіленою, і коли деякі вузли чи мережа пошкоджені чи атаковані, решта мережі не постраждає. У децентралізованій мережі мережні вузли можуть взаємодіяти один з одним за допомогою певних алгоритмів, наприклад, розподілених хеш-таблиць або блокчейна [2].

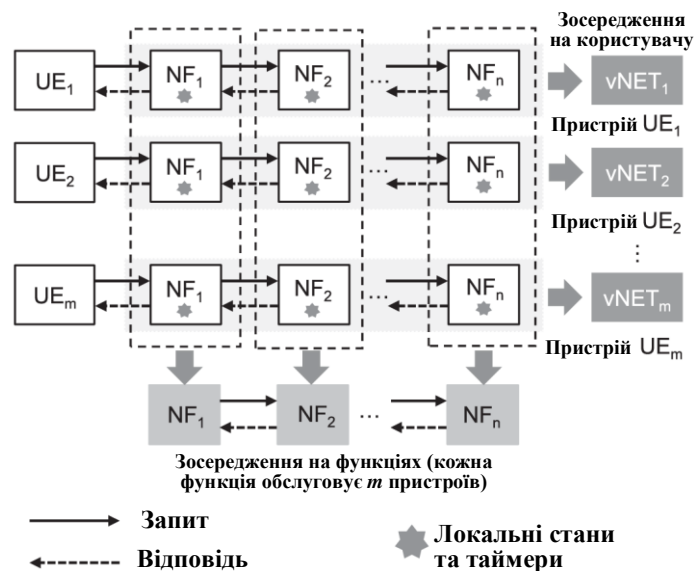


Рис. 1. Архітектура системи абонентського доступу та системи, орієнтованої на мережеві функції

Зменшення витрат на проектування та експлуатаційних витрат при наданні послуг споживачам забезпечується за рахунок ефективного використання доступного пулу ресурсів у кожній архітектурі системи зв'язку. В результаті використання низької загальної вартості експлуатації (ТСО) як однієї з основних цілей проектування і врахування впроваджених екологічно стійких інформаційних та комунікаційних технологій (ICT), можна зробити висновок, що роль ефективного загальносистемного керування ресурсами значно зростатиме. Це призведе до появи кількох нових проблемних областей, які нині не вивчаються, недооцінюються чи повністю ігноруються промисловістю та академічними колами. Для узгодження ресурсів в поширених змішаних середовищах обчислень/зберігання/мережі вимагаються відповідні рішення, оскільки неоднорідність ресурсів ускладнює використання єдиних механізмів через застосування в різних областях різних підходів, які часто замикаються всередині своєї області. Крім того, унікальні підходи, швидше за все не відповідатимуть вимогам різноманітних ресурсів [3].

В результаті, планування обслуговування під час експлуатації інформаційної мережі має першорядне значення, оскільки воно дозволяє забезпечити чудові функціональні властивості підтримуваних розподілів (зрізів) та знизити сукупну вартість експлуатаційної підтримки. Динамічне призначення ресурсів, що зумовлено прагненням до більш ефективного спільного

використання інфраструктури (включаючи обчислювальні, мережеві та енергетичні ресурси) важко досягти через різномірну, часткову або застарілу інформацію, її прив'язку до роботи в реальному часі та відсутності будь-якого центрального керівного блоку або механізму.

Вирішення проблеми планування роботи у великих мережевих системах потребує великих фундаментальних досліджень. Використання відповідних механізмів вирішення конфліктів за умови гарантованого надання інформаційної послуги передбачає використання існуючих рішень, що отримані в результаті дослідження роботи центрів обробки даних, та застосовуванні їх у масштабі мережі з підтримкою кількох орендарів та паралелізму. Отримані результати дослідження розподілених систем вказують, що головною метою має бути підвищення ефективності, а не оптимальності [4].

У всіх попередніх варіантах архітектури систем мобільного зв'язку обмеження завжди були окреслені відносно фізичних об'єктів (між обладнанням користувача і мережею, між радіодоступом та ядром), що призводило до частково несподіваних обмежень надання послуг. У сучасній системі обмеження повинні пролягати у сфері інформаційних послуг, зокрема мають бути розділені області виконуваних послуг. Для цього інформаційні послуги зазвичай повинні бути відокремлені від інфраструктури, і ця тенденція вже знайшла підтвердження у сфері IT-послуг, де знання інфраструктури вже не таке необхідне для користувача. Однак у цьому сценарії за необхідну стійкість (тобто безпеку та надійність) відповідає середовище виконання інформаційної послуги. Єдиним розумним шляхом розвитку для багатоцільових інфраструктур є ICT, оскільки він веде до послуг, що внутрішньо адаптуються, з мінімальними необхідними рівнями довіри. Це означає, що можна запускати ту саму службу в різних умовах із практично однаковими властивостями без необхідності проектувати вимоги до надійності служби (які не обговорюються) безпосередньо в надійність інфраструктури (що може спричинити невикористані витрати). Зміна фізичних обмежень також сприятиме зміні парадигми від роздільної архітектури «кінцевий пристрій-мережний канал-хмара» (TPC) до інтегрованої [5].

Очевидним наслідком з попередніх міркувань є необхідність усунення суперечності між оптимальністю та розміром результуючої мережевої взаємодії розрахованих на багато користувачів ресурсів. Фактично кілька зацікавлених сторін будуть задіяні як просьюмери, які незалежно постачають ресурси та споживають послуги, що не сумісно з глобальним підходом до повноважень, і при цьому телекомунікаційна система буде сильно децентралізованою. Варто зазначити, що з огляду на потенційно великий масштаб нової телекомунікаційної системи вона може виглядати неоптимальною в порівнянні з існуючою централізовано керованою інфраструктурою операторів. Проте централізовані архітектури самостійно масштабуються не краще: враховуючи їх «віддаленість» від рівня ресурсів, вони, можливо, навіть менше підходять для швидкої адаптації під час роботи. Мережеві оператори зазвичай використовують децентралізоване керування, або покладаються на зростаючу інтелектуальність ресурсів, або розташовуються ближче до них (наприклад, ієрархічне керування на основі політик). Такі технології керування переважно використовуються для оптимальної попередньої ініціалізації, проте коли йдеться про змішані послуги, попередня ініціалізація стикається з обмеженнями. Крім того, невирішеною проблемою залишається розрахований на багато користувачів характер системи, оскільки не ясно, як об'єднати різні політики, які будуть застосовуватися в тому самому пулі ресурсів. З цих причин при об'єднанні автономності та штучного інтелекту з концепціями розподілених систем може знадобитися поєднання узгодженості (необхідної оптимальності) з сегментацією (необхідного масштабування). Наприклад, це рішення можна застосувати в сценаріях, де для оптимальності необхідно використовувати адаптацію в ході виконання, зберігаючи при цьому доступність за рахунок можливого надмірного виділення ресурсів [6].

Збільшення уваги питанням конфіденційності та володінню даними, які вважаються «новою нафтою» цифрової доби дає можливість користувачам повністю контролювати власну цифрову ідентичність, а також монетизувати свої власні дані. Таким чином, вони мають можливість вибирати, якими даними ділитися з іншими сторонами та впевненні, що ці дані не використовуються без їх згоди. Більше того, користувачі зможуть мати можливість ізолювати себе для запобігання витоку даних. При цьому, передбачається можливість відкликати доступ третіх осіб до своїх даних.

Завдяки гнучкості програмно-конфігурованих мереж (SDN) та віртуалізації мережевих функцій (NFV) орієнтована на користувача базова мережа дозволяє кожному клієнтському пристрою отримати свій власний «приватний» віртуальний екземпляр базової мережі через

децентралізовану структуру віртуальних машин чи контейнерів, як показано на рис. 2. Ці віртуальні функціональні вузли можна розділити на дві категорії: вузли обслуговування мережного рівня (NSN) та вузли обслуговування рівня користувача (USN), які можуть реалізувати типові функції базової мережі, такі як керування мобільністю, керування політиками та керування абонентами/пристроями. NSN, який може бути розподіленою або централізованою спрощеною версією функцій базової мережі, служить першою точкою підключення пристрою до мережі і відповідає за його автентифікацію під час процедур реєстрації доступу (тобто приєднання та встановлення спрямованого каналу за умовчанням). USN, які можуть бути повністю розподілені та самоорганізовані відповідно до віртуальної мережі, призначені для одного UE та обробляють всі функції базової мережі, включаючи функції рівня користувача та рівня керування [7].

UCN перевершують сучасну архітектуру у багатьох відношеннях. Зокрема, завдяки своєму розподіленому та персоналізованому характеру вони не дозволяють ботнетам виконувати DDoS-атаки і одночасно дають можливість застосовувати налаштовані політики для кожного користувача пристрою (наприклад, безпека та QoS). Децентралізоване керування користувачами та даними дозволяє кінцевим користувачам повністю контролювати свої цифрові активи.

Ще один важливий момент, який варто враховувати, – це той факт, що UCN призначені для виходу за фізичні межі звичайного TPC, де простір користувача обмежений кінцевими фізичними пристроями. Це означає, що відповідно до концепції UCN користувальницька область може бути розширена до будь-якого обсягу ресурсів вузлів обслуговування рівня користувача (USN) в системі мобільного зв'язку.

Отже, ідеологія архітектури UCN полягає у формуванні фундаментальної, гнучкої, безпечної та надійної мережевої архітектури із простою структурою та повним набором функцій. Вказані функціональні характеристики підвищують довіру мережі 6G.

З погляду особливостей проектування базової інформаційної мережі однією з основних технологічних особливостей телекомунікаційної радіосистеми 6G є зміщення акценту з мережевих функцій користувача із використанням механізмів зрізів мережі (slice). Однак це удосконалення, як і раніше, засноване на фундаментальній архітектурі, орієнтованій на функції. Відповідно до методу зрізів, кожен користувач може сприймати мережу як власний набір (зріз) мережевих служб, що складаються з мережевих функцій, який, можливо, і не потребує радикальної зміни, але при цьому залишає невирішені питання, такі як володіння цифровими активами [8].



Рис. 2. Децентралізована та орієнтована на користувача архітектура сегменту інформаційної мережі радіодоступу 6G

Фундаментальна архітектура може виграти від абсолютно нового підходу та орієнтації на користувача. Порівняння концепцій архітектури системи 5G та UCN наведено на рис. 3. В архітектурі мережі 5G мережеві функції повністю визначаються на мережному рівні, який у мережі 6G перетворюється на UCN за рахунок розробки мережевих функцій, що реалізуються на рівні користувача. Взаємодія між NSN і USN або всередині домену NSN, як і раніше, потребує стандартизації, але служби будуть розміщуватися виключно всередині домену USN.

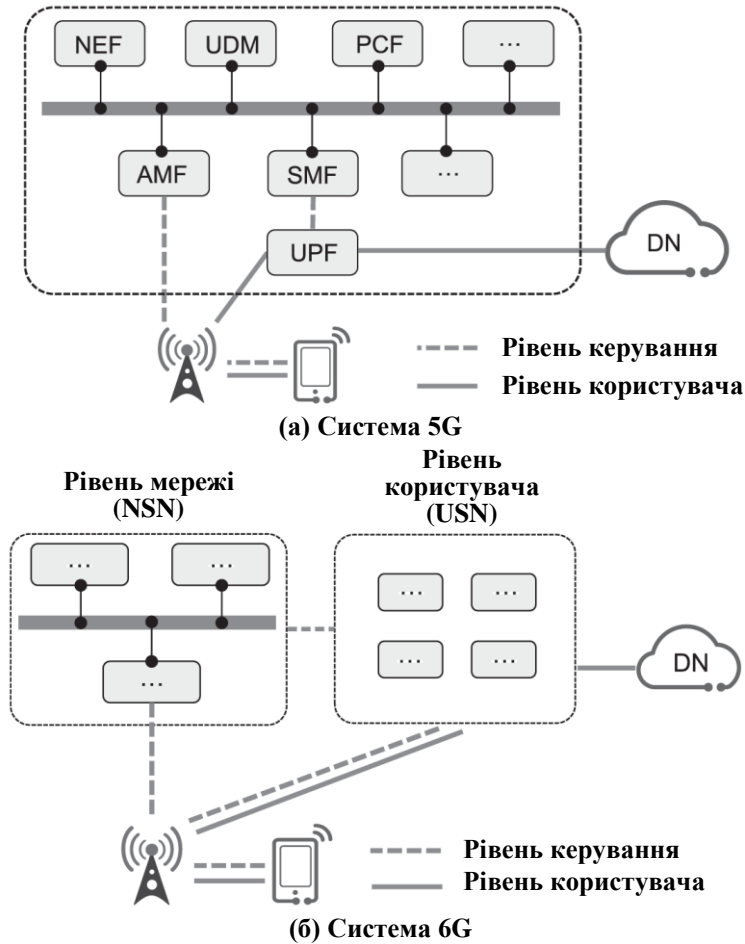


Рис. 3. Схема удосконалення архітектури сегменту інформаційної мережі доступу

По суті, архітектура UCN не диктує правила розроблення мережевих служб (наприклад, керування мобільністю та сеансами), оскільки у майбутніх системах зв'язку ці служби будуть, власне, звичайними комп'ютерними додатками. При використанні надійної інфраструктури з ефективною архітектурою, служби верхнього рівня, природно, використовуватимуть традиційні переваги зручного розгортання, експлуатації та масштабованості. Таким чином, UCN не радикально відрізнятиметься від традиційних мережевих сервісів, а натомість представить їх у децентралізованій формі, яка є більш надійною, безпечною та відмовостійкою. У той же час, нова архітектура забезпечить відповідність нормативним вимогам процесу керування конфіденційністю інформаційних даних користувачів телекомунікаційної мережі.

Цифровий двійник став популярною концепцією, що застосовується у багатьох галузях промисловості. Цифровий двійник являє собою цифрову або віртуальну копію фізичного об'єкта, яким можуть бути активи, процеси, системи [2]. Вперше цей підхід був використаний при моделюванні виробничих операцій [3], коли для зниження загальних витрат, підвищення продуктивності та забезпечення якості продукції проектування систем, моделювання, а також керування ризиками вирішили використовувати цифрові аналоги фізичних об'єктів. Концепція цифрового двійника еволюціонувала з часом, і її використання значною мірою орієнтоване на технологію IoT. Вона спеціально розроблена з урахуванням поєднання речей через бездротові технології та мережі, а також для використання хмарних обчислень. В епоху 6G злиття фізичного та кібернетичного світів стане основною тенденцією, яка призведе до переходу цифрового двійника на новий рівень як допоміжна технологія, що потенційно сприяє розробці архітектури, орієнтованої на користувача.

Основа концепції цифрового двійника, визначає термін «віддзеркалення», але за межі суто цифрового двійника. Оскільки, відображення є віртуальним представником будь-якого фізичного об'єкта в системі 6G, тому його дія подібна «розумному цифровому агенту», тобто не тільки

копіюється поведінка фізичних об'єктів, а й проактивно ініціюються дії залежно від різних обставин. Наприклад, відображення може стежити за переміщеннями користувачів, наближатися до користувачів, переходячи з центральної хмари до граничної хмари, або виділяти відповідні ресурси для користувачів. При цьому, вказана технологія має такі функції, як керування ідентичністю, автентифікація, авторизація доступу, керування цифровими активами користувачів, мобільністю, сеансами та взаємодією з додатками [3].

Відображення може відображати сутності дуже різного масштабу – від фізичних об'єктів до цілої організації. Технологія не тільки включає цифрову модель або опис фізичних об'єктів, але також виступає як автономний агент, що живе в мережі. Крім того, керує відповідними елементами ресурсів та взаємодіє з іншими відображеннями. Отже, потрібно розглядати відображення як інтелектуальну сутність, яка керує всіма ресурсами користувача, щоб формувати, підтримувати та контролювати складений із них пул; і також інтелектуально планує, компонує сервіси, які розгортає в пулі ресурсів. На рисунку 4 відображено цю концепцію, що представляє функції, які можуть існувати в домені відображення користувача Б. Цей домен розгортається в системі мобільного зв'язку відповідно до профілю користувача та його поведінки, щоб надати користувачеві Б повністю оптимізований сервіс, який налаштовується і орієнтований на його завдання. Сюди входять мережеві функції, які можуть бути підібрані для конкретного користувача (наприклад, USN) та створені, а також оновлені відображенням користувача Б. Також можливості ШІ платформи 6G можуть бути використані для реалізації проактивного надання мережевих послуг.



Рис. 4. Інтелектуальне керування абонентським доступом в мережі 6G

Отже, розвинене ядро пакетної комутації (EPC) мережі 4G чи базову мережу 5G можна розглядати як певний тип відображення, орієнтований на потреби традиційних операторів мобільної мережі. З розвитком мережі 5G можна спостерігати диверсифікацію типів користувачів. Багато з цих користувачів є вертикальними галузями, у яких є як ресурси, так і навички, але при цьому вони мають зовсім інші потреби в порівнянні з операторами мобільного зв'язку. Отже, концепція відображення прагне узагальнити поняття функціональності базової мережі еволюційним шляхом, підтримуючи успадковані від колишніх поколінь потреби, і навіть забезпечуючи стандартизовану підтримку нових категорій [4].

При використанні технології відображення служби керуються безпосередньо відображеннями та розгортаються на відповідних елементах ресурсів повністю децентралізованим чином. При

цьому, для керування даними цифрових активів будь-якого формату, що зберігаються у розподіленій базі даних, може використовуватися система доступу до розподілених даних. Що стосується розподіленої системи побудови відображень, її можна використовувати для забезпечення оновлення майже реального часу і виконання запитів для зіставлення між ідентифікаторами, іменами та адресами. Крім того, для експлуатації відбиття та управління ними можна використовувати систему управління життєвим циклом.

З погляду архітектури, технологія відображень може бути підтримана поглибленим вивченням наступних аспектів: базові служби відображень, які переважно включають керування місцевими ресурсами та побудову відображень. Між ресурсом та її відображенням встановлюється з'єднання для зв'язку, яке працює через інтерфейс відображення-пристрій (R2D), як показано на рис. 4. Профілі та поточні стани ресурсу відправляються через з'єднання у відображення та використовуються для створення, оновлення та розширення самого відображення. У зворотному напрямку відображення надсилає сигнали для керування ресурсом, який виконуватиме певні дії для реалізації та запуску служб; розширені служби відображення: в основному це поняття включає складання служб і розгортання за допомогою політик. При цьому, відображення має бути спроектоване так, щоб відповідати на запити виклику служби з внутрішнього домену та області взаємодії між відображеннями. Відображення перевіряє доступність ресурсів та здійснюваність запитаних послуг. В результаті служби розгортаються на ресурсах (пристроях) через інтерфейс між фізичним об'єктом та його відображенням. При необхідності використання ресурсу взаємодії відображень, задіяні відображення будуть взаємодіяти, наприклад через інтерфейс відбиття-відображення (R2R), як показано на рис. 4. Отже, інтерфейс R2R реалізує децентралізований рівень керування, який підтримує різні домени відображень. У цьому випадку служби розгортаються спільно через окремі елементи керування відповідних доменів відображень, але, можливо, в пулах ресурсів, що перетинаються. Служби виявлення та розгортання ресурсів також підтримуються як частина служб відображення; реалізація відображення здійснюється в домені відображення, який створюється спільно з рівнем даних, спираючись на функції керування даними, що надаються системою 6G; деталізоване керування автономними ресурсами враховує, що розмежування проводиться в просторі служб, а не між фізичними ресурсами і при цьому кілька незалежно працюючих відображень зазвичай надаватимуть послуги із загального пулу ресурсів, створеного всіма пристроями на рівні ресурсів. Використовуючи програмування пристроїв та інфраструктури, відображення зможуть запускати складні служби на рівні інфраструктури або навіть у більшому масштабі. Без додаткових системних механізмів та координації на рівні ресурсів це призвело б до класичної проблеми «розподілу мозку», низької надійності обслуговування або величезного надлишкового виділення ресурсів, оскільки локальний аналіз не дозволяє оптимізувати використання ресурсів на глобальному рівні. Причиною цього є невизначеність щодо запитів та операцій інших відображень.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Досліджено особливості формування цифрового домену користувача спираючись на підхід UCN з чітко вираженою границею, що містить ресурси даних, такі як профіль користувача, профіль служби та профіль ресурсів (включаючи мережні ресурси, так і ресурси кінцевого обладнання). В результаті, визначено правила керування цінними цифровими активами, що належать користувачеві у повній відповідності з нормативними вимогами до безпеки та конфіденційності. Запропоновано оптимізований метод надання дійсно персоналізованих послуг для кожного користувача із використанням технології UCN, яка може гарантувати, що право власності на дані в мережі 6G належатиме користувачеві, що, в свою чергу, означає, що саме користувачі контролюватимуть використання даних та розповсюдження інформації в усьому цифровому світі. Таким чином, сама конструкція UCN забезпечує вбудовану підтримку керування цифровими активами, знижуючи ризик зловживання даними та порушення конфіденційності. Більше того, вона дозволяє користувачам монетизувати власні дані. Цей механізм може ґрунтуватися на DLT та інших технологіях.

Досліджено технологію використання впізнаваного цифрового ідентифікатора як адресу для обміну інформацією між користувачами в цифровому суспільстві. Оскільки, за наявності цифрового ідентифікатора стає відомою пов'язана з ним інформація, така як статус, поведінка чи транзакція. Тому, перенесення персоналізованої інформації на цифрового двійника дає безліч переваг. Зокрема, це забезпечує зручні та безпечні транзакції, знижує витрати та підвищує ефективність роботи. Відсутність надійної схеми керування цифровими посвідченнями призвела до багатьох проблем,

таких як порушення конфіденційності та зловживання даними. Визначено необхідність створення фонду розвитку UCN та спільного розроблення схеми цифрової ідентифікації, яка відповідає вимогам підтвердження особистості, авторизації, керування цифровими активами.

Список бібліографічного опису

1. 3GPP, System architecture for the 5G system, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.501, Aug. 2020, version 16.5.1. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>.
2. I. Stoica, R. Morris, D. Liben-Nowell, D. R. Karger, M. F. Kaashoek, F. Dabek, and H. Balakrishnan, Chord: A scalable peer-to-peer lookup protocol for internet applications, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, pp. 17–32, 2003.
3. M. Grieves, Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication, White paper, vol. 1, pp. 1–7, 2014.
4. Васильківський, М., Нікітович, Д., & Болдирева, О. (2022). Керування доступом до інформаційних даних в інтелектуальних інфокомунікаційних мережах. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 5–17. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-1>
5. Васильківський, М., Варгатюк, Г., & Болдирева, О. (2022). Дослідження архітектури штучного інтелекту для інфокомунікаційних мереж 6G. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 62–70. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-7>
6. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Челоян В.А. Спектральний метод оцінювання джитеру в телекомунікаційних системах. - *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 2010, № 2, С. 109-114.
7. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Кичак В.М. Методи та засоби підвищення ефективності оцінювання фазового дрижання сигналів у телекомунікаційних системах: Монографія. - Вінниця: ВНТУ, 2015. - 140 с.
8. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Стальченко О.В. Пристрій аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів. - *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*.–2013, № 2.– С.82-85.

References

1. 3GPP, System architecture for the 5G system, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.501, Aug. 2020, version 16.5.1. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>.
2. I. Stoica, R. Morris, D. Liben-Nowell, D. R. Karger, M. F. Kaashoek, F. Dabek, and H. Balakrishnan, Chord: A scalable peer-to-peer lookup protocol for internet applications, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, pp. 17–32, 2003.
3. M. Grieves, Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication, White paper, vol. 1, pp. 1–7, 2014.
4. Vasykivskiy M., Nikitovych, D., & Boldyreva, O. (2022). Keruvannya dostupom do informatsiynykh danykh v intelektual'nykh infokomunikatsiynykh merezhakh. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 5–17. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-1>
5. Vasykivskiy M., Varhatiuk, H., & Boldyreva, O. (2022). Doslidzhennya arkhitektury shtuchnoho intelektu dlya infokomunikatsiynykh merezh 6G. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 62–70. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-7>
6. Bortnyk G.G., Vasykivskiy M.V., Cheloyan V.A. Spektral'nyy metod otsinyuvannya dzhyteru v telekomunikatsiynykh systemakh. - *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu*, 2010, № 2, S. 109-114.
7. Bortnyk G.G., Vasykivskiy M.V., Kychak V.M. Metody ta zasoby pidvyshchennya efektyvnosti otsinyuvannya fazovoho dryzhannya syhnaliv u telekomunikatsiynykh systemakh: Monohrafiya. - *Vinnytsya: VNTU*, 2015. - 140 s.
8. Bortnyk G.G., Vasykivskiy M.V., Stalchenko O.V. Device for analog-digital conversion of high-frequency signals. - *Measuring and computing equipment in technological processes*.–2013, No. 2.– P.82-85.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-06>

УДК: 378.147:519.86(045)

Інна Олександрівна Гулівата, к. пед. н., доцент

<http://orcid.org/0000-0003-4752-535X>

Лариса Миколаївна Радзіховська, к. пед. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-0185-8036>

Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету, м. Вінниця, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ КЕЙС-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Гулівата І.О., Радзіховська Л.М. Застосування кейс-технологій при здійсненні математичного моделювання економічних процесів. Розглянуто особливостей застосування кейс-технологій при навчанні математичному моделюванню економічних процесів майбутніх фахівців економічних спеціальностей.

Ключові слова: кейс-технологія, кейс-вправа, математична модель, економічний процес, багатофакторна регресійна модель.

Hulivata I.O., Radzichovska L.M. Application of case technologies in the implementation of mathematical modeling of economic processes. The peculiarities of the application of case technologies in teaching mathematical modeling of economic processes to future specialists in economic specialties are considered.

Key words: case technology, case exercise, mathematical model, economic process, multivariate regression model.

Постановка наукової проблеми. Нині математичне моделювання економічних процесів – один із найбільш перспективних сучасних напрямків економічних досліджень, оскільки дозволяє здійснити оцінку економічної ситуації не лише якісним способом, а й провести фундаментальну кількісну оцінку процесів у рамках конкретних економічних систем. При цьому у кожному із випадків потрібно оцінити конкретну економічну ситуацію, провести кількісний аналіз чинників, що на неї впливають, підібрати потрібну економіко-математичну модель, довести її адекватність та здійснити на її основі прогнозування сценаріїв розвитку того чи іншого економічного процесу.

На думку В. Кобійчук якісне оволодіння студентами дисциплін економіко-математичного спрямування, особливо навчальними матеріалами дисциплін, пов'язаних з математичним моделюванням економічних процесів дозволить в майбутній підприємницькій діяльності:

- обґрунтовувати поведінку досліджуваних економічних процесів;
- формувати достатній обсяг фінансових ресурсів у відповідності з задачами розвитку підприємства в поточному періоді;
- найбільш раціонально використовувати сформований обсяг фінансових ресурсів у розрізі основних напрямів діяльності підприємства;
- максимізувати прибуток підприємства за передбаченого рівня фінансового ризику;
- мінімізувати рівень фінансового ризику при передбачуваному рівні прибутку;
- забезпечувати постійну фінансову рівновагу підприємства у процесі розвитку;
- оптимізувати грошовий обіг [1].

Як відомо, методика здійснення економіко-математичного моделювання за В. Вітлінським складається з наступних етапів:

- Проведення комплексного аналізу економічного процесу з позицій теоретичної економіки та практичного менеджменту;
- Встановлення основних елементів системи та формування мети функціонування;
- Вибір найбільш результативних факторів, кількісна оцінка яких дозволить у повній мірі встановити ефективність функціонування економічної системи. При цьому найбільш ваговим є вибір узагальненого показника – критерію ефективності;
- Розробка математичної моделі системи. На даному етапі розробляють математичні залежності, які з певною мірою адекватності дозволять описати реальний економічний процес;
- Практична реалізація моделі. Даний етап включає в себе дії, пов'язані з числовими розрахунками реального об'єкту;
- Аналіз моделі і її модернізацію у відповідності з накопиченням даних. Отримані числові результати мають підтверджувати максимальну наближеність до реальних

характеристик економічної системи. В зв'язку з цим необхідним є перевірка адекватності моделі при певному порозі ймовірності, дослідження середніх значень та варіації помилок, відхилень параметрів моделі тощо.

• Отримання оптимальних значень системи. Дослідження поведінки системи та її стійкість в різних умовах функціонування [2].

Оскільки (як описано вище) застосування економіко-математичних методів при дослідженні певних економічних систем вимагає аналізу, обговорення конкретної економічної ситуації, застосування на практиці теоретичних знань, самостійного вибору математичної моделі, доведення її адекватності та здійснення на її основі прогнозування, формулювання відповідних висновків, то пропонуємо при навчанні студентів економіко-математичному моделюванню використовувати кейс-технології, оскільки саме цей навчальний метод дозволяє самостійно здобувати знання, активізувати творчі здібності студентів, формувати відповідні компетентності.

Суть методу полягає в використанні конкретних випадків (ситуацій, історій, тексти яких називаються «кейсом») для спільного аналізу, обговорення або вироблення рішень з певного розділу навчальної дисципліни. Кейси (ситуаційні вправи) мають чітко виражений характер і мету. Як правило, вони пов'язані з проблемою або ситуацією, яка існувала чи і зараз існує. Це завжди моделювання життєвої ситуації, і те рішення, що знайде учасник кейса, може служити як відбиттям рівня компетентності і професіоналізму учасника, так і реальним рішенням проблеми. У кейс-технології не даються конкретні відповіді, їх необхідно знаходити самостійно. Це дозволяє, спираючись на власний досвід, формулювати висновки, застосовувати на практиці одержані знання, пред'являти власний (або груповий) погляд на проблему. В кейсі проблема представлена в неявному, схованому вигляді, як правило, вона не має однозначного вирішення. Цінність кейс-технології полягає в тому, що вона одночасно відображає не тільки практичну проблему, а й актуалізує певний комплекс знань, який необхідно засвоїти при вирішенні цієї проблеми [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню та застосуванню економіко-математичних методів присвячено праці багатьох зарубіжних та вітчизняних дослідників, зокрема В. Вітлінського, В. Кобійчук, Т. Клебанової, Л. Малярець, В. Пономаренко, С. Прокопович та ін.

Що ж стосується кейс-методу, він був розроблений англійськими науковцями М. ШEVEROM, Ф. ЕДЕЙЕМ та К. СЙТС на початку ХХ століття, проте в Україні він став застосовуватись лише в кінці цього століття. Основу методу складає концепція розвитку розумових здібностей. Нині з'являється багато праць, присвячених застосуванню кейс-технологій при підготовці фахівців окремих спеціальностей. Так, Л. Лежніна пропонує широко застосовувати кейс-метод при професійній підготовці психологів. В. Ягоднікова розглядає кейс-технології як форму інтерактивного навчання майбутніх фахівців [4]. Пащенко Т.М. пропонує застосовувати кейс-технології у професійно-технічних навчальних закладах при підготовці кваліфікованих робітників.

На нашу думку нині маловивченим є питання використання кейс-технологій при навчанні майбутніх фахівців економічних спеціальностей математичному моделюванню економічних процесів.

Метою дослідження є розгляд особливостей застосування кейс-технологій при навчанні математичному моделюванню економічних процесів майбутніх фахівців економічного профілю.

Виклад основного матеріалу дослідження. В загальному кейс-метод відноситься до інтерактивних методів навчання, оскільки при цьому відбувається взаємодія усіх учасників навчального процесу. Навчання з використанням кейс-методів є більш цікавим і ефективним, вимагає від студентів прояву креативності та винахідливості.

Кейсом також називають набір навчальних матеріалів, які пропонуються студенту для опрацювання та дослідження.

Науковцями розглядають наступні типи кейсів: кейс-потреби, кейс-вибір, кризовий кейс, кейс-випадок, кейс-вправа, кейс-ситуація, конфліктний кейс, кейс-боротьба, інноваційний кейс.

На нашу думку, при здійсненні математичного моделювання економічних процесів доцільно застосовувати кейс-вправи, оскільки саме цей вид кейсів використовується там, де потрібно проводити кількісний аналіз ситуації.

Робота над кейсом передбачає:

- розбір конкретної ситуації з певного сценарію, який включає самостійну роботу;
- «мозковий штурм» в мережах малої групи;
- публічний виступ із представленням та захистом запропонованого рішення;

- контрольне опитування учасників на предмет знання фактів кейсу, що розбирається [4].
Роботу над кейсом поділяють на два основні етапи: домашня самостійна робота й робота в аудиторії. Алгоритм проведення занять із застосуванням кейс-методу передбачає:

- I етап: заздалегідь складені кейси викладач роздає студентам не пізніше як за день до заняття. Студенти самостійно розглядають кейс, підбирають додаткову інформацію і літературу для його вирішення;

- II етап: заняття розпочинаються з контролю знань студентів, з'ясування центральної проблеми, яку необхідно вирішити. Розділивши групу студентів на малих робочі групи, дати різні ситуації для вирішення кейсу або всім однакові. Викладач контролює роботу малих груп, допомагає, уникаючи прямих консультацій. Студенти можуть використовувати допоміжну літературу, підручники, довідники. Кожна мала група обирає «спікера», який на етапі презентації рішень висловлює думку групи. У ході дискусії можливі питання до виступаючого, виступи і доповнення членів групи, викладач слідкує за ходом дискусії і шляхом голосування обирається спільне вирішення проблемної ситуації. На етапі підведення підсумків викладач інформує про вирішення проблеми в реальному житті або обґрунтовує власну версію і обов'язково оприлюднює кращі результати, оцінює роботу кожної малої групи і кожного студента [4].

Застосувати кейс-метод при навчанні студентів математичному моделюванню економічних процесів пропонуємо наступним чином. На першому етапі студентам пропонується вибрати види залежностей економічних чинників, які потрібно дослідити. Це можуть бути залежності між економічними чинниками як на макро-, так і на мікрорівнях. Наприклад: «Побудова моделі залежності внутрішнього валового продукту від експорту, імпорту, інфляції та курсу долара по відношенню до гривні», «Модель залежності витрат обігу підприємства від грузообігу, запасів, фондомісткості», «Модель залежності обсягів продажу фірми від витрат на рекламу, індексу споживчих витрат за певний проміжок часу» та ін. Очевидно, що це будуть багатофакторні моделі, оскільки на переважну більшість економічних факторів (прибуток, втрати, дохід, собівартість, обсяги продажів, валовий внутрішній продукт та ін.) впливає багато різноманітних чинників.

Група розбивається на 4-5 підгруп, кожна з яких досліджує свою залежність. Студентам пропонується опрацювати відповідну економічну літературу, а також дані Державної статистичної служби України, статистичної служби у Вінницькій області, Міністерства економіки, збірників статистики підприємництва в Україні, статистики по категоріях, фінансову звітність окремих підприємств. Також студенти можуть самостійно обрати відповідну тему, підприємство, організацію, фірму і прийняти остаточне рішення, проконсультувавшись з викладачем.

На заняттях студенти підбирають вид множинної регресійної залежності, яка, на їх думку, найбільш точно описує економічний процес. Зауважимо, що для різних видів залежностей (гіперболічної, лінійної, степеневі, логарифмічної та ін.) виведені відповідні формули для розрахунку невідомих параметрів моделей як для парної регресії, так і для множинної.

Також здобувачі вищої освіти самостійно обирають відповідне програмне забезпечення. Це може бути улюблений студентами економетричний пакет аналізу Eviews, пакет аналізу даних MS EXCEL та інші програмні продукти. В ході дослідження студенти можуть самостійно додати фактори, які, на їх думку, суттєво впливають на досліджуваний економічний процес. Це досить важливий момент, оскільки потрібно вивчити фактори, що здійснюють вплив як на мікро, так і на макрорівнях, оцінити можливість їх кількісного вимірювання, розробити шкалу по балах для якісних факторів. Ті фактори, які не можливо оцінити, вилучаються з моделі. Найважливіша процедура багатофакторного аналізу – перевірка факторів на незалежність, тобто відсутність у побудованій моделі такого явища, як мультиколінеарність. Для цього, як правило, завжди будується матриця коефіцієнтів парної кореляції для аналізу самих коефіцієнтів. Якщо значення парних коефіцієнтів між факторами близьке до 1, це вказує на тісний зв'язок між ними. Тоді один із факторів потрібно вилучити з моделі. Студенти аналізують, дискутують, який саме фактор належить виключенню з моделі. Зазвичай, залишають із двох той, який з економічної точки зору здійснює більший вплив на результуючий показник, тобто має більше значення парного коефіцієнту кореляції з залежною змінною.

Також одним із основних моментів є перевірка отриманої моделі на адекватність за допомогою різних показників, коефіцієнтів, Кожна з підгруп відповідно до побудованої моделі та обраного програмного забезпечення пропонує свою доказову базу. Наприклад, при використанні

економетричного пакету аналізу Eviews здійснюється перевірка факторів моделі (з урахуванням заданого відсотку помилки) на значущість. При виявленні явища мультиколінеарності в запропонованому пакеті пропонується показник 0,7. Фактор, де значення менше граничного, відкидається і не враховується в подальшому прогнозі. В даному програмному пакеті розраховують значення показника Prob(F-statistic): якщо воно менше ніж 0,05 та 0,01, тоді значущість регресії існує при будь-якому рівні значущості. Значення R-squared, виміряне у відсотках, показує, на скільки процентів зміни незалежного фактора призводять до змін залежного. Після здійснення корегування студенти будують нову модель. Приклад розрахунку параметрів регресійної моделі засобами програмного забезпечення Eviews показано на рис.1.

Dependent Variable: GDP				
Method: Least Squares				
Date: 10/03/21 Time: 20:02				
Sample: 2010 2020				
Included observations: 11				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
EXPORT	-89246.77	65516.06	-1.362212	0.2220
IMPORT	-31206.29	44688.78	-0.698303	0.5111
INFLATION	1966.479	10834.40	0.181503	0.8619
KURS_\$	75585.97	14997.28	5.039980	0.0024
C	6798236.	1410580.	4.819462	0.0029
R-squared	0.961359	Mean dependent var	2353680.	
Adjusted R-squared	0.935598	S.D. dependent var	1141936.	
S.E. of regression	289795.7	Akaike info criterion	28.29470	
Sum squared resid	5.04E+11	Schwarz criterion	28.47556	
Log likelihood	-150.6208	Hannan-Quinn criter.	28.18069	
F-statistic	37.31861	Durbin-Watson stat	2.079859	
Prob(F-statistic)	0.000224			

Рис.1– Результати розрахунку параметрів регресійної моделі засобами програмного забезпечення Eviews [5]

Таким чином, програмне забезпечення Eviews дає змогу здійснити перевірку значущості побудованої множинної регресійної моделі, на основі якої зробити висновок про високу чи невисоку точність підбору моделі.

По ходу виконання роботи студенти дискутують, консультуються з викладачем, висувають різні гіпотези, їх перевіряють, розподіляють обов'язки учасників підгрупи.

Якщо ж говорити про застосування табличного процесора MS EXCEL, то враховуючи його можливості, студенти досить легко будують багатофакторну модель у матричному вигляді, а саме, здійснюють за допомогою методу найменших квадратів в матричній формі оцінки параметрів моделі.

Приклад розрахунку лінійної багатофакторної регресійної моделі методом найменших квадратів засобами MS EXCEL наведено на рис. 2 [6].

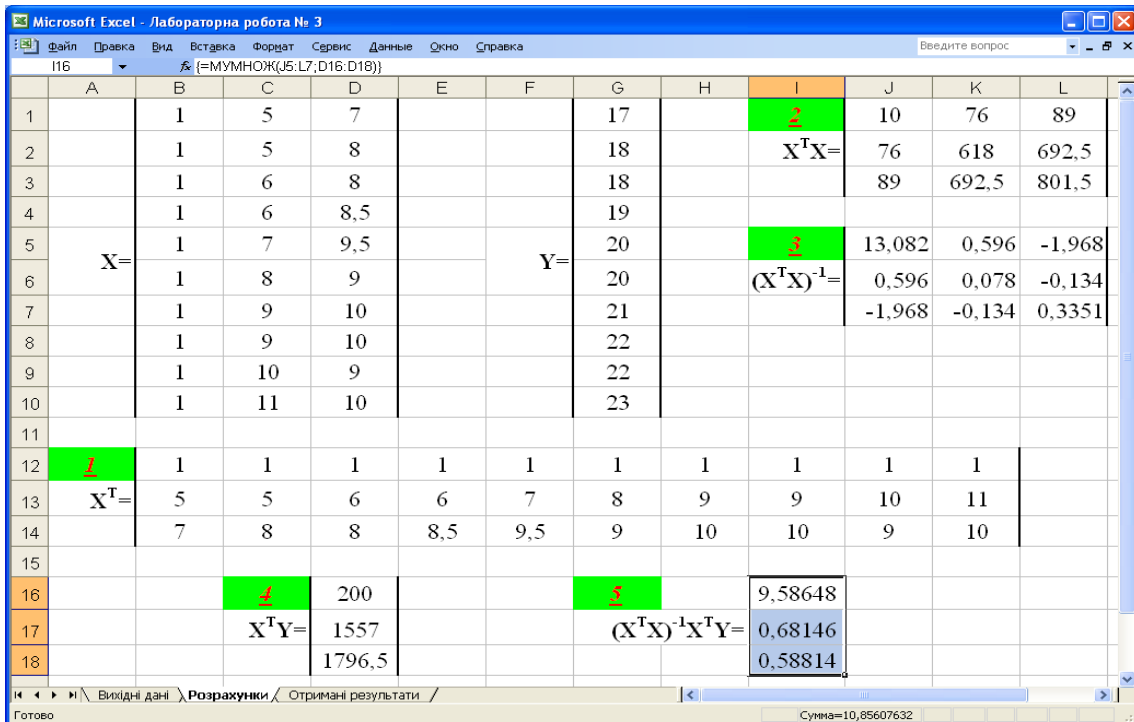


Рис. 2 – Приклад розрахунку багатofакторної засобами MS EXCEL [6]

Також можливості вказаного програмного забезпечення дозволяють будувати відповідні діаграми розсіювання для відшукування найбільш правильної форми зв'язку. Досить легко у цьому випадку здійснювати кореляційно-регресійний аналіз: розраховувати множинний коефіцієнт кореляції, обчислювати коефіцієнти частинної кореляції (враховуючи вбудовані функції **КОРРЕЛ**, **СТЬЮДРАСПРОМ**, інструмент **Кореляція** та ін.), здійснювати порівняння розрахунків коефіцієнтів за допомогою математичних формул та використовуючи вбудовані в MS EXCEL функції, знаходити значення статистичних критеріїв (критичне значення t-статистики Стьюдента, табличне значення F-критерію за допомогою статистичної функції **ФРАСПОРБ**, обчислювати значення критерію Пірсона та ін.). Приклад оцінки значимості коефіцієнта кореляції за допомогою t-статистики наведено на рис. 3.

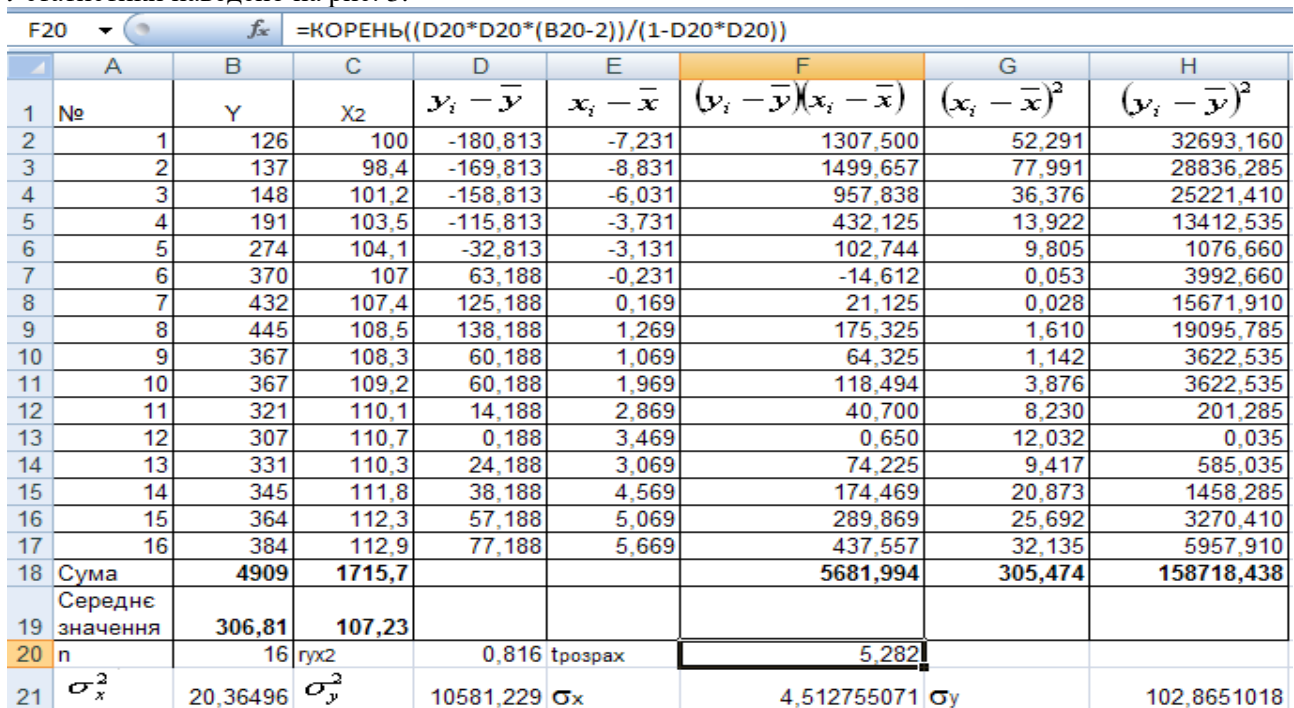


Рис. 3 – Оцінка значимості коефіцієнта кореляції [6]

Довівши адекватність побудованої моделі, відсутність в ній явища мультиколінеарності, студенти переходять до останнього кроку: прогнозування. Тут доцільно застосовувати трендовий аналіз – інструмент дослідження макроекономічних явищ, який визначає тенденції розвитку національної економіки. Найбільш імовірний сценарій прогнозу включає в собі прогнозні значення чинників, які були отримані на основі досліджених рівнянь трендів та трендового аналізу [5]. А саме, здійснюється прогноз на майбутній період і визначається залежність факторів, які будуть впливати на досліджуване явище.

Зауважимо, що статистичний пакет Eviews вдало розроблений саме для аналізу і побудови регресійних моделей. Крім того, практики зазначають, що його доцільно успішно використовувати для вирішення таких завдань: макроекономічне прогнозування, моделювання економічних процесів, прогнозування станів ринків тощо. Однак, для проведення трендового аналізу та виконання певних математичних розрахунків доводиться використовувати можливості табличного процесора MS Excel [5].

Зауважимо, що на заключному етапі студенти роблять висновки, обов'язково порівнюють отримані результати роз'язання поставлених проблем, прикладені зусилля та ефективність обраних методів. Викладач теж підводить підсумки, виставляє бали, характеризує найкращі методи, результати, дає рекомендації щодо їх подальшого застосування на практиці.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, якісне засвоєння студентами методів математичного моделювання економічних процесів на основі кейс-технологій (а саме, застосування кейс-вправ) дозволяє активізувати навчальну діяльність, творчі здібності, самостійність здобувачів вищої освіти, робить освітній процес наближеним до майбутньої практичної діяльності, формує відповідні фахові компетентності.

Майбутні дослідження у розглянутій галузі вбачаємо у розробці відповідних методичних посібників, баз кейсів для викладання дисциплін, пов'язаних з математичним моделюванням економічних процесів, з використанням кейс-технологій. Також потрібен аналіз відповідного інформаційного та програмного забезпечення.

Список бібліографічного опису

1. Койбічук В.В. Формування основ бізнесу в контексті вивчення дисципліни «Економіко-математичні методи». *Причорноморські економічні студії*. Випуск 13-2, 2017 С. 202-205. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/51805/3/Koibichuk_ekonomiko-matematichni_metody.pdf.
2. Вітлінський В. В. Моделювання економіки: навч. посіб. К.: КНЕУ, 2003. 408 с.
3. Кейс-технології у навчанні. URL: <https://www.creativeschool.com.ua/blog/kejs-tehnologiyi-u-navchanni/>. (Дата звернення 08.01.2023).
4. Ягоднікова В.В. Кейс-метод як форма інтерактивного навчання майбутніх фахівців. URL: http://www.rusnauka.com/1_NIO_2008/Pedagogica/25496.doc.htm. (Дата звернення 07.01.2023).
5. Радзіховська Л.М., Гусак Л.П., Панчук Ю.С. Побудова багатфакторної регресійної моделі засобами програмного забезпечення Eviews. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2020. Вип. 44. С. 84-89. URL: <https://ir.vtei.edu.ua/card.php?lang=uk&id=27340>.
6. Рудомін Г.А., Бондар М.В. Економіко-математичне моделювання. Методичні вказівки до виконання практичних робіт та самостійної роботи студентів. Вінниця: Центр підготовки наукових та навчально-методичних видань ВТЕІ КНТЕУ, 2013. 107с.

References

1. Koybichuk V.V.(2017). Formuvannya osnov biznesu v konteksti vivchennya distsiplini «Ekonomiko-matematichni metodi» *Prichornomorski ekonomichni studiy*. 13-2. 202-205. Retrieved from https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/51805/3/Koibichuk_ekonomiko-matematichni_metody.pdf [in Ukrainian].
2. Vitlinskiy V. V. (2003.) *Modelyuvannya ekonomiki*. K.: KNEU. 408 s. [in Ukrainian].
3. Keys-tehnologiyi u navchanni. Retrieved from <https://www.creativeschool.com.ua/blog/kejs-tehnologiyi-u-navchanni/>. [in Ukrainian].
4. Yagodnikova V.V.(2008). Keys-metod yak forma Interaktivnogo navchannya maybutnih fahivtsiv. Retrieved from http://www.rusnauka.com/1_NIO_2008/Pedagogica/25496.doc.htm [in Ukrainian].
5. Radzihovska L.M., Gusak L.P., Panchuk Yu.S. (2020). Pobudova bagatofaktornoyi regresiynoyi modeli zasobami programnogo zabezpechennya Eviews. . *Komp'yuterno-Integrovani tehnologiyi: osvita, nauka, virobnitstvo*. . 44. 84-89. Retrieved from <https://ir.vtei.edu.ua/card.php?lang=uk&id=27340> [in Ukrainian].
6. Rudomin H.A., Bondar M.V.(2013). *Ekonomiko-matematychne modeliyuvannya. Methodychni vkazivky do vykonannya praktichnykh robit ta samostiinoi roboty studentiv*. Vinnytsia: Tsentridgotovky naukovykh ta navchalno-metodychnykh vydan VTEI KNTEU. 107s. [in Ukrainian].

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-07>

УДК 004.94:518.5

Добришин Юрій Євгенович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2473-9507>

Бондаренко Іван Дмитрович, к.ю.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9164-0721>

Сидоренко Сергій Миколайович, старший викладач

<https://orcid.org/0009-0003-1185-1505>

Національна академія Служби безпеки України, м. Київ, Україна

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТИКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІСЛЯ ВПЛИВУ КІБЕРАТАК

Добришин Ю.Є., Бондаренко І.Д., Сидоренко С.М. **Формалізація технологічного процесу діагностики програмного забезпечення після впливу кібератак.** В роботі розглядаються питання застосування логіко-математичного апарату при формалізації процесів діагностування програмного забезпечення після його пошкодження (внаслідок впливу кібератак), під час експлуатації автоматизованих інформаційно-телекомунікаційних систем та комплексів. Запропоновано математичний апарат автоматизації процесу діагностування програмного забезпечення, який використовує логіку предикатів та дозволяє застосовувати математичні вирази, що описують властивості дефектів програмного забезпечення, правила їх виводу, відповідно до положень, прийнятих в математичній логіці. Приклади описів проектних рішень дозволяють автоматизувати проектування технологічних операцій діагностування пошкодженого програмного забезпечення після впливу кібератак, а також, забезпечують створення логічних проектних процедур щодо операцій відновлення пошкодженого програмного забезпечення.

Ключові слова: автоматизована інформаційно-телекомунікаційна система, діагностування, структурно-технологічні взаємозв'язки, предикат, дефекти програмного забезпечення.

Dobryshyn Yu., Bondarenko I., Sydorenko S. Cyberattack impacted software diagnostics technological process formalization. In the article, the application of logic-mathematical apparatus for cyberattack damaged software diagnostics processes is studied. Software diagnostics automation mathematical apparatus that uses predicate logic and allows you to use mathematical expressions describing the properties of software defects, the rules for their derivation, in accordance with the provisions adopted in mathematical logic is proposed. Described examples provide both cyberattack affected software diagnostics automation and damaged software restore procedures.

Key words: automated information and telecommunication system, diagnostics, structural-technological relationships, predicate, software defects.

Постановка наукової проблеми.

В комплексі дій, направлених на забезпечення відновлення пошкодженого програмного забезпечення внаслідок впливу кібератак, важливе місце займає його діагностування.

Технологічний процес діагностування відноситься до складних процесів, що відбуваються у багаторівневих автоматизованих системах, і ставить за мету виявлення пошкоджень та несправностей програмного забезпечення на момент їх діагностування, а також відрізняється значною трудомісткістю. Процес діагностування також є складним щодо автоматизації, через відсутність відповідних математичних моделей.

Суттєвою проблемою під час діагностування програмного забезпечення є неповнота, невизначеність і суперечливість інформації стосовно властивостей дефектів та технологічних операцій, які необхідно призначати з метою подальшого відновлення порушення конфіденційності, цілісності, доступності електронних інформаційних ресурсів, що обробляються в автоматизованих інформаційно-телекомунікаційних системах та комплексах.

Технологічний процес діагностування пошкодженого програмного забезпечення складно формалізувати за відсутності теорії і методології автоматизації процесу створення діагностичних моделей, що описують функціональні залежності між об'єктами, які приймають участь у процесі діагностування.

Практика аналізу виходу з ладу програмного забезпечення після навмисних дій, які здійснюються за допомогою засобів електронних комунікацій, складає основу методології діагностування, на базі якої можливо розробити формалізовані методики рішення окремих задач щодо призначення технологічних операцій з відновлення дефектів програмного забезпечення автоматизованих інформаційно-телекомунікаційних систем, а також визначити внутрішній зміст операцій та взаємозв'язки між ними.

Розв'язання вище описаної задачі потребує застосування спеціального математичного апарату та побудови математичної моделі, у вигляді систем множин та відношень.

Така математична модель дозволить класифікувати та проаналізувати властивості та відношення між технологічними об'єктами, що приймають участь у процесі діагностування програмного забезпечення, зможе виявити якісні зв'язки між операціями щодо властивостей дефектів та їх відновлення, формалізувати технологію призначення послідовності операцій з відновлення працездатності програмного забезпечення.

Математичний апарат повинен включати розробку математичних виразів, які описують дефекти програмного забезпечення, правила їх виводу відповідно з положеннями, прийнятими в математичній логіці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вітчизняні та закордонні науковці, під час розгляду проблем діагностування програмного забезпечення зупиняються, в основному, на питаннях удосконалення супроводження програмного забезпечення.

Так у наукових працях [1,2] надається опис моделі супроводження інформаційних систем на етапах життєвого циклу.

На думку авторів, інформаційна система виступає пасивною категорією, як в процесі досліджень, так і в процесі проектування. Функціонування інформаційної системи описується моделями розробки, функціонування та розвитку. Автори зазначають, що модель супроводження програмного забезпечення, як частина життєвого циклу інформаційної системи, складається з послідовності виконання взаємопов'язаних процесів, у тому числі, діагностування, опис яких можливо надати у виді систем множин та відношень.

Інтерес представляють наукові роботи [3,4], автори яких стверджують, що для автоматизації програмного забезпечення потрібні методи і засоби ідентифікації дефектів проектування, а також прогнозування кількості помилок на етапі експлуатації інформаційних систем, також розглядають питання аналізу дефектів програмного забезпечення, їх класифікація, закономірності появи та шляхи усунення.

Теоретичні дослідження щодо моделей та методів діагностики розглянуті у роботах [5-9]. У своїх роботах науковці представляють теоретичні та практичні підходи щодо розробки логіко-математичних методів діагностування складних систем, а також методів оцінювання точності інформаційно-вимірних систем діагностики.

Аспекти автоматичної діагностики систем доповнюють наукові роботи [10-12]. В цих працях авторами успішно вирішені завдання, що належать до методів та засобів контролю та діагностики технічних систем та програмного забезпечення.

Незважаючи на проведені дослідження, проблема автоматизації технологічного процесу діагностики програмного забезпечення після впливу кібератак, залишається актуальною і потребує подальшого вивчення та дослідження.

Реальною базою, призначеною вирішувати автоматизацію процесу діагностування програмного забезпечення, пошкодженого кібератакою, а також, визначення складу та послідовності технологічних операцій з відновлення роботи програмного забезпечення, повинна виступати відповідна формалізована теорія, яка передбачає опис предметної області шляхом визначення множини технологічних об'єктів, що приймають участь у процесі діагностування та знаходження зв'язків між ними, з подальшим формуванням певного математичного апарату.

В свою чергу, формалізація процесів діагностування програмного забезпечення, яке пошкоджено у наслідок впливу кібератак, надає можливість забезпечувати автоматизацію технології відновлення дефектів програмного забезпечення, а також є базою для створення багаторівневих програмно-апаратних систем щодо автоматизованого збору, оцінки та управління процесами діагностування та відновлення програмного забезпечення різних автоматизованих систем та комплексів.

Мета дослідження.

Метою даної статті є вирішення актуальної проблеми щодо створення формалізованих основ інформаційної технології діагностування пошкодженого програмного забезпечення, яка дозволяє визначати властивості дефектів, способи та послідовність їх відновлення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Операції діагностики програмного забезпечення після його пошкодження та впливу кібератак, розміщуються першими у технологічному процесі відновлення працездатності програмних компонентів автоматизованої інформаційної системи та ставлять за мету визначення повної і всебічної інформації щодо стану програмного забезпечення зазначеної системи.

Проведення діагностики пошкодженого програмного забезпечення потребує суттєвих знань для вибору методів та послідовності його відновлення, у тому числі таких, які не зазначені у технічній документації у явному вигляді, а набуті співробітниками під час аналізу даних про дефекти програмного забезпечення та способів їх усунення.

Таким чином, процес діагностики відрізняється значною трудомісткістю і є складним з точки зору його автоматизації за відсутності відповідних методичних рекомендацій.

Аналіз автоматизованих інформаційних систем, що вийшли з ладу після впливу кібератак, свідчить про те, що будь-яка система $s_i \in \{S\}$, яка потребує перевірки на наявність дефектів може бути формально задана кортежем:

$$s_i = \{I, G, C\} \quad (1)$$

де:

I - загальні відомості про автоматизовану інформаційну систему;

G - множина дефектів програмного забезпечення, де $G \in \{Q\}$;

C - структура автоматизованої інформаційної системи.

Загальні відомості $\{I\}$ про автоматизовану інформаційну систему можливо представити у вигляді багатьох параметрів, що характеризують властивості її програмного забезпечення

$$I = \{B_0, B_1, \dots B_i, \dots B_n\} \quad (2)$$

де:

$$i = \overline{0, n}$$

Склад кожного з дефекту можливо записати за допомогою його властивостей.

$$G = \{Y_0, Y_1, \dots Y_i, \dots Y_m\} \quad (3)$$

де:

$$j = \overline{0, m}$$

Структуру автоматизованої інформаційної системи $\{C\}$ опишемо графом, у якому вершинам відповідають дефекти $\{G\}$, а ребрам $\{E\}$ - множина взаємозв'язків та відношень між дефектами.

Умова, що всі елементи графу задані в одній і тій же множині, дає можливість визначити ряд відношень, які мають певні властивості та дозволяють виявити взаємозв'язки, доступні математичній інтерпретації з метою формалізації технологічного процесу діагностики програмного забезпечення після впливу кібератак, а також прийняття рішення щодо стану дефектів та послідовності проведення операцій щодо їх усунення.

Серед таких відношень необхідно виділити відношення сумісності передвизначення, слідування, домінування, еквівалентності.

Умова 1.

Сумісність « \leftrightarrow » програмного забезпечення P_f , де $f \in \{N\}$ що діагностується та дефекту g_j , $j \in \{G\}$ де досягається за умови виконання умови:

$$\forall_N P_f \forall_G g_j \exists S_p \exists S_g \exists P \{(P_f[S_p^1] = g_j[S_g^1]) \wedge (P_f[S_p^2] = g_j[S_g^2]) \wedge (P_f[S_p^3] = g_j[S_g^3])\} \Leftrightarrow (P_f \leftrightarrow g_j) \quad (4)$$

де:

P_f - програмне забезпечення;

g_j - дефект програмного забезпечення;

S_p, S_g - властивості програмного забезпечення та дефекту.

Умова 2.

Відношення передвизначення « \rightarrow » можливо визначити на підставі раніше сформованої умови сумісності:

$$\forall_G g_f^1 \forall_G g_f^2 \exists S_g \exists P \{(g_f^1[S_g] > g_f^2[S_g])\} \Leftrightarrow (g_f^1 \rightarrow g_f^2) \quad (5)$$

Крім того, відношення передвизначення забезпечує транзитивність дефектів програмного забезпечення, яку можливо записати у математичному вигляді:

$$\{(g_f^1 \rightarrow g_f^2) \wedge (g_f^2 \rightarrow g_f^3)\} \Leftrightarrow (g_f^1 \rightarrow g_f^3) \quad (6)$$

Умова 3.

Послідовність упорядкування дефектів під час проведення діагностики, описується за допомогою умови слідування. У математичному вигляді зазначене відношення доцільно записати наступним чином:

$$\forall_N P_f \exists g_f^1 \exists g_f^2 \exists S_p \exists S_g \exists P \{ (P_f[S_p^1] \leftrightarrow g_f^1[S_g^1]) \wedge (P_f[S_p^2] \leftrightarrow g_f^2[S_g^2]) \wedge (g_f^1 \neq g_f^2) \} \Leftrightarrow (g_f^1 \sim g_f^2) \quad (7)$$

Умова 4.

Дефект g_f^1 домінує над дефектом g_f^2 тільки тоді, коли буде виконуватися наступна умова:

$$\forall_G g_f^1 \forall_G g_f^2 \exists S_g \exists P \{ (P_f(g_f^1[S_g^1] = 1) \wedge ((P_f(g_f^2[S_g^2] = 0))) \Leftrightarrow (g_f^1 \gg g_f^2) \} \quad (8)$$

Умова 5.

Два дефекти вважаються еквівалентні один одному, якщо виконується наступна умова:

$$\forall_G g_f^1 \forall_G g_f^2 \exists S_g \exists P \{ ((g_f^1[S_g^1] = g_f^2[S_g^2]) \wedge ((g_f^1 \neq g_f^2))) \Leftrightarrow (g_f^1 \approx g_f^2) \} \quad (9)$$

Сформовані відношення та умови їх виконання, дозволяють виокремити задачу побудови технологічного процесу діагностики програмного забезпечення після впливу кібератак, як послідовність логічних перетворень над формальним описом зазначеного процесу.

Також, реалізація третьої технологічної умови значно зменшує кількість визначених дефектів за рахунок того, що кожний дефект класифікований по ступені впливу на працездатність програмного забезпечення, тобто важливості.

Це дозволяє визначати для кожного програмного забезпечення основні модулі, обов'язкові для перевірки під час діагностики.

Інші дефекти, які можна вважати неосновними і наявність яких тимчасово дозволяється, можуть розглядатися як умовно допустимі і пов'язані з основними дефектами певними закономірностями. Тобто має місце залежність:

$$g_{fni} = F(g_{foi}) \quad (10)$$

де, g_{fni} величина неосновного дефекту, g_{foi} величина основного дефекту.

Необхідно підкреслити, що після діагностики та вибору способів усунення основних дефектів програмного забезпечення, для неосновних дефектів можливе автоматичне призначення способів їх відновлення.

В результаті, з усіх дефектів програмного забезпечення, що були виявлені, розглядатимуться тільки властивості основних дефектів, що суттєво зменшить час на проведення технологічних операцій з діагностики програмного забезпечення після його пошкодження та впливу кібератак.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Таким чином, наведені формалізовані умови дають можливість розробити алгоритм послідовності проектування технологічного процесу діагностики програмного забезпечення після впливу кібератак. Також, запропонований метод дозволяє здійснити автоматизацію процесу, як одну із задач щодо створення сучасних систем автоматичного проектування технологічних процесів відновлення програмного забезпечення після пошкодження та впливу кібератак.

Аналіз діагностування пошкодженого програмного забезпечення внаслідок впливу кібератак, дає можливість визначити ряд відношень, які мають певні властивості та дозволяють виявити взаємозв'язки, доступні математичної інтерпретації з використанням логіко-математичного апарату щодо формалізації технологічного процесу діагностики програмного забезпечення. Відношення сумісності, передвизначення, слідування, домінування, еквівалентності дозволяють створити умови автоматизованого проектування різних проектних рішень під час розробки операцій з діагностування пошкодженого програмного забезпечення та у подальшому визначитися з послідовністю призначення технологічних операцій з відновлення його дефектів.

Список бібліографічного опису

1. Lisetsky Yu. (2018). Models of support for enterprise information system by stages of the life cycle software. *Software & Systems*, 3, 455-460.
2. Руденська Г. (2020). Моделі та процеси життєвого циклу інформаційної системи управління оборонними ресурсами. *Інформація та управління проектами інформації Збройних Сил*. 1, 59 - 65.
3. Нечай О. (2009). Метод діагностики об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення. *Вісник НАУ*. 5, 100 - 111.
4. Щербаків О. Луценко Є. (2011). Оцінка ефективності тестування програмного забезпечення на основі аналізу кількості та критичності знайдених дефектів. *Системи обробки інформації*. 3, 88 - 92.

5. Литвиненко О. Є. Нечипорук О.П. (2016). *Логіко-математичні методи діагностування складних систем*. Київ: Артмедіа прінт.
6. Марченко Н.Б., Нечипорук В.В. Нечипорук О.П., Пепа Ю.В. (2014). *Методи оцінювання точності інформаційно-вимірювальних систем діагностики*. Київ: Задруга.
7. Lisetsky Yu., Snytyuk V. (2015). *Formal presentation of a corporate integrated system in the form of a set mathematical models*, 17-th Intern. Conf. System Analysis and Information Technologies SAIT 2015. Kyiv.
8. Syrotkina O. (2011) *Automatic Subsystem of Data Transmission Diagnostics is the Base of Reliability and Stability of Modern SCADA Systems for Mission-critical Applications*. 6th International Forum for Students and Young Researches, April 14-15, 2011: Abstracts. – Dnipropetrovsk.
9. Syrotkina O., Alekseyev M. (2016). *Software Diagnostics for Reliability of SCADA Structural Elements*. *Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Controls*. Taylor & Francis Group, 259-265.
10. Сакович Л., Павлов В., Лівенцев С., Небесна Я. (2012). Порівняльний аналіз моделей надійності програмного забезпечення засобів спеціального зв'язку. *Information Technology and Security*, 2(2). 61 - 69.
11. Nechyporuk O. (2014) .Adjustment of the generalized logical model of compound systems diagnosing according to the situation. *The Advanced Science Journal*, 2, 20 - 23.
12. Guchenko I. (2014) Usability management in the context of software architecture. *Інженерія програмного забезпечення*. 2(18), 20 - 25.

References

1. Lisetsky Yu. (2018). Models of support for enterprise information system by stages of the life cycle software. *Software & Systems*, 3, 455-460.
2. Rudenska G. V. (2020). Models and processes of the life cycle of the defense resource management information system. *Information and management of information projects of the Armed Forces*, 1, 59–65.
3. Nechay O.S. (2009) A method of object-oriented software diagnostics. *Bulletin of NAU*. 5, 100-111.
4. Shcherbakov O. V. Lutsenko. E.S. (2011). Evaluation of the effectiveness of software testing based on the analysis of the number and criticality of the defects found. *Information processing systems*, 3, 88–92.
5. Lytvynenko O.E. Nechiporuk O.P. (2016). *Logical-mathematical methods of diagnosing complex systems*. Kyiv: Artmedia Print.
6. Marchenko N.B., Nechiporuk V.V. Nechiporuk O.P., Pepa Y.V. (2014). *Methods of assessing the accuracy of information and measurement systems of diagnostics*. Kyiv: Zadruga.
7. Lisetsky Yu., Snytyuk V. (2015). *Formal presentation of a corporate integrated system in the form of a set mathematical models*, 17-th Intern. Conf. System Analysis and Information Technologies SAIT 2015. Kyiv.
8. Syrotkina O. (2011) *Automatic Subsystem of Data Transmission Diagnostics is the Base of Reliability and Stability of Modern SCADA Systems for Mission-critical Applications*. 6th International Forum for Students and Young Researches, April 14-15, 2011: Abstracts. – Dnipropetrovsk.
9. Syrotkina O., Alekseyev M. (2016). *Software Diagnostics for Reliability of SCADA Structural Elements*. *Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Controls*. Taylor & Francis Group, 259-265.
10. Sakovich L.M., Pavlov V.P., Liventsev S.P., Nebesna Y.E. (2012). Comparative analysis of software reliability models of special communication tools. *Information Technology and Security*, 2(2), 61-69.
11. Nechyporuk O. (2014). Adjustment of the generalized logical model of compound systems diagnosing according to the situation. *The Advanced Science Journal*, 2, 20-23.
12. Guchenko I.V. (2014). Usability management in the context of software architecture. *Software engineering*, 2(18), 20 - 25.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-08>

УДК 004.02

Касянчук Дмитро Павлович, магістрант,

<https://orcid.org/0009-0004-2824-8232>

Марченко Олександр Іванович, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-4537-3420>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ КОДУ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЗГОРТКИ РЯДКОВИХ КОНСТАНТ

Касянчук Д.П., Марченко О.І. Модифікований метод статичного аналізу коду для рішення задачі згортки рядкових констант. У даній статті запропонований модифікований метод згортки рядкових констант, який має меншу складність і вищу точність, ніж існуючі методи. В основі цього методу лежить анування пропагованих значень додатковою інформацією, аналіз якої дозволяє не здійснювати конкатенацію значень, які не можуть існувати разом під час реального виконання програми, що, в свою чергу, дозволяє зменшити розмір проміжних результатів аналізу потоку даних, тим самим покращуючи його швидкість і точність.

Ключові слова: граф потоку виконання, CFG, аналіз потоку даних, DFA, MFP алгоритм, MOP алгоритм, повна решітка, абстрактний домен, статичний аналіз, згортка констант.

Kasianchuk D.P., Marchenko O.I. Modified method of static code analysis for solving problem of folding of string constants. This article proposes a modified method for solving problem of propagation of string constants with less complexity and higher accuracy than existing methods. The basis of the considered method is the annotation of the propagated values with additional information, the analysis of which allows not to perform the concatenation of values which cannot exist together during the actual execution of the program. This approach allows to reduce the size of the intermediate results of data flow analysis, thereby improving its speed and accuracy.

Keywords: control flow graph, CFG, data flow analysis, DFA, MFP algorithm, MOP algorithm, full lattice, abstract domain, static analysis, constant propagation.

Постановка наукової проблеми.

Рядки широко використовуються в сучасних мовах програмування, зокрема у рядкових літералах для надання інформації користувачу, у програмах обробки текстів, у програмах, що використовують рефлексію тощо. Наприклад, у мові PHP рядки є способом обміну між програмами, тоді як у JAVA вони широко використовуються у якості SQL запитів, або для отримання доступу до інформації про класи через рефлексію. Під час виконання інструкції `str.substring(str.indexOf('a'))` виникне помилка у разі, якщо рядок не містить такого символу. Тобто, у цьому випадку було б корисно мати можливість відслідковувати множину можливих символів, які належать конкретному рядку. Іншим же прикладом є робота з SQL запитами. Наприклад, після виконання такого запиту – "delete from some_tbl where id = " + id, де id – "10 OR TRUE" – весь зміст таблиці буде втрачений без можливості відновлення. Таким чином, неправильні маніпуляції з рядками можуть призвести не тільки до виняткових, а також до драматичних і невідновлюваних ситуацій.

З вищесказаного можна зробити висновок, що важливість методів, які автоматично аналізують і виявляють помилки, що можуть виникнути при роботі з рядками, є дуже високою. Але існуючі методи такого типу все ще не повністю задовольняють сучасним вимогам: методи, які базуються на використанні автоматів та регулярних виразах є точними, але повільними, і, головне їх швидкість важко покращити; багато інших методів є доволі швидкими, але вони є досить спеціалізованими, оскільки орієнтовані на певні властивості або класи програм. Тому задача розробки нових методів, які не були б вузько спеціалізованими і достатньо швидкими, є актуальною.

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.

CFG – граф потоку виконання (англ. – Control Flow Graph).

DFA – аналіз потоку даних (англ. – Data Flow Analysis).

MFP – максимальна фіксована точка (англ. - Maximal Fixed Point).

MOP – об'єднання всіх шляхів (англ. - Meet Over All Paths).

Трансферна функція – операція DFA, мета якої модифікація вхідних властивостей вузла графу після аналізу інструкцій у ньому.

Join-функція – операція DFA, мета якої обробка декількох можливих результатів і отримання на їх основі єдиного.

Аналіз досліджень.

Як було сказано вище, на сьогоднішній день існує невелика кількість методів та інструментів, які здатні ефективно отримати множину константних значень рядкових змінних у певних локаціях цієї програми. Розглянемо методи та підходи для задачі згортки констант, що описані в [1,2].

Методи, що запропоновані в [1], орієнтовані на знаходження таких значень змінних програми, які є сталими для змінної протягом виконання всієї програми, тобто, фактично, такі змінні є константами у цій програмі. Іншими словами, розмір множини можливих значень цієї змінної не перевищує одиниці. Незмінність значення змінної протягом програми контролюється join-функцією. Значення, яке вона повертає обчислюється наступним чином:

$$\begin{cases} x_1, & \text{if } x_1 = x_2 \\ \top, & \text{if } x_1 \neq x_2 \text{ or } x_1 = \top \text{ or } x_2 = \top \end{cases}$$

де x_1, x_2 – значення змінної, що були отримані при аналізі попередніх інструкцій,

\top – спеціальний символ для позначення невідомого значення.

Методи, що описані в [2], створенні конкретно для задачі аналізу рядкових констант і базуються

на визначенні абстрактного домену, а також його властивостей. Підсумовуючи, можна виділити наступні домени:

1. \overline{CI} домен, метою якого є апроксимування рядків до двох множин символів: які точно або можливо в ньому містяться. Дана інформація є корисною для відстеження доступу до індексів через пошук певного символу у рядках. Результатом join-функції є перетин множин точних символів і об'єднання множин можливих символів.
2. \overline{PR} та \overline{SU} домени, метою яких є апроксимування рядків до префіксів і/або суфіксів. Результатами join-функції є найбільший спільний префікс і суфікс рядків відповідно. Дані домени можуть бути використанні для перевірки деяких простих синтаксичних властивостей (наприклад, перевірка рядка, який використовується у якості SQL команди, на наявність «SELECT» слова на початку і «;» в кінці) при всіх можливих потоках виконання.
3. В домені \overline{SG} для представлення множини можливих рядків використовується граф. Вузли графа описують або рядки, або операцію альтернативи (OR-вузол), або операція над рядками (в даному випадку – це функція об'єднання). Join-функція продукує новий граф, який об'єднує вхідні значення OR-вузлом. Результат роботи даного аналізу може використовуватися у інструментах, які потребують повну множину можливих рядків без обмежень.

Неважко помітити, що метод на основі виділення домену \overline{SG} є більш точним, ніж на основі \overline{CI} , \overline{PR} , \overline{SU} , які мають не дуже велику точність, але алгоритми яких зберігають лінійну складність, в той час як алгоритм методу на основі \overline{SG} домену є більш складним (на практиці складність є поліноміальною), але в той же час він набагато точніший.

Підсумовуючи, відзначимо, що описані вище методи мають наступні недоліки:

- 1) направленість на вузькі домени;
- 2) можливий комбінаторний вибух [5] складності аналізу при великій кількості розгалужень.

Постановка завдання.

На основі вищенаведеного аналізу можна зробити висновок про доцільність створення методу, який буде таким же точним, що й метод на основі \overline{SG} домену, але матиме меншу складність, що дозволить використовувати його у більшій кількості ситуацій, в яких потрібно визначати повну множину рядків, що використовуються в програмі, але наявні методи не можуть бути ефективно використані через їх незадовільну швидкість.

Завданням даної статті є розробка нового, достатньо точного та швидкого методу для вирішення задачі згортки рядкових констант на основі ідей, розглянутих у аналізі.

Запропонований метод згортки рядкових констант.

Для вирішення задачі згортки рядкових констант в якості базового був обраний підхід з використанням методів статичного аналізу коду, до яких належать і розглянуті вище у аналізі методи. На рис.1 зображено показано загальну схему статичного аналізу коду.

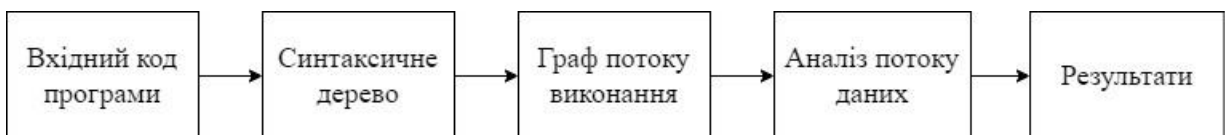


Рис.1. Загальна схема статичного аналізу коду

Зазвичай, задачі першого етапу, а саме перетворення текстового представлення програми у синтаксичне дерево, відповідно до певної граматики, досягається за допомогою автоматичних генераторів [3] синтаксичних аналізаторів.

Синтаксичні дерева забезпечують «природне» представлення граматичної структури коду, але вони не дуже добре відповідають представленню інших властивостей програм. Тому, для моделювання різних аспектів поведінки програм в методах статичного аналізу коду використовуються більш загальні графи іншого виду.

Для виконання статичного аналізу коду з метою згортки рядкових констант автори пропонують використовувати CFG [4]. Цей граф представляє програму у вигляді окремих базових блоків коду програми та шляхів виконання цих блоків. Базовий блок коду – це блок послідовних операторів програми, в яких немає розгалужень чи циклів. CFG широко використовується для моделювання поведінки програм. Вузли цього графу містять інформацію про базові блоки коду програми, а ребра – про передачу керування між ними.

На основі CFG виконується DFA. Суть цього аналізу полягає у анотуванні кожного базового блоку у вузлах графу певними властивостями. Як правило, для вирішення задачі згортки констант (рядкових і числових), з метою зберігання різних властивостей базових блоків у вузлах графу, використовується хеш-таблиця, де ключем хешування є змінна, а значенням – множина можливих констант, які ця змінна може набувати до моменту виконання того базового блоку, що представляє даний вузол.

Для поширення (передавання) значень між базовими блоками, інформація про які міститься у вузлах графу, використовується ітеративний підхід. У початковій конфігурації інформація про базові блоки у вузлах ініціалізується початковими значеннями, наприклад, пустою хеш-таблицею. Потім відбувається поширення значень змінних базових блоків по вузлах CFG вздовж його ребер. Трансферна функція позначається, як $f_{l \rightarrow l'}$,

де l – вузол, в якому відбувається зміна властивостей,

l' – вузол, якому приходять нові властивості.

Для реалізації такого ітеративного підходу був обраний MFP алгоритм, в якому властивості в блоці l' визначаються наступним чином[6]:

$$propertyAtNode(l') = \cup_{l \in pred(l')} f_{l \rightarrow l'}(propertyAtNode(l)),$$

де $pred(l')$ - це множина всіх вузлів CFG, з яких можна потрапити у вузол l' . Аналіз продовжується поки значення властивостей базових блоків у вузлах графу не стабілізуються (тобто перестануть змінюватися після чергової ітерації). Псевдокод цього алгоритму показаний на рис.2.

```
Вхідні дані:
- Граф потоку виконання (CFG)
- Трансферна функція
- Початкові дані для кожного вузла
Вихідні дані:
- Інформація про потік даних для кожного вузла

// Крок 1: Ініціалізація
for each basic block B in CFG {
    in[B] = початкове значення
    out[B] = початкове значення
}
worklist = множина всіх вузлів графу

// Крок 2: Поширення значень
while worklist is not empty {
    B = обраний вузол з worklist
    for each predecessor of B {
        in[B] = in[B] ∪ out[P] // об'єднання властивостей з батьківських вузлів
    }
    out[B] = transfer(B, in[B]) // обробка вхідних властивостей трансферною функцією
    if out[B] has changed {
        for each successor of B {
            add S to worklist
        }
    }
    remove B from worklist
}
```

Рис.2. Псевдокод MFP алгоритму

Варто зазначити, що для рішення цієї ж задачі використовується також алгоритм MOP [6]. Його відмінність полягає у тому, що значення у вузлах вираховуються для кожного шляху окремо і наприкінці обчислень об'єднуються. Досить очевидно, що результат, отриманий за допомогою такого алгоритму, буде значно точнішим, ніж результат MFP алгоритму, але швидкодія MOP алгоритму буде значно гіршою.

Розглянемо простий, але в той же час наочний, приклад типової програми, псевдокод якої показаний на рис.3. В даній програмі відбувається формування SQL запиту шляхом об'єднання значень змінних query, where і order. Значимо, що змінні where і order відповідають SQL операторам фільтрації і вибірки відповідно, і формуються по-різному, в залежності від параметру flag. Цей приклад показує причину збільшення розміру множини рядків, які можуть бути присвоєні певній змінній базового блоку у вершині графу, при використанні трансферної функції, яка базується на декартовому добутку, навіть для невеликої програми.

```
query = "SELECT id1, id2 FROM tbl ";

if (flag == 1) {
    where = "WHERE id1 IS NOT NULL ";
    order = "ORDER BY id1";
} else if (flag == 2) {
    where = "WHERE id2 IS NOT NULL ";
    order = "ORDER BY id2";
} else {
    where = "";
    order = "";
}

query = query + where + order;
```

Рис.3. Приклад програми з декількома розгалуженнями

Для прикладу, припустимо, що ліва частина операції присвоювання представлена рядковою змінною, в той час, як права частина – це її нове значення, яке складається зі списку впорядкованих сутностей, що об'єднуються в один рядок. Сутність, в даному випадку, може бути змінною або рядковим літералом.

Опишемо кроки знаходження нового стану змінної у вузлі графу.

1. У випадку, якщо сутність – це змінна, то визначається множина можливих значень, які вона може набувати. Дана множина міститься в таблиці стану змінних, яка була отримана при аналізі попередніх вузлів. Якщо сутність представлена рядковим літералом, то

- множина складається тільки з цього літералу.
2. Обчислюється декартів добуток множин, які були отримані на попередньому кроці.
 3. Складові елементів декартового добутку об'єднуються між собою.
 4. Новий стан змінної, який представлений множиною, що була отримана на попередніх кроках, передається у вихідні властивості вузла (тобто на вхід наступним вузлам).
- Псевдокод трансферної функції, кроки якої описані вище, зображено на рис.4.

```
function transfer (node, dfaIn) {
  stmt = getNodeStmt (node)
  if (getStmtOperation (stmt) === 'assign') {
    to = getAssignTarget (stmt)
    newValues = getAssignValues (stmt)
    .map (v => isVariable (v) ? dfaIn [v] : [v])
    .cartesian ()
    .map (values => values.join ())
    dfaIn [to] = new Set (newValues)
  }
  return dfaIn
}
```

Рис.4. Псевдокод трансферної функції

Псевдокод join-функції зображений на рис.5.

```
function join (in1, in2) {
  return in1.mergeWith (in2, (set1, set2) => Set.union (set1, set2))
}
```

Рис.5. Псевдокод join-функції

На рис.6 показано результат DFA, обчислений стандартним методом. Вузли графу представлені еліпсами, нарисованими суцільними лініями, передача управління представлена ребрами, нарисованими суцільними лініями. Ребра, які нарисовані пунктиром, з'єднують вузли графу і блоки з пунктирними рамками. Ці блоки описують стан змінних, який буде отриманий після аналізу інструкції в даному блоці за допомогою трансферної функції. Крім того, граф містить спеціальний вузол JOIN, який показаний пунктирною рамкою і був доданий для позначення місця виконання join-функції.

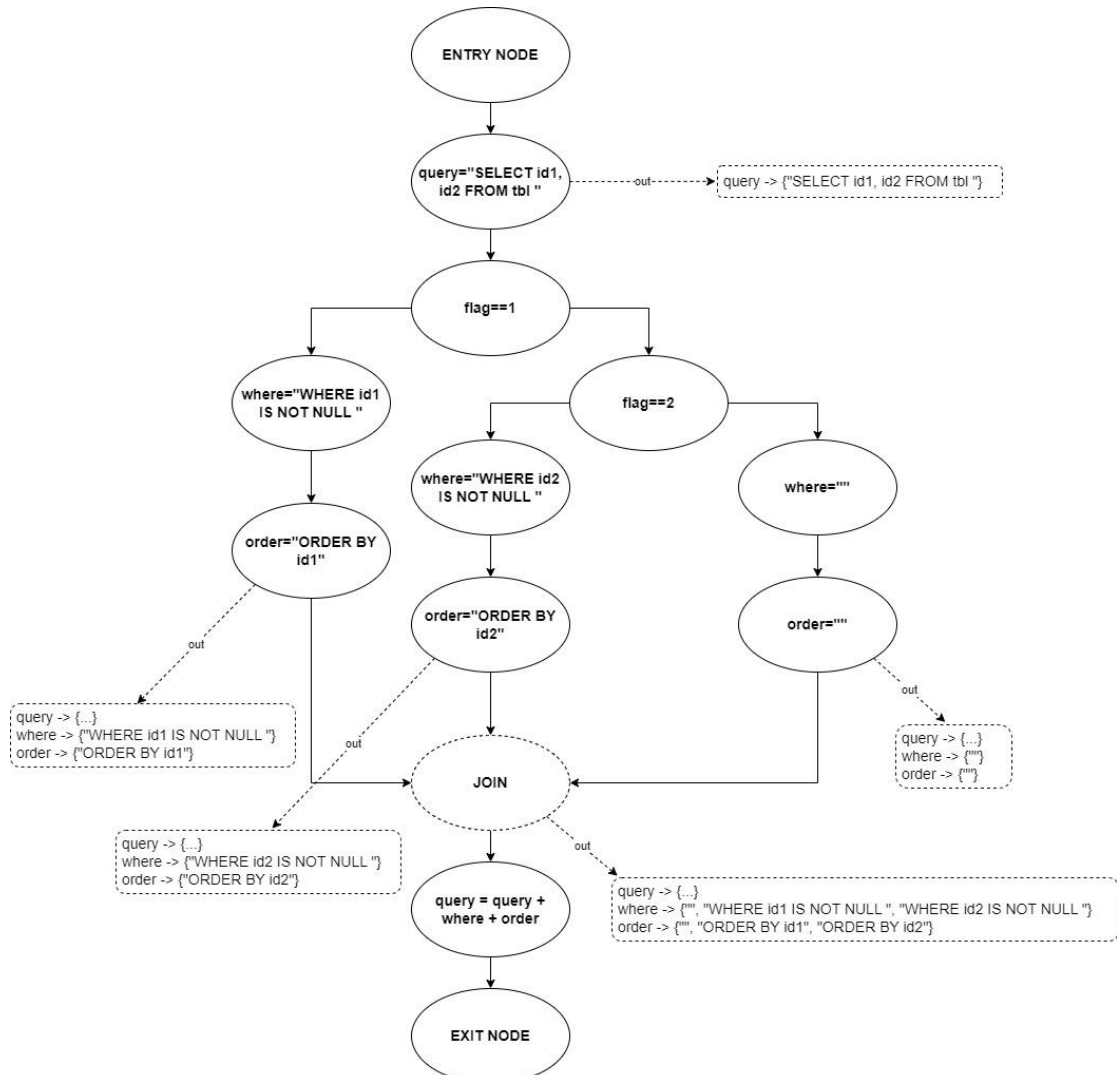


Рис.6. Результат DFA, обчислений стандартним методом

Розглянемо роботу трансферної функції для вузла графу, який передувє закінченню програми.

Даний вузол описує операцію об'єднання трьох значень змінних: query, where і order. Вхідна таблиця стану змінних містить наступні значення змінних (таблиця 1).

Таблиця 1. Вхідна таблиця стану змінних

query	where	order
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	""	""
	"WHERE id1 IS NOT NULL "	"ORDER BY id1"
	"WHERE id2 IS NOT NULL "	"ORDER BY id2"

Після обчислення декартового добутку множин можливих значень змінних, отримуємо наступні комбінації рядків, які зображено в таблиці 2.

Таблиця 2. Комбінації значень змінних

query	where	order
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	""	""
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	""	"ORDER BY id1"
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	""	"ORDER BY id2"
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	"WHERE id1 IS NOT NULL "	""
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	"WHERE id1 IS NOT NULL "	"ORDER BY id1"
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	"WHERE id1 IS NOT NULL "	"ORDER BY id2"
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	"WHERE id2 IS NOT NULL "	""
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	"WHERE id2 IS NOT NULL "	"ORDER BY id1"
"SELECT id1, id2 FROM tbl "	"WHERE id2 IS NOT NULL "	"ORDER BY id2"

Шляхом конкатенації всіх комбінацій рядків, які зображено вище, отримуємо наступну множину рядків для змінної query:

- 1) "SELECT id1, id2 FROM tbl ";
- 2) "SELECT id1, id2 FROM tbl ORDER BY id1";
- 3) "SELECT id1, id2 FROM tbl ORDER BY id2";
- 4) "SELECT id1, id2 FROM tbl WHERE id1 IS NOT NULL ";
- 5) "SELECT id1, id2 FROM tbl WHERE id1 IS NOT NULL ORDER BY id1";
- 6) "SELECT id1, id2 FROM tbl WHERE id1 IS NOT NULL ORDER BY id2";
- 7) "SELECT id1, id2 FROM tbl WHERE id2 IS NOT NULL ";
- 8) "SELECT id1, id2 FROM tbl WHERE id2 IS NOT NULL ORDER BY id1";
- 9) "SELECT id1, id2 FROM tbl WHERE id2 IS NOT NULL ORDER BY id2";

Аналізуючи вхідний код програми, можна визначити, що запити під номерами 2, 3, 4, 6, 7, 8 ніколи не будуть створені під час реального виконання інструкцій цієї програми. Інакше кажучи, наявність надлишкових рядків призводить до двох проблем:

- 1) зменшення точності;
- 2) комбінаторного вибуху [5] кількості проміжних станів програми, що призводить до значного погіршення швидкодії алгоритму.

На основі аналізу вищеописаних проблем було вирішено розробити модифікований метод статичного аналізу коду для рішення задачі згортки рядкових констант на основі MFP алгоритму, шляхом анотування рядків, які містяться в множині можливих значень змінної, списками компонентів. В даному випадку, компонент – це впорядкована послідовність вузлів графу, що відповідають інструкціям створення рядків, з яких складається значення, що анотується цим компонентом, а список компонентів відповідає операції альтернативи, тобто, якщо список складається з декількох компонентів, то це означає, що такий рядок може бути отриманий декількома шляхами.

Для зберігання значень змінних використовується хеш-таблиця, де ключем хешування є змінна, а значенням є ще одна хеш-таблиця. В цій вкладеній хеш-таблиці ключем хешування є рядок, а значенням – список компонентів. Використання вкладеної хеш-таблиці в якості значень замість структури даних типу «множина», що використовується у стандартному алгоритмі, є відмінною рисою запропонованого методу, яка дозволяє досягти поставленої мети дослідження.

Псевдокод алгоритму нової трансферної функції, що використовується у запропонованому модифікованому методі, показано на рис.7.

```
function transfer (node, dfaIn) {
    stmt = getNodeStmt (node)
    if (getStmtOperation (stmt) === 'assign') {
        to = getAssignTarget (stmt)
        newValues = getAssignValues (stmt)
            .map (v => isVariable (v) ?
                dfaIn [v].keyValuePairs () :
                [v [new Components (node)]])
            .cartesian ()
            .map (tryGetNewValue)
            .remove (isNull)
        dfaIn [to] = Map.fromKeyValuePairs (newValues)
    }
    return dfaIn
}
```

Рис.7. Псевдокод модифікованого алгоритму трансферної функції

Опишемо кроки знаходження нового стану змінної.

1. У випадку, якщо сутність - це змінна, то отримується таблиця можливих значень з вхідної таблиці станів змінних, яка трансформується у список пар «рядок – список компонентів». Якщо сутність представлена літералом, стає очевидним, що інструкція створення рядка описана поточним вузлом. Тому, список пар складається з одного елемента, який містить даний літерал і список з одного компонента, що складається з поточного вузла.
2. Обчислюється декартів добуток списків пар, які були отримані на попередньому кроці.
3. Далі розглянемо аналіз, який виконується для кожного елемента добутку, отриманого на попередньому кроці (тобто, для кожної комбінації пар). На початку, обчислюється декартів добуток списків компонентів, що є другими елементами пар. Після цього видаляються ті комбінації, складові (тобто, компоненти) яких є несумісними між собою. Псевдокод алгоритму цього пошуку показаний на рис.8. Компоненти вважаються сумісними, якщо кожен вузол з першого компонента пов'язаний хоча б з одним вузлом другого компонента. Тобто, існує шлях між ними у CFG. Алгоритм перевірки компонентів на сумісність показаний на рис.9. Така перевірка базується на використанні множини попередніх вузлів, яка, як правило, збирається на етапі побудови CFG і міститься у класі вузла в якості окремого поля. У випадку, якщо не знайдено жодної сумісної комбінації компонентів, ця послідовність пар ігнорується. У іншому випадку, кожна сумісна комбінація компонентів перетворюється на єдину компоненту, шляхом поєднання складових даної комбінації.
4. Новий стан змінної, який представлений списком пар «рядок – список компонентів» перетвореним у хеш-таблицю, передається у вихідні властивості вузла (тобто на вхід наступним вузлам).

```
function tryGetNewValue (values) {
    listOfComponents = values.map(v => v[1])
                                .cartesian()
                                .filter(areComponentsCompatible)
                                // об'єднання сумісних компонентів в один
                                .map(list => Components.concat(list))
    return listOfComponents.count > 0 ?
        [values.map(v => v[0]).join(), listOfComponents] :
        null
}
```

Рис.8. Псевдокод алгоритм пошуку сумісних пар

```
function areComponentsCompatible (listOfComponents) {
    for (i = 0; i < listOfComponents.count; i++) {
        for (j = i + 1; j < listOfComponents.count; j++) {
            for (node1 : listOfComponents[i])
                for (node2 : listOfComponents[j])
                    if (!node1.previousNodes.contains(node2) &&
                        !node2.previousNodes.contains(node1))
                        return false
        }
    }
    return true
}
```

Рис.9. Псевдокод алгоритму перевірки компонентів на сумісність

Зазначимо, що у зв'язку із заміною структури даних типу «множина», що використовувалася для зберігання значень змінних у стандартному алгоритмі, хеш-таблицею, змінюється також і join-функція, псевдокод алгоритму якої тепер буде таким, як показано на рис.10. Призначення цієї функції залишається, тобто полягає у поєднанні значень змінної, але в даному випадку, замість об'єднання множин рядків, відбувається злиття хеш-таблиць і конкатенація списків компонентів.

```
function join (in1, in2) {
    return in1.mergeWith(in2,
        (map1, map2) => map1.mergeWith(map2,
            (list1, list2) => list1.concat(list2)))
}
```

Рис.10. Псевдокод join-функції

Для порівняння запропонованого модифікованого методу із стандартним було створено графік залежності (рис.11) кількості рядків, які можуть бути отримані для змінної query перед закінченням програми, від кількості розгалужень для програми, показаної на рис.3. Цей графік показує, що така залежність для запропонованого модифікованого методу є лінійною, в той час як для стандартної реалізації методу ця залежність є квадратичною. Такий результат вдалося досягти шляхом ігнорування тих комбінацій рядків, які складаються зі значень, що були отримані у різних гілках умовного оператора програми, але які ніколи не з'являться при реальному виконанні програми.

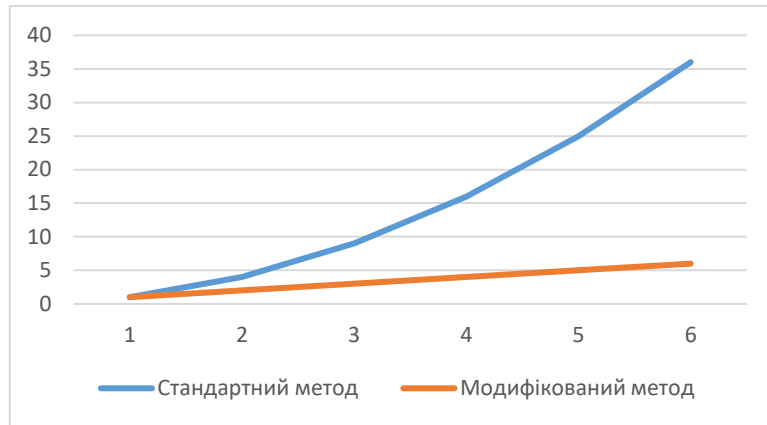


Рис.11. Залежність кількості рядків від кількості розгалужень

Для порівняння запропонованого методу зі стандартним, покажемо відмінності результату аналізу потоку даних (DFA), обчисленого запропонованим методом (рис.12) від стандартного методу (рис.6) для однієї й тієї ж програми (рис.3). Для наочності, вузли графу на рис.12 пронумеровані. На цьому графі списки компонентів зображені квадратними дужками, які містять компоненти, що позначаються або числом (наприклад [1]), де число – це номер вузла, в якому знаходиться рядок, або переліком номерів вузлів, поєднаних амперсандами (наприклад [2&5&6]), якщо рядок даного вузла був створений шляхом конкатенації інших рядків.



Рис.12 – Результат DFA, обчислений запропонованим методом

Висновки.

В даній статті було запропоновано модифікований метод для рішення задачі згортки рядкових констант, який має меншу складність і вищу точність, ніж існуючі методи. Запропонований метод відрізняється від існуючих використанням вкладеної хеш-таблиці в якості значень основної хеш-таблиці замість структури даних типу «множина» і дозволяє зменшити складність алгоритмів, що використовуються, завдяки ігноруванню тих конкатенацій рядків, які не будуть створені під час реального виконання програми. Ця дія дозволяє зменшити кількість проміжних станів програми у DFA, завдяки чому вдається уникнути комбінаторного вибуху [5] складності, характерного для алгоритмів існуючих методів статичного аналізу для цієї задачі. Крім того, даний модифікований метод також дозволяє збільшити точність звуження теоретичної множини рядків, що можуть бути створені згідно CFG заданої програми, до множини рядків, які фактично будуть створені та використані при виконанні цієї програми.

Напрямами подальших досліджень можуть бути:

- 1) розширення області застосування запропонованого методу для рішення задачі згортки не тільки рядкових, а також числових та інших видів констант;
- 2) вдосконалення логіки перевірки значень на сумісність, наприклад, застосуванням аналізу предикатів [6].

Список бібліографічного опису

1. N.Wegman M. Constant propagation with conditional branches [Електронний ресурс] / M. N.Wegman, F. Kenneth Zadeck // ACM Transactions on Programming Languages and Systems. – 1991. – Режим доступу до ресурсу: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/318593.318659>.
2. Costantini G. Static Analysis of String Values [Електронний ресурс] / G. Costantini, P. Ferrara, A. Cortesi // International Conference on Formal Engineering Methods. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-24559-6_34.
3. Comparison of parser generators [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_parser_generators
4. Control-flow graph [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Control-flow_graph
5. Combinatorial explosion [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Combinatorial_explosion
6. Beyer, D. Combining Model Checking and Data-Flow Analysis [Електронний ресурс] / D. Beyer,, D. Schmidt, S. Gulwani. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10575-8_16.

References

1. N.Wegman M. Constant propagation with conditional branches [Electronic resource] / M. N.Wegman, F. Kenneth Zadeck // ACM Transactions on Programming Languages and Systems. – 1991. – Access mode: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/318593.318659>.
2. Costantini G. Static Analysis of String Values [Electronic resource] / G. Costantini, P. Ferrara, A. Cortesi // International Conference on Formal Engineering Methods. – 2011. – Access mode: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-24559-6_34.
3. Comparison of parser generators [Electronic resource] – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_parser_generators
4. Control-flow graph [Electronic resource] – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Control-flow_graph
5. Combinatorial explosion [Electronic resource] – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Combinatorial_explosion
6. Beyer, D. Combining Model Checking and Data-Flow Analysis [Electronic resource] / D. Beyer,, D. Schmidt, S. Gulwani. – 2018. – Access mode: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10575-8_16

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-09>

UDC 004.05(075.8)

Марценюк Василь Петрович, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0001-5622-1038>

Університет Бельсько-Бяли, Польща¹⁾

Сверстюк Андрій Степанович, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0001-8644-0776>

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна²⁾

Андрушак Ігор Євгенович, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-8751-4420>

Речун Оксана Юрїївна, к.е.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0001-7932-4769>

Луцький національний технічний університет³⁾

COMPONENTS AND KEY FEATURES OF THE ANALYSIS SYMMETRIC CRYPTOCIRCUIT

Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rechun O.Yu. Components and key features of the analysis symmetric cryptocircuit. This article discusses the key aspects and technologies of applying many cryptanalysis methods for assessing the stability of symmetric block encryption algorithms. The following aspects of analysis methods such as linear, differential, slide attack, algebraic analyzes are also considered. Approaches to the analysis of the AES standard are compared. Also, when considering the approaches to the analysis of modern symmetric cryptosystems, special attention is paid to special questions regarding the possibility of using distributed multiprocessor calculations in order to reduce the analysis time.

Keywords: secret key, cryptanalysis, symmetric encryption, block cipher, stability, distributed multiprocessor computing.

Марценюк В.П.¹⁾, Сверстюк А.С.²⁾, Андрушак І.Є., Речун О.Ю.³⁾ Компоненти і ключові особливості аналізу симетричних криптосхем. У статті розглядаються ключові аспекти та технології застосування багатьох методів криптоаналізу для оцінки стійкості симетричних блочних алгоритмів шифрування. Також розглядаються такі аспекти методів аналізу, як лінійний, диференціальний, слайд-атака, алгебраїчний аналіз. Порівняно підходи до аналізу стандарту AES. Також при розгляді підходів до аналізу сучасних симетричних криптосистем особливу увагу приділено спеціальним питанням щодо можливості використання розподілених багатопроесорних обчислень з метою скорочення часу аналізу на різних видах вірусів та проводиться аналіз методів їх класифікації, виявлення та знищення.

Ключові слова: секретний ключ, криптоаналіз, симетричне шифрування, блоковий шифр, стабільність, розподілені багатопроесорні обчислення.

Formulation of the problem. Modern encryption algorithms are developed in such a way that the analyst has as few chances as possible to find the secret key that was used to encrypt the data, even if he knows the encryption algorithm itself and has several texts and their corresponding ciphertexts available. When starting the task of analysis, the analyst first of all defines the set of data known to him for analysis. The type of cryptanalysis that the analyst can use depends on this. Let's consider the main types of cryptanalysis of modern symmetric cryptosystems.

Analysis of research. If the encryption algorithm is known and there is at least one plaintext-ciphertext pair, then the most natural way of analysis that immediately comes to mind is to sequentially test all possible variants of the key that could have been used. Testing is carried out until the encryption of the plaintext with the next key leads to the receipt of the existing encrypted message. This method of analysis in different sources of literature has different names, for example, "Method of complete search" [1] or "Method of brute force" [2] or "Method of head-on attack" [3] or "Brut-force attack" [2]. This method has one indisputable advantage: sooner or later the key you are looking for will be found and a minimum set of data will be required for this. The speed of finding the key will depend on the length of the secret key used and on the computing power available to the analyst. And also from a share of luck. After all, it may happen that the key you are looking for is one of the first to be found.

At the same time, we know that one of the important properties of information is its timeliness. Therefore, the application of the method of complete enumeration is practically easy to implement, but it is usually not used. For example, when the DES encryption algorithm was developed, the length of its actual secret key was determined to be 56 bits. That is, in order to go through all possible variants of secret keys, it was necessary to make 256 tests. With the help of computing tools that were available at that time, it could be done in several decades! Of course, since the DES encryption algorithm was developed, there has been a huge leap in computing and computing power has increased thousands of times. Today, with the

© Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rechun O.Yu.

use of powerful computing clusters, the task of finding a secret key for the DES algorithm can be solved in a few minutes. Due to the fact that computing power is inexorably increasing every day, the DES standard was replaced by the new AES (Advanced Encryption Standard), where the length of the secret key increased to 128 bits. One way or another, in cryptography it is accepted to consider the time of analysis using the full enumeration method as a reference time. What does it mean? This means that if an analyst manages to analyze an encryption algorithm faster than it can be done using a full scan, then the given encryption algorithm will be considered vulnerable, and therefore it will not be appropriate to use it for data encryption. The task of finding the secret key of encryption by the method of complete search is well parallelized and can be easily implemented by multiprocessor computing systems.

Presentation of the main material and the justification of the results. The meet-in-the-middle method is applicable to encryption algorithms that use two different keys K . This can be achieved if the secret subkeys appear with some periodicity, or, for example, if the data has been double-encrypted, the data was first encrypted on one key K_1 , and then the obtained encryption result was encrypted again on another secret key K_2 .

Let us know the plaintext-plaintext pair encrypted in this way. In this case, it is necessary to encrypt the plaintext on all possible values of the K_1 key. In parallel with this, it is necessary to decrypt the closed text of all possible values of the K_2 key. The pair of keys (K_1, K_2) for which the result of encryption of the open text and the result of decryption of the closed text match, will be searched. As is clear from the explanations, the analysis taking into account the "meeting in the middle" method can be parallelized and implemented using distributed multiprocessor computing. As an example of how the method works, you can consider options for analyzing the double DES algorithm or, for example, analyzing an algorithm in which the same key is actually used four times.

The method of linear cryptanalysis was first proposed by the Japanese scientist M. Matsui. In his work [4], M. Matsui showed how an attack on the DES encryption algorithm can be carried out, reducing the complexity of the analysis to 2^{47} . A significant drawback of the method was the need to have a large volume of data encrypted with the same secret key, which made the method unsuitable for practical use to crack the cipher. However, if we assume that the analyst got into the hands of an encrypted text containing important information, as well as a certain black box (device or program) that allows you to execute any number of texts encrypted using a known encryption algorithm on a secret key, no while revealing the key itself, the application of the method of linear cryptanalysis becomes quite real. Many encryption algorithms, known at the time of the publication of Matsui's work [4,5], were subsequently tested for resistance to this method and not all of them turned out to be sufficiently stable and, as a result, required refinement (fig. 1).

Symmetric Encryption

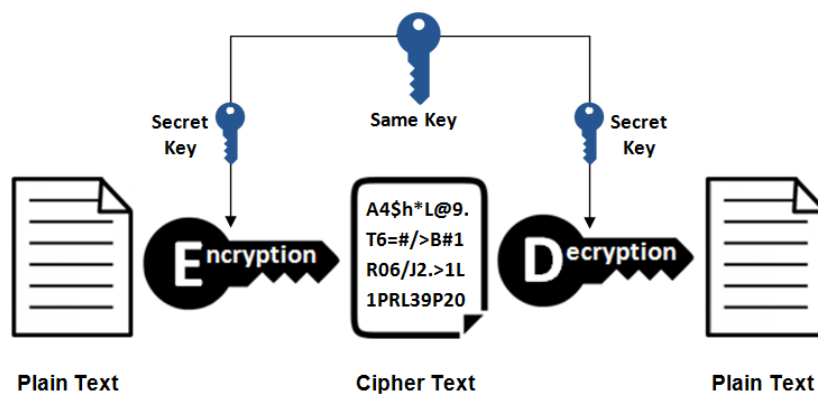


Figure 1. Symmetric encryption

Knowledge of the working mechanisms of the linear cryptanalysis method allows cryptographers to ensure the stability of ciphers even at the stage of designing crypto-algorithms. That is why it is so important to be able to apply known methods of cryptanalysis in practice. So, let's consider the main concepts related to the method of linear cryptanalysis. Any encryption algorithm in its most general form can be represented as some function E depending on an input message X , a secret key K and an encrypted message Y that returns:

$$Y = E(X, K). \quad (1)$$

Knowing exactly the transformation E and the input message X , it is not possible to say unequivocally what the output message Y will be. In this case, the nonlinearity of the function (1) depends on the internal mechanisms of the transformation E and the secret key. K . M. Matsui showed that it is possible to imagine the encryption function (1) in the form of a system of equations that are performed with a certain probability p . At the same time, for a successful analysis, the probability of the equations p should be as far as possible from the value of 0,5 (that is, approach either 0 or unity). Since the equations obtained during the analysis of the crypto-algorithm are probabilistic, they have come to be called linear statistical analogues. The linear statistical analogue of the non-linear encryption function (1) is called the quantity Q , which is equal to the sum modulo two scalar products of the input vector X , the output vector Y and the secret key vector, corresponding to the binary vectors α , β и γ , have at least one coordinate equal to one:

$$Q = (X, \alpha) \oplus (Y, \beta) \oplus (K, \gamma),$$

if the probability that $Q = 0$ is different from 0,5 ($P(Q = 0) = 0.5$). Unlike differential cryptanalysis, in which a large probability value guarantees the success of the attack, in linear cryptanalysis, the success of the analysis can be ensured both by equations with a very high probability and equations with a very small probability. In order to understand which of the possible equations is the best to use for analysis, the concept of deviation is used.

The deviation of a linear statistical analog is called a quantity $\eta = |1-2p|$, where p - is the probability from which the linear analog is performed. The deviation determines the effectiveness of the linear statistical analogue. The greater the deviation, the higher the probability of a successful analysis. In fact, the deviation shows how far the probability of the statistical counterpart is from the value $p = 0,5$.

To successfully apply the linear cryptanalysis method, the following tasks must be solved:

- find the most effective (or close to them) statistical ones linear analogs. When finding analogues, pay attention to the fact that as much of the battle secret key K as possible should be involved in them.
- get statistical data: the required amount of pairs of texts (open - closed text) encrypted using the analyzed algorithm on the same secret key.
- determine the keys (or some bits of the key) by analyzing statistical data using linear analogs.

The first step of the analysis is to find effective statistical counterparts. For encryption algorithms in which all blocks are known in advance, this step can be performed once, based on an analysis of the linear properties of all cryptographic elements of the cipher. As a result of the analysis, a balanced system should be obtained, which are performed with certain probabilities. The left part of the equations should contain the sum of the bits of the input and output messages, the right part of the equations should contain the bits of the secret key. The system of equations must be defined to contain all bits of the original secret key. This stage is not particularly difficult, but requires more knowledge, work logic and attentiveness. It can be automated. However, it must be remembered that for each specific encryption algorithm, the system of linear analogs is built only once and can be used later to find various secret encryption keys that are used to encrypt data using the analyzed cipher. If the first step of the analysis is purely theoretical and completely depends on the structure of the algorithm, then the second step is an exclusively practical part, which consists in the analysis of known pairs of open-closed text using the previously obtained system of statistical analogues. And so the following algorithm is used [6].

Algorithm. Let N be the number of all open texts and T be the number of open texts for which the left part of the linear statistical analogue is equal to 0. Let us consider two cases.

1. If $T > N/2$, then in this case the number of open texts for which the left part of the analogue is zero is more than half, i.e. in most cases a value equal to zero appears in the left part of the analogue, then:

a) if the probability of this linear statistical analogue $p > 1/2$, this means that in most cases the right and left parts of the analog are equal, which means that the left part of the analog containing the bits of the key is equal to 0.

b) if the probability of this linear statistical analogue $p < 1/2$, this means that in most cases the right and left parts of the analog are not equal, which means that the left part of the analog containing the bits of the key is equal to 1.

2. If $T < N/2$, then in this case the number of open texts for which the left part of the analogue is zero is less than half, in most cases a value equal to one appears in the left part of the analogue: a) if the probability of this linear statistical analogue $p > 1/2$, this means that in most cases the right and left parts of

the analog are equal, which means that the left part of the analog containing the bits of the key is equal to 1.

b) if the probability of this linear statistical analogue $p < 1/2$, this means that in most cases the right and left parts of the analog are not equal, which means that the left part of the analog containing the bits of the key is equal to 0.

This algorithm will be successful when analyzing a large number of texts N . Therefore, the second step of the analysis is computationally complex. Therefore, parallel computing can and should be used to speed up the analysis time.

As a result of the operation of the above algorithm, a certain (and possibly redefined) system of equations will be obtained, which reflects the relationship of the bits of the key. The third step of the analysis consists in solving this system, for example, by the Gaussian method, which will allow obtaining the values of the bits of the secret encryption key. You can read more about the linear cryptanalysis of various block encryption algorithms in [1]. The differential cryptanalysis (DC) method was first proposed by E. Biham and A. Shamir to analyze the DES encryption algorithm. Although B. Schneier's book [3] mentions that the developers of the DES algorithm knew about the possibility of such an analysis even during the development of the algorithm, the general public learned about differential cryptanalysis precisely from the works [5, 6]. The DC method turned out to be the first method that allows you to crack DES when the complexity of tasks is estimated to be less than 2^{55} . According to [5], using this method, you can perform DES cryptanalysis with an effort of the order of 2^{37} , but with the presence of 2^{47} variants of the selected plaintext. Although 2^{47} is obviously much less than 2^{55} , the need to have 2^{47} variants of the selected plaintext turns this version of the cryptanalysis scheme into a purely theoretical exercise [7]. This is due to the fact that the DC method was known at the time of the development of DES, but classified for obvious reasons, which is confirmed by the public statements of the developers themselves [3]. It is shown in [6] that if you change the order of replacement blocks in the DES encryption algorithm or use other sets of substitution and permutation tables, the algorithm immediately becomes much weaker and can be broken in less than half the time required to analyze the DES algorithm using complete search. This shows the importance of knowing the possible ways of analyzing the algorithm being developed. With the help of the DK method, the complexity of the analysis was reduced to 2^{37} . However, to conduct the analysis, it was necessary to have 2^{37} specially selected texts encrypted with the same secret key. Despite the limitations imposed on the use of the new proposed methods of analysis - it was a breakthrough! Further development of this method showed the possibility of its application to a whole class of different types of ciphers, made it possible to identify the weak points of many encryption algorithms in use and being developed. Today, this method, as well as some of its derivatives, such as the linear differential method, the impossible differential method, and the boomerang method, are widely used to evaluate the stability of newly generated ciphers. That is why an information protection specialist needs to have an idea of the mechanisms of cipher analysis using modern cryptanalysis methods.

The very name differential cryptanalysis comes from the English word difference. That is why in domestic literature this type of analysis is sometimes called the difference method. Based on the name, it can be understood that when considering the possibility of analyzing some block encryption algorithm, scientists thought of using not individual texts, but pairs of texts. It is clear that the two texts will have differences in some positions. In order to determine this difference, it is enough to combine two modules of a pair of texts. The result of such addition at the output is the value 0 in those positions in which the source texts were equal to each other, and, accordingly, the value 1 in those positions in which the source texts differed. For example, consider two 4-bit messages: $X = 0011$ and $X' = 1010$. The difference $\Delta X = 1001$ was obtained as a result of composing the texts X and X' , the obtained value ΔX is called the differential or difference. In differential cryptanalysis, the value of the difference (differential) is usually denoted by the symbol Δ . The difference obtained as a result of adding texts X and X' shows that in the second and third positions the original messages X and X' were equal, and in the first and fourth they differed from each other [8].

In general, the differential analysis of block encryption algorithms is reduced to the following main points (fig. 2):

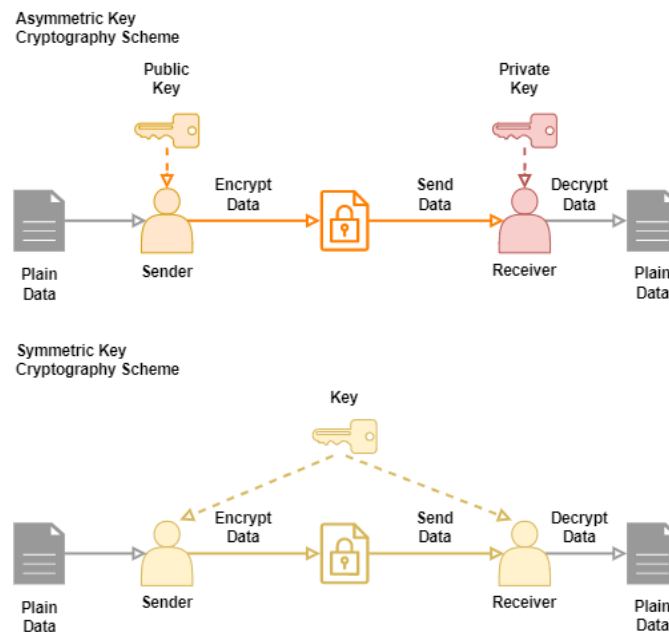


Figure 2. Processes to encrypt and decrypt data in asymmetric and symmetric cryptography algorithms

- finding characteristics for the encryption algorithm with maximum characteristics. The search for characteristics is conducted taking into account the differential properties of nonlinear cryptographic primitives that are part of the encryption algorithm.

- searching for correct pairs of texts using the found characteristics.

- analysis of correct pairs of texts and accumulation of statistics on possible values of the encryption secret key [9].

The first point, which consists in finding the best characteristics for most algorithms, is performed once and is a theoretical task. The values of the characteristics completely depend on the structure of the encryption algorithm and cryptographic primitives. Otherwise, it applies only to those algorithms that have non-fixed elements. Such algorithms include, for example, an encryption algorithm whose S-blocks of replacement can be chosen arbitrarily. For such algorithms, the search for characteristics must be started from the beginning every time, based on the differential properties of the selected S-blocks. To automate the analysis process, it is possible to develop an algorithm for finding the best characteristics, based on tree search algorithms. For such algorithms, parallel models can be used to speed up the search for characteristics.

The second step of the analysis is a computationally robust task for any encryption algorithm, whether it has fixed or non-fixed elements. Analysis consists of testing a large number of text pairs to determine whether they are a valid text pair, that is, a text pair that can later be used for analysis to find a secret encryption key. This step can and should be easily imagined in the form of parallel calculations to reduce analysis time [10].

The last step is easy to implement and requires much less computation than the second step. It can be implemented both separately in the form of a sequential algorithm and be included in parallel algorithms for searching for correct pairs of texts. In the latter case, upon finding the correct pair of texts, you can immediately analyze it to gather statistics on the possible value of the secret key. The essence of algebra analysis methods consists in obtaining equations describing nonlinear transformations of replacing S-blocks, followed by solving the found systems of equations and obtaining an encryption key. This cryptanalysis method refers to attacks with known plaintext, so for successful analysis it is enough to have one plaintext/ciphertext pair. Algebraic methods of cryptanalysis consist of the following stages: drawing up a system of equations describing transformations in nonlinear cryptographic primitives of the analyzed cipher (most often, for symmetric encryption algorithms, such nonlinear components are S-blocks of substitution); solution of the obtained system of equations.

Conclusion and prospects for further research. Both symmetric and asymmetric encryption play an important role in keeping confidential information and communications secure in today's digital world.

Both ciphers can be useful, because each of them has its advantages and disadvantages, so they are used in different cases. As cryptography as a science continues to evolve to protect against new and more serious threats, symmetric and asymmetric cryptographic systems will always be relevant to computer security. These two types of encryption have both advantages and disadvantages relative to each other. Symmetric encryption algorithms are much faster and require less computing power, but their main disadvantage is key distribution. Since the same key is used to encrypt and decrypt information, this key must be shared with anyone who needs access, which creates some risks (as described earlier).

In turn, asymmetric encryption solves the problem of key distribution by using public keys for encryption and private keys for decryption. The trade-off is that asymmetric systems are very slow compared to symmetric systems and require significantly more computing power due to the length of the key.

References

1. Grusho A.A., Timonina E.E., Primenko E.A. Analysis and synthesis of cryptoalgorithms. Lecture course. - Yoshkar-Ola: Publishing house of the MF MOSU, 2000.
2. Stallings V. Cryptography and network protection: principles and practice. - 2nd ed.: Per. from English. – M.: Ed. house "Williams", 2001.
3. Babenko L.K. Ischukova E.A. Modern block cipher algorithms and methods for their analysis. – M.: Helios ARV, 2006.
4. Schneier B. Applied cryptography: Protocols, algorithms, source texts in the C language. - M.: TRIUMPH, 2002. - 648 p.
5. Matsui M., Linear Cryptanalysis Method for DES Cipher, Advances in Cryptology. - EUROCRYPT'93, Springer-Verlag, 1998. - 386 p.
6. Biham E., Shamir A., Differential Cryptanalysis of the Full 16-round DES // Crypto'92, Springer-Verlag, 2008. - P. 487.
7. Biham E., Shamir A. Differential Cryptanalysis of DES-like Cryptosystems. Extended Abstract // Crypto'90, Springer-Verlag, 2008. - P. 2.
8. Panasenko S. Encryption algorithms. Special guide. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2009. - 576 p.
9. Courtois N., Gregory V. Bard. Algebraic Cryptanalysis of the Data Encryption Standard // 11th IMA Conference, 2007. - P. 152-169.
10. Martseniuk V. Features of multifunctional Backdoor technology. Scientific journal "Computer-Integration Technologies: Education, Science, Engineering" / V. Martseniuk, A. Sverstiuk, I. Andrushchak, O. Sivakovska, M. Poteichuk // Issue No. 40, Lutsk. - 2020 - p. 123-127.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-10>

УДК 004.056:004.93

Медвінський Сергій Віталійович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-3017-7694>

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

АВТОРИЗАЦІЯ КОРИСТУВАЧА У КОМП'ЮТЕРНІЙ СИСТЕМІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗЧИТУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ КАПІЛЯРІВ СУДИННОЇ ОБОЛОНКИ ОКА

Медвінський С.В. Авторизація користувача у комп'ютерній системі за допомогою зчитування зображення капілярів судинної оболонки ока. У статті запропоновано метод авторизації користувача у комп'ютерній системі (КС) за допомогою відслідковування малюнку капілярів судинної оболонки ока, які знаходяться під датчиком у різні відрізки часу. Розроблено модуль сканування хоріокапілярів судинної оболонки ока на основі 5-мегапіксельної камери з високою роздільною здатністю OmniVision OV5647 для одноплатного мінікомп'ютера Raspberry Pi, макролінзи та NIR-діода. Запропоновані метод та макет пристрою підвищують захист КС від несанкціонованого доступу або помилки з ідентифікацією клієнта КС у випадку використання спотворених статичних біометричних параметрів (виготовлених зліпку або макету з ключовими точками відбитку пальця, обличчя, райдужки тощо).

Ключові слова: комп'ютерна система, авторизація, біометричні показники, малюнок капілярів судинної оболонки ока, сканування, HQ-камера, одноплатний мінікомп'ютер

Medvinskyi S. The user authorization in computer system by tracking the image of choriocapillaris. The article proposes an algorithm for the user authorization in computer system by analyzing the pattern of choriocapillaris under the sensor at different time intervals. A module for scanning the choriocapillaris of the choroid was developed and based on a 5-megapixel OmniVision OV5647 high quality camera for a Raspberry Pi single-board minicomputer, a macro lens and an NIR diode. The proposed method and the device increase the computer system protection against unauthorized access or errors with the identification of the client in the case of using distorted static biometric parameters (made of a mold or a mockup with key points of a fingerprint, face, iris, etc.).

Keywords: computer system, authorization, biometrics, choriocapillaris image, scanning, HQ camera, single-board computer

Постановка наукової проблеми.

Розвиток технологій сприяв поширенню та популяризації використання біометричних показників у якості інструмента взаємодії з комп'ютерними системами (КС). Найчастіше біометричні показники (відбиток пальця, контур обличчя, райдужна оболонка ока тощо) використовуються для авторизації користувачів за допомогою сканерів, вбудованих або в телефон (першими з яких були Toshiba PORTEGE G500 та Motorola Atrix), або в технологічні системи для розблокування. На даний момент ці технології стали глибше інтегрованими в комп'ютерні операційні системи і використовуються у більшій кількості процесів, наприклад, для підтвердження банківських транзакцій або при оплаті торговельних операцій, отримання доступу до готельних послуг й т. і. [1; 2]. В такому разі біометричні показники використовуються як заміна або доповнення до методу авторизації за допомогою логіну та паролю. Такий біометричний показник, як відстеження руху очей все ширше використовується у медичних КС під час планування та виконання лікувальних процедур [3; 4]. Сканери очей (eyes scanner) та обличчя (face scanner) впроваджуються до інноваційних технологій, де скануючий апарат проводить всебічне зчитування важливих точок та у комбінації з планшетом дозволяє отриману інформацію обробляти і пересилати до спеціально розробленої бази даних CAD.

Але вищенаведені методи нажалі не виключають можливості несанкціонованого доступу до системи або помилки з ідентифікацією клієнта КС у випадку виготовлення зліпку або макету з ключовими точками, через те, що зазначені показники є статичними [5]. До того ж, в умовах загрози пандемій типу COVID'19 все більш актуальними стають безконтактні технології, які не потребують від пацієнта ні до чого торкатися і нічого не торкається до нього.

Технологія, що використовує авторизацію за допомогою очей працює тільки у випадку, якщо очі користувача відкриті, що сигналізує про те, що він притомний. Але зазначена технологія передбачає низку додаткових дій в процесі використання відповідного пристрою, що потребує певних досліджень. До того ж, потребують розроблення технологій, які можуть захоплювати зображення оболонок ока, що рухається, на відстані (до одного метра).

Аналіз досліджень.

На даний момент максимально поширеними методами відстеження позиції ока є:

- відстеження з прикріпленням до ока;
- оптичне відстеження;
- вимірювання електричного потенціалу.

Відстеження з прикріпленням до ока потребує використання спеціальних контактних лінз з вбудованих сенсором магнітного поля. Цей метод є найбільш точним в плані позиціонування і дозволяє отримувати дані щодо всіх можливих координат ока, але у деяких людей є протипоказання щодо використання контактних лінз, і цей метод є одним з найдорожчих у реалізації.

Вимірювання електричного потенціалу є доволі надійним методом, який також працює, коли очі закриті, але він не дає ніякої інформації щодо користувача і вимушує розташовувати сенсори безпосередньо на обличчі людини [6]. Це робить зазначений метод непридатним для авторизації та повсякденного використання.

Оптичне відстеження полягає у тому, що світло (зазвичай у інфрачервоному спектрі) відбивається від поверхні ока і повертається до сенсора [7]. Зазвичай для відстеження використовують перше зображення Пуркіньє, що являє собою відображення з зовнішньої частини рогівки. Цей метод відстеження є неінвазивним та дешевшим у реалізації, але й найменш точним. А також довгостроковий вплив інфрачервоного світла може призвести до погіршення зору. Тому цей метод, як найбільш зручний, потребує додаткового опрацювання.

При використанні малюнку капілярів судинної оболонки ока необхідно враховувати отримані результати вивчення динаміки судин ока, такі як спазм артерій, розширення венул і закапілярних венул, утворення агрегатів з формених елементів крові, сповільнення кровоплину, збільшення проникності стінок мікросудин тощо, які можуть привести до суттєвої різниці між зразком зазначеного малюнка у базі даних КС та малюнком судин людини у реальному часі [8–10].

У 2009 році було вперше описано метод відстеження напрямку погляду в пристрої нічного бачення, що кріпиться на шоломі [11]. Для розробки компактної, легкої та надійної системи з покращеною якістю дисплею та точністю відслідковування напрямку погляду було запропоновано максимально зблизити оптичні маршрути дисплея та сенсора. Для підсвічування ока було використано декілька діодів, близьких до ближнього інфрачервоного спектру 780–3000 нм за стандартом ISO 20473 (англ. Near-Infrared Light-Emitting Diode, NIR LED), що були розташовані навколо оптики дисплея. В такому разі світло, що відбилось від ока, прямувало через оптику до гарячого дзеркала (англ. Hot Mirror), яким відбивалось на другорядну оптичну підсистему, що вела світло на фотоматрицю. Цей підхід дозволив одночасно зчитувати напрямок погляду і не перешкоджати спостереганню у процесі. Але зазначена технологія не дає достатньо точного зображення для подальшого використання у якості інструмента авторизації людини.

Виділення раніше невирішених питань.

Незважаючи на наявність великої кількості аналогічних розробок, все одно залишаються деякі невирішені проблеми, які не дають поєднати в одному пристрої зручність використання, доступність і надійний захист проти несанкціонованого доступу [12].

Підхід, запропонований нижче, відрізняється від описаних іншими дослідниками тим, що для відстеження позиції ока пропонує використовувати зображення капілярів замість зображень Пуркіньє [13]. У такому разі не буде блокуватися огляд під час використання і також з'явиться можливість для використання даного зображення у якості зразка для авторизації.

Формулювання мети і завдань дослідження.

Метою дослідження є висвітлення методів зчитування малюнку капілярів судинної оболонки ока з використанням різних типів датчиків та демонстрація того, що отримані з них дані можна використовувати для авторизації користувачів у комп'ютерних системах.

Методи.

Спочатку потрібно отримати зображення капілярної сітки з кутової частини ока користувача, так як вона є унікальною для кожної людини. Для порівняння отриманого зразку зі збереженим був розроблений алгоритм з використанням сіамської нейронної мережі та використанням методу контрастної втрати. Після чого для відстеження положення ока потрібно отримувати потік зображень і за допомогою субпіксельної крос-кореляції змінювати координати курсору або активної області.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Для того, щоб отримати зразок (зображення) малюнку капілярів з ока користувача, достатньо модуля 5-мегапіксельної камери OmniVision OV5647 для одноплатного мінікомп'ютера Raspberry Pi, макролінзи та NIR-діода (рис. 1). Після отримання зображення в обробнику буде створений новий запис.

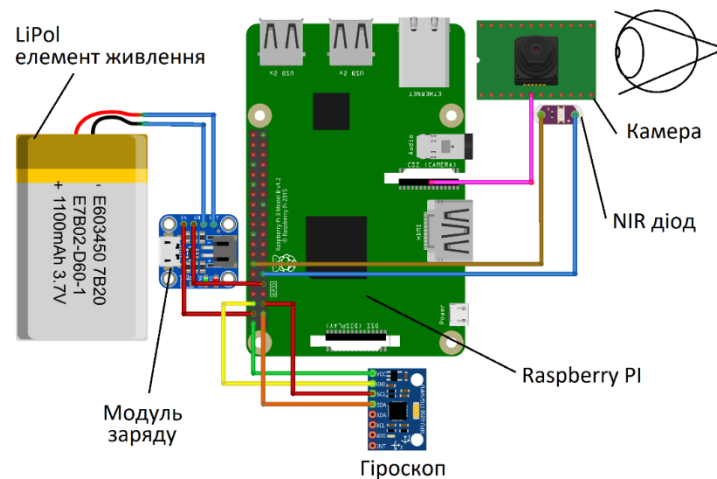


Рис. 1. Схема пристрою

На схемі зображені наступні модулі:

- плата мінікомп'ютера Raspberry Pi 3 (або аналог);
- Focusable NIR-діод 880 нм, 5 мВт, 3–5 В;
- камера високої роздільної здатності Raspberry Pi HQ Camera;
- гіроскоп-акселерометр GY-521 (MPU-6050);
- контролер заряду TP4056 (або аналог);
- літій-полімерний елемент живлення LiPo Battery.

NIR-діод призначений для підсвічування поверхні ока або безпосередньо, або при необхідності економії займаємого поля зору за допомогою системи дзеркал або світлопровідної трубки. Камера захоплює зображення підсвіченої ділянки ока і передає на обробник. У якості обробника на схемі рис. 1 виступає одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, на якому базується створений модуль сканування хоріокапілярів судинної оболонки ока (Модуль СХСО). Обробник за допомогою модуля-гіроскопа буде коригувати координати і передавати їх за допомогою вбудованого у Raspberry Pi WiFi-модуля або на персональний комп'ютер, або у базу даних чи хмарне сховище для подальшого використання (рис. 2).

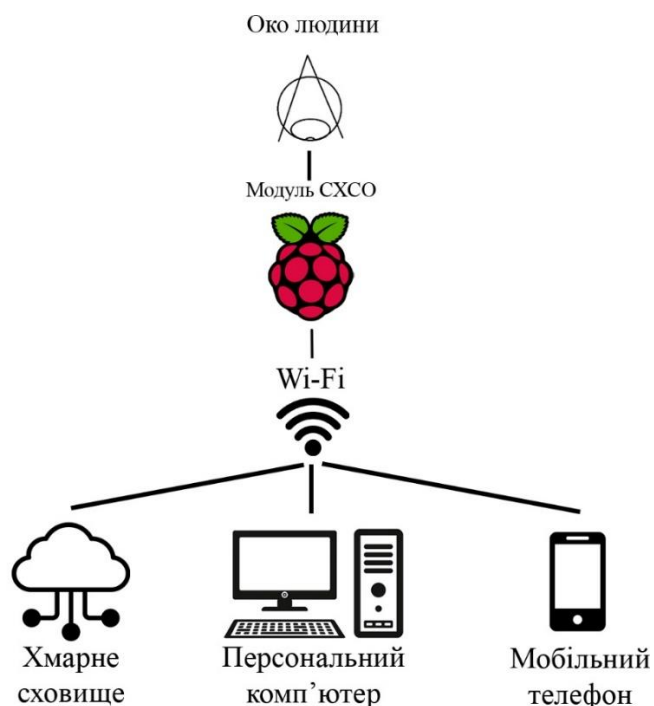


Рис. 2. Структурна схема КС з авторизацією за малюнком хоріокапілярів

За необхідності можна також у якості обробника використати персональний комп'ютер або інший смарт-пристрій (на кшталт телефону або смарт-годинника), під'єднаний за допомогою WiFi-мережі. Це надасть змогу ще більше зменшити вагу носимої частини модуля СХСО (рис. 2).

У якості системи керування базою даних (СКБД) для збереження результатів можна використати як реляційні СКБД (такі як MySQL, PostgreSQL або MariaDB), так і документоорієнтовані (як MongoDB).

У випадку використання Модуля СХСО у якості інструменту авторизації, перший запис під час кожного використання за допомогою сіамської мережі буде порівнюватись зі зразком з локальної бази даних і після порівняння надавати або забороняти доступ до персонального комп'ютеру (рис. 3).

Це штучна нейронна мережа, яка використовує однакову вагу при роботі з двома різними вхідними векторами для обчислення порівнянних вхідних векторів. Цей самий алгоритм використовується для порівняння відбитків пальців і може бути охарактеризований як функція розрахування відстані для хешування з урахуванням розташування. Для того, щоб виключити з масиву результатів дослідження помилкові виміри, був обраний метод контрастної втрати.

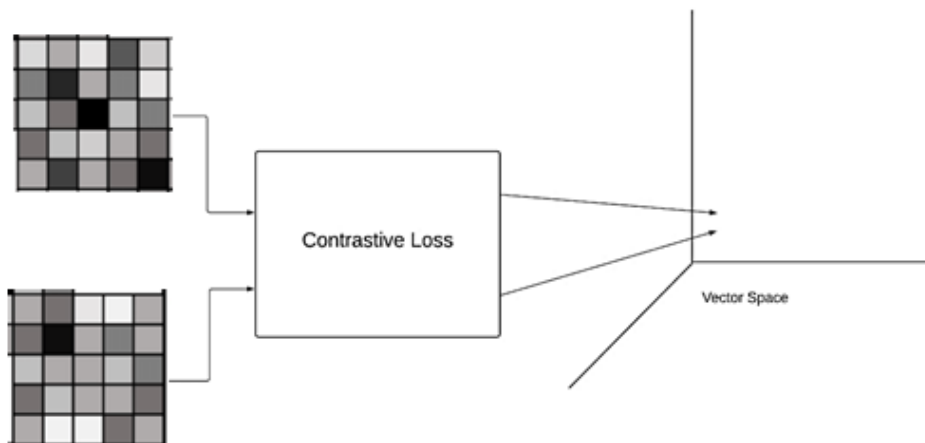


Рис. 3. Алгоритм сіамської нейронної мережі

Метод контрастної втрати, як і метод потрійної втрати, є функцією на основі дистанції, що зазвичай використовують для навчання векторних представлень і часто використовують у поєднанні з сіамськими нейронними мережами. Метод контрастної втрати можна описати виразом (1):

$$L = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N yd^2 + (1 - y) \max(\text{margin} - d, 0)^2, \quad (1)$$

де d являє собою евклідову відстань між двома вибірками і дорівнює $|an - bn|^*$;

y відповідає за збігання, якщо $y = 0$ – це означає, що два зразки не відповідають один одному;

margin – встановлений поріг.

Функція втрат (1) була отримана з функції Яна ЛеКуна для зменшення розмірності шляхом дослідження інваріантного відображення [14].

При деякому часі використання отримані зображення буде можливо об'єднати в одне ціле за допомогою отриманих при крос-кореляції координат (рис. 4). Це можна розглядати як додатковий інструмент для відстеження і як допоміжний зразок при скануванні, котрий вилучає необхідність користувача дивитись в якусь конкретну точку під час сканування.

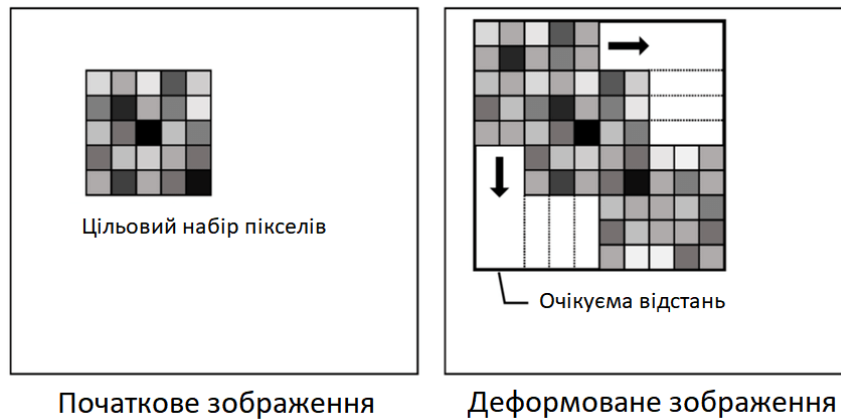


Рис. 4. Піксельна крос-кореляція поєднана з методом велосиметрії зображення

Для того, щоб провести крос-кореляцію двох зображень, потрібно виконати наступні кроки [15]:

- завантажити інформацію про пікселі до обробника;
- нормалізувати пікселі;
- виконати децимацію зображення.

Після отримання спрощеного набору пікселів після проведення децимації можна прорахувати крос-кореляцію. Для цього одновимірні масиви пікселів двох зображень необхідно перетворити на матриці за принципом колонок і рядків, які далі порівнюються за формулою (2):

$$\sum_n x[n+k] \cdot y^*[n], \quad (2)$$

де x – пікселі першого зображення;

y – пікселі зображення;

n – кількість пікселів у зображеннях;

y^* – спряжені числа y .

Даним способом можливо отримати графік кореляції двох зображень, за допомогою якого далі відстежити координати, на які дивиться користувач, і відповідно до яких рухати курсор по робочій області. Для прискорення роботи алгоритму є можливість підвищення ступеня децимації, оскільки в процесі роботи не потрібна така сама якість, як і при авторизації.

Таким чином, запропонований алгоритм може бути ефективно використаний для вирішення вищенаведених проблем.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Метод сканування капілярів судинної оболонки ока та відстеження погляду розширює можливості інтеракції з комп'ютерними системами для людей з обмеженими можливостями, у т. ч. з відсутністю рухів та обмеженнями мовлення. Такий біометричний показник як малюнок капілярів на судинній оболонці ока (хоріоїдеї) є унікальним та динамічним для кожної людини, що дає змогу використовувати цей метод для підвищення рівню захисту комп'ютерних систем від авторизації з використанням спотворених статичних біометричних даних (зліпків відбитків, фотографій обличчя, записів голосу й т. п.). Зазначений підхід має значний потенціал для поширення цифрової трансформації у будь-яких галузях, де використовуються персональні дані для авторизації в комп'ютерних системах. Розроблення бездротових модулів сканування хоріокапілярів судинної оболонки ока (СХСО) дозволяє виконувати авторизацію в КІС також осіб з обмеженими можливостями.

Список бібліографічного опису

1. Ключко А. М., Волченко Н. В. Біометричні технології для безпеки проведення банківських операцій в Україні та зарубіжних державах. *Часопис Київського університету права*. 2021. № 1. С. 299–304. DOI: 10.36695/2219-5521.1.2021.59.
2. Системи розпізнавання райдужної оболонки ока для контролю доступу. Опубл. 21.12.2013. *Worldvision: Інтернет-магазин систем безпеки*. URL: <https://worldvision.com.ua/articles/sistemi-raspoznvaniya-raduzhnoy-obolochki-glaza> (дата звернення: 28.12.2022).
3. Роботизована система Navilas® Laser System для лікування сітківки з функцією інтелектуального читування руху очей. *Новий зір*: вебсайт Всеукраїнської мережі офтальмологічних центрів. URL: https://www.zir.com.ua/uk/navilas_laser_system/ (дата звернення: 28.12.2022).
4. Face Scanner FREEDOM F – DOF. URL: <https://doflab.com/freedomf/> (Last accessed: 28.12.2022).

5. Mehrubeoglu M., Nguyen V. Real-time eye tracking for password authentication. 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Jan. 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICCE.2018.8326302.
6. Sims D. Biometric recognition: our hands, eyes, and faces give us away. *IEEE Computer Graphics and Applications*. Sept. 1994. Vol. 14, No. 5. P. 14–15. DOI: 10.1109/38.310718.
7. Plotkin A., Paperno E., Vasserman G., Segev R. Magnetic tracking of eye motion in small, fast-moving animals. *IEEE Transactions on Magnetics*. Nov. 2008. Vol. 44, No. 11. P. 4492–4495. DOI: 10.1109/TMAG.2008.2002187.
8. Чиж І. Г., Тимчик Г. С., Шиша Т. О., Афончина Н. Б. Аберометрія оптичної системи ока людини : моногр. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 292 с.
9. Герасимюк І. Є., Шкільнюк Н. М. Структурно-просторова перебудова артерій ока в динаміці підвищення внутрішньоочного тиску. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2010. Т. 9, № 4 (34). С. 45–49.
10. Степанов В. Г. Математическое моделирование ангиографических исследований структурно-функциональной организации кровеносных сосудов и кровоснабжения ими зон микроциркуляции. *Український морфологічний альманах*. 2004. Т. 2, № 1. С. 72–74.
11. Li X., Wee W. G. An efficient method for eye tracking and eye-gazed FOV estimation. *2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Nov. 2009. P. 2597–2600. DOI: 10.1109/ICIP.2009.5413997.
12. Griswold-Steiner I., Fyke Z., Ahmed M., Serwadda A. Morph-a-Dope: Using pupil manipulation to spoof eye movement biometrics. *2018 9th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, Nov. 2018. P. 543–552. DOI: 10.1109/UEMCON.2018.8796625.
13. Wang Y., Cai W., Gu T., Shao W. Your eyes reveal your secrets: An eye movement based password inference on smartphone. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. Nov. 2020. Vol. 19, No. 11. P. 2714–2730. DOI: 10.1109/TMC.2019.2934690.
14. Zbontar J., Jing L., Misra I., LeCun Y., Deny S. Barlow twins: Self-supervised learning via redundancy reduction. *Proc. of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML)*, Jul. 2021. PMLR 139, P. 12310–12320.
15. Kwak T.-Yo., Park K.-H., Kim J., Chung C.-K., Baek S.-H. Shear band characterization of clayey soils with particle image velocimetry. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 3. P. 1139. DOI: 10.3390/app10031139.

References

1. Klochko A. M., Volchenko N. V. Biometric technologies for the security of banking operations in Ukraine and foreign countries. *Journal of the Kyiv University of Law*. 2021. No. 1. P. 299–304. DOI: 10.36695/2219-5521.1.2021.59.
2. Iris recognition systems for access control. Publ. 21.12.2013. *Worldvision: Online store of security systems*. URL: <https://worldvision.com.ua/articles/sistemi-raspoznavaniya-raduzhnoy-obolochki-glaza> (Last accessed: 28.12.2022).
3. Navilas® Laser System robotic system for treating the retina with the function of intelligent reading of eye movements. *New sight* : web site of the All-Ukrainian network of ophthalmological centers. URL: https://www.zir.com.ua/uk/navilas_laser_system/ (Last accessed: 28.12.2022).
4. Face Scanner FREEDOM F – DOF. URL: <https://doflab.com/freedomf/> (Last accessed: 28.12.2022).
5. Mehrubeoglu M., Nguyen V. Real-time eye tracking for password authentication. *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Jan. 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICCE.2018.8326302.
6. Sims D. Biometric recognition: our hands, eyes, and faces give us away. *IEEE Computer Graphics and Applications*. Sept. 1994. Vol. 14, No. 5. P. 14–15. DOI: 10.1109/38.310718.
7. Plotkin A., Paperno E., Vasserman G., Segev R. Magnetic tracking of eye motion in small, fast-moving animals. *IEEE Transactions on Magnetics*. Nov. 2008. Vol. 44, No. 11. P. 4492–4495. DOI: 10.1109/TMAG.2008.2002187.
8. Chizh I. H., Tymchuk H. S., Shysha T. O., Afonchyna N. B. Aberrometry of the optical system of the human eye : monogr. Kyiv : NTUU "KPI", 2013. 292 p.
9. Herasyimiuk I. E., Shkilniuk N. M. Structural and spatial rearrangement of the eye arteries in the dynamics of increased intraocular pressure. *Clinical anatomy and operative surgery*. 2010. Vol. 9, No. 4 (34). P. 45–49.
10. Stepanov V. H. Mathematical modeling of angiographic studies of the structural and functional organization of blood vessels and their blood supply to microcirculation zones. *Ukrainian morphological almanac*. 2004. Vol. 2, No. 1. P. 72–74.
11. Li X., Wee W. G. An efficient method for eye tracking and eye-gazed FOV estimation. *2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Nov. 2009. P. 2597–2600. DOI: 10.1109/ICIP.2009.5413997.
12. Griswold-Steiner I., Fyke Z., Ahmed M., Serwadda A. Morph-a-Dope: Using pupil manipulation to spoof eye movement biometrics. *2018 9th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, Nov. 2018. P. 543–552. DOI: 10.1109/UEMCON.2018.8796625.
13. Wang Y., Cai W., Gu T., Shao W. Your eyes reveal your secrets: An eye movement based password inference on smartphone. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. Nov. 2020. Vol. 19, No. 11. P. 2714–2730. DOI: 10.1109/TMC.2019.2934690.
14. Zbontar J., Jing L., Misra I., LeCun Y., Deny S. Barlow twins: Self-supervised learning via redundancy reduction. *Proc. of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML)*, Jul. 2021. PMLR 139, P. 12310–12320.
15. Kwak T.-Yo., Park K.-H., Kim J., Chung C.-K., Baek S.-H. Shear band characterization of clayey soils with particle image velocimetry. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 3. P. 1139. DOI: 10.3390/app10031139.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-11>

УДК 37-042.4:004.8

Мельничук Юлія Євгенівна, к.пед.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9313-8716>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОСВІТНЬОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мельничук Ю.Є. Принципи побудови інформаційних систем освітнього призначення. У статті досліджується проблема побудови ефективних інформаційних освітніх систем на основі принципів, що сприяють їх оптимальному функціонуванню та розвитку. Автори проаналізували наукові публікації та дослідження у цій галузі та запропонували сім принципів побудови інформаційних освітніх систем: принцип системності, ієрархії та децентралізації, універсальності та модульності, відкритості та масштабованості, захисту даних та інформації, користувацької орієнтованості, неперервної підтримки та оновлення. Кожен з принципів розглядається у статті детально, з поясненням їхньої суті та впливу на функціонування інформаційної освітньої системи. Дослідження показало, що врахування принципів при побудові інформаційних освітніх систем є дуже важливим для забезпечення їхньої ефективності та забезпечення максимальної користувацької зручності.

Ключові слова: інформаційні системи, освітні системи, принципи, системність, ієрархія, децентралізація, універсальність, модульність, відкритість, масштабованість, захист даних, користувацька орієнтованість, неперервна підтримка, оновлення

Melnychuk Yu.Ye. The principles of building educational information systems. The article explores the problem of building effective educational information systems based on principles that promote their optimal functioning and development. The authors analyzed scientific publications and research in this field and proposed seven principles for building educational information systems: the principle of systematization, hierarchy and decentralization, universality and modularity, openness and scalability, data and information protection, user orientation, continuous support and updating. Each of the principles is considered in detail in the article, explaining their essence and impact on the functioning of the educational information system. The research showed that considering these principles when building educational information systems is crucial for ensuring their effectiveness and providing maximum user convenience.

Key words: information systems, educational systems, principles, systematicity, hierarchy, decentralization, universality, modularity, openness, scalability, data protection, user orientation, continuous support, updating

Постановка проблеми

За останні десятиліття інформаційні технології зазнали значного розвитку, що спричинило появу нових можливостей у сфері освіти. Інформаційні системи освітнього призначення, які містять у собі різні модулі та компоненти, стали важливими інструментами у навчальному процесі. У зв'язку з цим, принципи побудови інформаційних освітніх систем стають дедалі більш важливими.

Інформаційні технології стали невід'ємною складовою сучасного світу і діють на всіх сферах життя, включаючи освіту. Інформаційні освітні системи (ІОС) є ефективним інструментом, який сприяє покращенню якості освіти та підвищенню доступності знань. Важливим кроком у розробці ІОС є вивчення принципів їх побудови.

У цій статті ми розглянемо основні принципи побудови ІОС, що є ключовими елементами їх ефективності та надійності. Відомі принципи побудови ІОС дозволяють покращувати алгоритми функціонування та забезпечувати більш ефективно та якісне навчання. Детальне вивчення цих принципів може бути корисним як для проектування нових ІОС, так і для покращення вже існуючих систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених займалися дослідженням принципів побудови інформаційних освітніх систем. До найвідоміших імен в цій галузі належать Маршалл МакЛуен, Дуглас Енгельбарт, Герберт Саймон, Альберт Бандура, Річард Мердок, Джон Сванн і Джозеф Новак. Крім того, в Україні великий внесок в розвиток інформаційних освітніх систем зробили такі вчені, як Іван Сергієнко, Михайло Згуровський, Олександр Михайлов, Володимир Парасюк та інші. Їх дослідження допомогли удосконалити принципи побудови інформаційних освітніх систем та покращити якість навчання та розвитку у сучасному світі. І. С. Білоконь в своїх дослідженнях зосереджувався на вивченні теоретичних аспектів створення інформаційних освітніх систем. О. М. Іванова вивчала проблеми використання інформаційних технологій в освітніх процесах та досліджувала роль інформаційних систем у підвищенні якості навчання. Ю. І. Олексенко зосереджувався на проблемах побудови інформаційних систем для віддаленого навчання та розвитку інформаційної культури вчителів. О. В. Шуліка досліджувала питання створення інформаційних систем для підвищення ефективності навчальних закладів. А. С. Марков займався дослідженням використання інформаційних технологій у вищій освіті та розробкою моделей інформаційних освітніх систем. Т. В. Шевченко досліджувала питання

використання інформаційних технологій у навчальному процесі та розвитку компетентностей студентів. І. О. Жук зосереджувався на питаннях побудови інформаційних систем для дистанційного навчання та підвищення їх ефективності.

Ці вчені та багато інших працюють над розробкою нових інформаційних систем для підвищення якості освіти та забезпечення доступності навчання.

Мета статті – дослідження особливостей принципів побудови інформаційних систем освітнього призначення та формалізації шляхів такої побудови.

Виклад основного матеріалу. Базуючись на принципах побудови сучасних інформаційних технологій, інформаційні освітні системи стали невід'ємною складовою сучасної освіти. Інформаційні системи освітнього призначення – це складні технічні системи, які дозволяють забезпечити надійну та ефективну передачу інформації між всіма учасниками освітнього процесу.

Наведемо основні принципи побудови інформаційних систем освітнього призначення (рис.1).

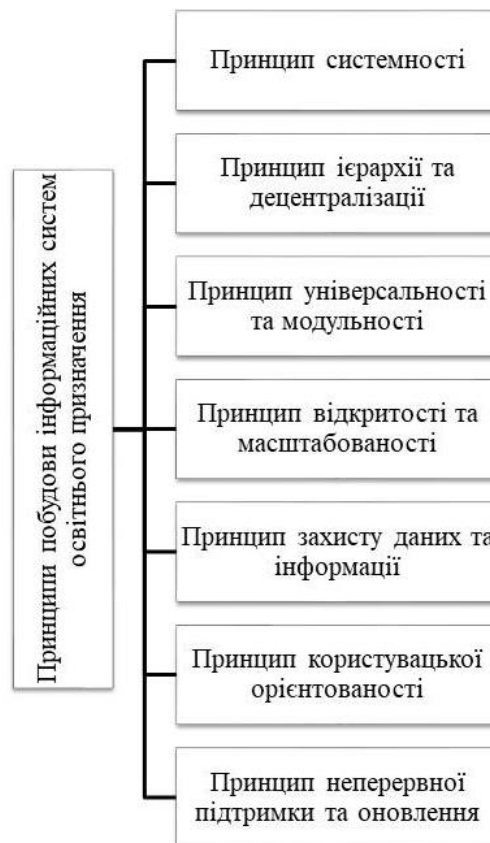


Рисунок 1 – Основні принципи побудови інформаційних систем освітнього призначення

Принцип системності є одним з основних принципів побудови інформаційних освітніх систем. Цей принцип базується на ідеї того, що інформаційна система повинна розглядатись як цілісна система, яка складається з взаємопов'язаних компонентів.

Застосування принципу системності у побудові інформаційних освітніх систем дозволяє створити інтегровану систему, що забезпечує надійність, ефективність та зручність використання. Цей принцип дозволяє забезпечити взаємодію між різними компонентами системи, що дозволяє забезпечити їх взаємодію та взаємозалежність.

Основний принцип системності полягає у розгляді системи як цілісної, взаємодіючої та взаємозалежної структури. Це означає, що кожен компонент системи має бути добре збалансованим та забезпечувати взаємодію з іншими компонентами.

Використання принципу системності у побудові інформаційних освітніх систем дозволяє забезпечити їх ефективність та надійність, а також забезпечити зручність використання для користувачів.

Принцип ієрархії та децентралізації є одним з ключових принципів побудови інформаційних освітніх систем. Цей принцип передбачає побудову системи з ієрархічною структурою, в якій керівні органи знаходяться вище за виконавчі. При цьому, на кожному рівні

© Мельничук Ю.Є.

ієрархії виконуються свої завдання і приймаються рішення, які не суперечать загальній меті системи.

Одночасно з ієрархічною структурою, принцип децентралізації відіграє важливу роль у побудові інформаційних освітніх систем. Цей принцип передбачає делегування влади та відповідальності на різних рівнях ієрархії. Таким чином, робота системи може бути ефективною, навіть якщо виникають проблеми на окремих рівнях.

Застосування принципів ієрархії та децентралізації в інформаційних освітніх системах дозволяє ефективно керувати процесами навчання та забезпечувати швидкий та точний обмін інформацією між різними рівнями системи. Крім того, ці принципи забезпечують гнучкість системи та здатність до швидкої адаптації до змін в зовнішньому середовищі.

Принцип універсальності та модульності – це один з основних принципів побудови інформаційних освітніх систем. Згідно з цим принципом, система повинна складатися з окремих модулів, які можуть працювати окремо і взаємодіяти один з одним за допомогою стандартизованих інтерфейсів.

Це забезпечує більшу гнучкість та легкість розширення системи, оскільки нові модулі можуть бути додані безпосередньо до існуючої системи без необхідності змінювати її основну архітектуру. Крім того, цей принцип дозволяє розробникам створювати спеціалізовані модулі, які можуть бути використані в різних системах.

Принцип універсальності дозволяє створювати модулі, які можуть бути використані в різних контекстах та для різних цілей. Це забезпечує ефективне використання ресурсів та скорочує час розробки нових модулів.

Застосування цього принципу дозволяє створювати системи, які можуть бути легко модифіковані та підтримувані. Крім того, це забезпечує можливість використовувати різні модулі для різних цілей, що дозволяє розширювати функціональність системи без необхідності переписувати весь код.

Універсальність та модульність побудови інформаційних освітніх систем є дуже важливими принципами, які дозволяють створювати ефективні та зручні системи, що відповідають вимогам сучасного світу та забезпечують можливість їх подальшого розвитку.

Принцип відкритості та масштабованості є одним з ключових принципів побудови інформаційних освітніх систем. Цей принцип означає, що система повинна бути відкритою для взаємодії з іншими системами, а також мати можливість розширюватись та масштабуватись для забезпечення потреб користувачів.

Одним з основних аспектів принципу відкритості є забезпечення відкритого доступу до інформації та можливості інтеграції з іншими системами. Це дозволяє забезпечити більш ефективну обробку та аналіз інформації, а також забезпечити користувачам більш широкий спектр можливостей.

Одним з ключових аспектів принципу масштабованості є здатність системи змінюватись та розширюватись залежно від зростання обсягів даних та користувачів. Це дозволяє системі забезпечити більш високу продуктивність та ефективність роботи, а також забезпечити користувачам більш широкий спектр можливостей.

Застосування принципу відкритості та масштабованості дозволяє забезпечити більш ефективну обробку та аналіз інформації, забезпечити користувачам більш широкий спектр можливостей та забезпечити більш високу продуктивність та ефективність роботи системи. В цілому, цей принцип є надзвичайно важливим для забезпечення успішної роботи інформаційних освітніх систем.

Принцип захисту даних та інформації є одним з ключових принципів побудови інформаційних освітніх систем. Забезпечення безпеки та захисту даних є особливо важливим у сучасному світі, де відбувається значна кількість кібератак та крадіжок даних.

Для забезпечення захисту даних та інформації в інформаційних освітніх системах використовуються різні методи та технології. Наприклад, шифрування даних, мережеві заходи безпеки, захист від вірусів та зломів, аудит та моніторинг системи, забезпечення контролю доступу до даних та інформації.

Дотримання принципу захисту даних та інформації є особливо важливим у галузі освіти, де обробка та зберігання особистих даних студентів та викладачів є необхідними. Забезпечення захисту даних та інформації в інформаційних освітніх системах є ключовим для збереження довіри до системи та успішного її функціонування.

Принцип користувацької орієнтованості є одним з найважливіших принципів побудови інформаційних освітніх систем. Цей принцип передбачає, що система повинна бути спрямована на потреби та вимоги користувачів. Освітня система повинна бути зрозумілою, простою та легкою у використанні.

Користувачі повинні мати можливість легко знаходити необхідну для них інформацію, взаємодіяти з системою та виконувати необхідні завдання. Крім того, система повинна бути адаптована до потреб користувачів з різним рівнем освіти та комп'ютерної грамотності.

Принцип користувацької орієнтованості також передбачає забезпечення можливості персоналізації системи для кожного користувача, з урахуванням його індивідуальних потреб та вимог. Це може бути здійснено шляхом забезпечення можливості вибору користувачем необхідного рівня складності завдань, інтерфейсу системи, режиму навчання та іншими факторами.

Отже, користувацько-орієнтований підхід до побудови інформаційних освітніх систем є ключовим для забезпечення ефективності навчання та підвищення якості освіти.

Принцип неперервної підтримки та оновлення є одним з ключових принципів побудови інформаційних освітніх систем. Забезпечення неперервної підтримки та оновлення системи включає в себе не тільки підтримку функціонування системи, але й оновлення компонентів системи та забезпечення їх сумісності.

Цей принцип виникає з необхідності відповідати на зміни вимог користувачів, технологічних процесів та інших факторів, що впливають на функціонування системи. Щоб забезпечити ефективну роботу системи, необхідно не тільки вчасно виявляти та усувати помилки, але й забезпечувати безперебійне функціонування системи.

Оновлення інформаційних освітніх систем може включати в себе вдосконалення існуючих функцій системи, додавання нових функцій, удосконалення інтерфейсу користувача, покращення безпеки системи та багато іншого. При цьому важливо забезпечити сумісність з іншими системами та технологіями, що використовуються в освітньому процесі.

Таким чином, принцип неперервної підтримки та оновлення є важливим елементом успішної реалізації інформаційних освітніх систем. Він дозволяє забезпечувати ефективну роботу системи та відповідати на змінні потреби користувачів.

Зважаючи на описані принципи, спробуємо окреслити основні модулі, що містять інформаційні системи освітнього призначення (рис.2).

Коротко опишемо кожен із них. *Модуль керування користувачами* (або модуль автентифікації та авторизації) є важливою складовою інформаційної системи освітнього призначення, оскільки він забезпечує безпеку та контроль доступу користувачів до системи та її ресурсів.

Основні функції модуля керування користувачами:

- автентифікація користувачів: перевірка ідентифікатора та пароля користувача для забезпечення його ідентифікації в системі;
- авторизація користувачів: забезпечення контролю доступу користувачів до різних ресурсів системи, таких як курси, тестування, оцінки та інші;
- управління ролями користувачів: надання користувачам певних ролей у системі та встановлення прав доступу для кожної ролі;
- управління обліковими записами користувачів: створення, редагування та видалення облікових записів користувачів;
- забезпечення безпеки системи: контроль доступу користувачів до ресурсів системи та забезпечення захисту конфіденційної інформації.

Модуль керування користувачами може бути інтегрований з іншими модулями інформаційної системи, такими як модуль курсів, модуль тестування та інші, щоб забезпечити повну функціональність системи та підвищити її ефективність.

Модуль навчальних матеріалів є одним з основних компонентів інформаційної системи освітнього призначення. Він забезпечує доступ користувачів до різних матеріалів, які можуть використовуватися для навчання та підвищення кваліфікації відповідно до їх потреб та цілей.

Основні функції модуля навчальних матеріалів:

- надання доступу до навчальних матеріалів: створення та оновлення навчальних матеріалів, які можуть бути доступні для користувачів;
- сортування та організація навчальних матеріалів: групування матеріалів за темами, рівнем складності та іншими параметрами для забезпечення зручності та швидкого доступу до них;

- контроль доступу до матеріалів: обмеження доступу до матеріалів відповідно до прав користувачів та політики безпеки;
- інтерактивність матеріалів: створення інтерактивних матеріалів, які дозволяють користувачам взаємодіяти з матеріалами та отримувати негайний фідбек;
- аналіз використання матеріалів: збір та аналіз даних щодо використання навчальних матеріалів для оцінки їх ефективності та вдосконалення системи.



Рисунок 2 – Основні модулі інформаційних систем освітнього призначення

Модуль навчальних матеріалів може включати в себе різноманітні матеріали, такі як тексти, відео, зображення, інтерактивні діаграми та інші. Він може бути інтегрований з іншими модулями системи, такими як модуль тестування або модуль керування користувачами, щоб забезпечити повну функціональність системи та підвищити її ефективність.

Модуль тестування та оцінювання є важливим компонентом інформаційної системи освітнього призначення. Він забезпечує можливість проведення тестування користувачів з різних тем та оцінювання їхніх знань та вмінь.

Основні функції модуля тестування та оцінювання:

- створення тестів: створення тестів з різних тем та складності для проведення тестування користувачів;
- контроль доступу до тестів: обмеження доступу до тестів відповідно до прав користувачів та політики безпеки;
- проведення тестування: проведення тестування користувачів з різних тем та складності з можливістю встановлення часу та інших параметрів;
- оцінювання результатів тестування: оцінювання результатів тестування та надання зворотного зв'язку користувачам щодо їхніх досягнень та недоліків;
- збір та аналіз даних: збір та аналіз даних щодо результатів тестування для оцінки ефективності системи та вдосконалення її функціональності.

Модуль тестування та оцінювання може включати в себе різноманітні типи питань, такі як заповнення пропусків, вибір відповіді зі списку, відповідь у вільній формі та інші.

Модуль звітності та аналітики є важливою складовою інформаційних освітніх систем. Цей модуль забезпечує збір, обробку та аналіз даних, пов'язаних з навчанням та викладанням в інформаційній освітній системі.

Основними функціями модуля звітності та аналітики є:

- збір даних: модуль збирає різні дані, пов'язані з навчанням, такі як інформація про студентів, викладачів, предмети, оцінки та інші;
- обробка даних: після збору даних модуль оброблює їх для створення звітів та аналітики. Цей процес включає очищення даних від помилок та дублікатів, їх узагальнення та створення звітів;
- аналіз даних: модуль звітності та аналітики використовує аналітичні методи для виявлення тенденцій та корисної інформації в даних. Наприклад, він може допомогти визначити, які предмети або викладачі є найефективнішими, де можна покращити навчальний процес;
- створення звітів: модуль звітності та аналітики забезпечує створення звітів, що містять важливу інформацію про навчальний процес. Звіти можуть бути використані для прийняття рішень та покращення якості навчання.

Загалом, модуль звітності та аналітики допомагає адміністраторам, викладачам та студентам більш ефективно використовувати інформацію, що стосується навчального процесу.

Модуль комунікації та співпраці є важливою складовою інформаційних освітніх систем. Цей модуль надає можливість користувачам системи спілкуватися між собою, обмінюватися думками, ідеями, досвідом, матеріалами тощо.

У рамках цього модуля зазвичай встановлюються такі засоби комунікації, як форуми, чати, електронні листи, системи коментування та зворотного зв'язку. Крім того, в інформаційних освітніх системах можуть бути встановлені інструменти для спільної роботи, такі як віртуальні дошки, спільні документи, календарі тощо.

Основна мета модуля комунікації та співпраці полягає в забезпеченні зручного та ефективного спілкування між користувачами системи, що сприяє підвищенню якості навчання та розвитку інформаційної культури.

Також, цей модуль може допомогти підвищити ефективність роботи викладачів та адміністраторів системи, дозволяючи їм легко спілкуватися між собою та обмінюватися інформацією.

Одним із головних завдань модуля комунікації та співпраці є також підтримка взаємодії між студентами та викладачами, що важливо для забезпечення якісного навчального процесу.

Крім того, модуль комунікації та співпраці може допомогти створити сприятливу атмосферу співпраці та взаємодії між учасниками навчального процесу, що сприяє залученню до навчання та розвитку інтересу до теми.

Модуль адміністрування та технічної підтримки є важливою складовою інформаційних освітніх систем, оскільки він забезпечує нормальне функціонування системи та допомагає користувачам у вирішенні проблем, що виникають в процесі використання системи.

У рамках цього модуля встановлюються засоби, що дозволяють адміністраторам системи керувати доступом до різних функцій та можливостей системи, створювати та керувати ролями користувачів, забезпечувати безпеку даних, відстежувати та аналізувати активність користувачів тощо.

Крім того, модуль адміністрування та технічної підтримки забезпечує технічну підтримку користувачів системи, яка може включати в себе відповіді на запитання, допомогу у вирішенні проблем, надання рекомендацій щодо використання системи тощо.

Також, модуль адміністрування та технічної підтримки включає в себе засоби моніторингу та аналізу функціонування системи, що дозволяє виявляти можливі проблеми та швидко їх вирішувати.

Одним із головних завдань модуля адміністрування та технічної підтримки є забезпечення безпеки даних та інформації користувачів системи. Для цього встановлюються засоби захисту від несанкціонованого доступу, резервне копіювання даних, а також засоби виявлення та запобігання атакам на систему.

Висновки. У цій статті було розглянуто основні принципи побудови інформаційних освітніх систем, які допомагають забезпечити їх ефективність та високу якість функціонування. Принцип системності полягає у врахуванні всіх елементів інформаційної системи та їх взаємодії, що дозволяє забезпечити її стабільну роботу. Принцип ієрархії та децентралізації дозволяє ефективно

розподілити завдання та відповідальність між різними рівнями управління. Принцип універсальності та модульності забезпечує можливість швидкого та простого змінення окремих модулів системи, що дозволяє пристосувати її до нових умов. Принцип відкритості та масштабованості дозволяє системі адаптуватися до зростаючих потреб користувачів. Принцип захисту даних та інформації забезпечує конфіденційність та безпеку інформації в системі. Принцип користувацької орієнтованості дозволяє системі бути простою та зрозумілою для користувачів. Принцип неперервної підтримки та оновлення дозволяє системі залишатися актуальною та ефективною протягом тривалого часу.

При побудові інформаційних освітніх систем необхідно враховувати всі ці принципи, щоб забезпечити їх якість та ефективність. Для досягнення цих цілей, розробники повинні працювати над вдосконаленням даних принципів та їх застосуванням у практиці.

Також необхідно враховувати, що принципи побудови інформаційних освітніх систем є динамічними та змінюються відповідно до потреб користувачів та нових технологій. Тому важливо постійно оновлювати та удосконалювати системи з урахуванням нових вимог та можливостей.

Загалом, успішна побудова інформаційної освітньої системи базується на дотриманні принципів системності, ієрархії та децентралізації, універсальності та модульності, відкритості та масштабованості, захисту даних та інформації, користувацької орієнтованості та неперервної підтримки та оновлення. Дотримання цих принципів дозволить підвищити ефективність та якість освітнього процесу, сприяти розвитку нових технологій та забезпечити доступ до якісної освіти для кожного.

Список бібліографічного опису

1. Jonassen, D. H. (2011). Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments. Routledge.
2. Merrill, M. D. (2014). First principles of instruction: Identifying and designing effective, efficient and engaging instruction. John Wiley & Sons.
3. Бондар, Н. (2016). Інформаційні технології в освіті: сутність та можливості використання. *Освіта і наука в умовах глобалізації*, 2(4), 21-24.
4. Дерев'яно, В. (2017). Інформаційні освітні системи: концептуальні засади побудови та перспективи розвитку. *Вісник Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди. Серія: Інформаційні технології в освіті*, (43), 5-12.
5. Кудрявцева, І. (2018). Принципи побудови інформаційних систем в освіті. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*, 25(32), 116-120.
6. Лебедева, Л. (2018). Принципи побудови інформаційних систем в освіті. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Педагогіка*, 2(1), 67-70.
7. Романенко, І. (2017). Принципи побудови інформаційних освітніх систем. *Науковий вісник Полісся*, (3), 88-93.
8. Савчук, В. (2019). Інформаційні системи в освіті: основні поняття та тенденції розвитку. *Вісник Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди. Серія: Інформаційні технології в освіті*, (39), 5-15.

References

1. Bondar, N. (2016). Information technologies in education: essence and possibilities of use. *Education and Science in the Conditions of Globalization*, 2(4), 21-24.
2. Derevianko, V. (2017). Information educational systems: conceptual foundations and prospects of development. *Bulletin of the H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University. Series: Information Technologies in Education*, (43), 5-12.
3. Jonassen, D. H. (2011). Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments. Routledge.
4. Kudriavtseva, I. (2018). Principles of building information systems in education. *Scientific Journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 2: Computer-oriented systems of education*, 25(32), 116-120.
5. Lebedieva, L. (2018). Principles of building information systems in education. *Scientific Notes of Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Pedagogy*, 2(1), 67-70.
6. Merrill, M. D. (2014). First principles of instruction: Identifying and designing effective, efficient and engaging instruction. John Wiley & Sons.
7. Romanenko, I. (2017). Principles of building information educational systems. *Scientific Bulletin Polissia*, (3), 88-93.
8. Savchuk, V. (2019). Information systems in education: basic concepts and trends. *Bulletin of the H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University. Series: Information Technologies in Education*, (39), 5-15.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-12>

УДК 681.3.06

Міскевич Оксана Іванівна, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-5009-2391>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

АНАЛІЗ РОБОТИ МЕРЕЖЕВИХ УТИЛІТ В КОМАНДНОМУ ВІКНІ WINDOWS

Міскевич О.І. Аналіз роботи мережеских утиліт в командному вікні Windows У даній статті розглянуто основні мережескі утиліти, як запорука надійної та безпечної роботи. Для якості кожної мережі – як зовнішньої, так і локальної необхідний моніторинг та діагностика програмного та апаратного забезпечення.

Поставлена задача вимагає вивчення поточних показників та збір даних. Адаже є багато загроз попадання у вірусне середовище та крадіжки даних. І тому у разі виявлення різноманітних несправностей необхідно приймати відповідні та правильні рішення.

Розглянуто основні мережескі утиліти: ping, ipconfig, tracert, pathping для перевірки роботи мережі через консоль Windows. Досліджено маршрути, розташування проміжних вузлів, довжину шляху та пройдені пакетами точки обміну трафіку до комп'ютерів, розташованих в різних кінцях світу.

Ключові слова: мережескі утиліти Windows, трафік, передачі і втрати пакетів, пінгування.

Miskevich O.I. Analysis of the operation of network utilities in the Windows command window This article discusses the main network utilities as the key to reliable and safe work. Software and hardware monitoring and diagnostics are necessary for the quality of each network - both external and local necessary monitoring and diagnostics of software and hardware.

The given task requires the study of current indicators and data collection. After all, there are many threats of getting infected environment and data theft. And therefore, in case of detection of various malfunctions, it is necessary to make appropriate and correct decisions.

The main network utilities are considered: ping, ipconfig, tracert, pathping for checking network operation through the Windows console. Routes, location of intermediate nodes, path length and traffic exchange points passed by packets to computers located in different parts of the world were studied.

Keywords: Windows network utilities, traffic, transmission and loss of packets, pinging.

Постановка проблеми.

Використання мережеских утиліт має велике значення у робочих та корпоративних мережах. Адаже утиліта може легко визначити перевищення мережеского трафіку (що хтось із користувачів займається сторонніми справами), впала швидкість відкриття сторінок і взаємодія в мережі. Всі результати перевірки виведе адміністратору. Метою роботи є аналіз утиліт, що забезпечують оптимізацію використання ресурсів та надають кожному користувачеві ряд додаткових послуг.

Для досягнення мети було розглянуто ряд засобів: стиснення даних; перегляду та відтворення; діагностики і контролю; комунікацій; забезпечення безпеки.

Аналіз досліджень. Мережескі утиліти дають можливість точково виявити проблему, контролювати якість обміну пакетам, перевіряти всі дані про налаштування мережеских протоколів та з'єднань, відстежити всі маршрути даних по мережах та можливість визначення відстані.

Аналіз мережеского трафіку відіграє важливу роль у моніторингу мережі та контролює діяльність для виявлення аномалій, використовуючи різноманітні аналізатори. Це є вирішення проблем в ІТ-середовищі.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Командний рядок – дуже зручне вікно для вирішення різних проблем, але необхідні знання написання команд, які можуть налагоджувати контакт користувача з ОС і комп'ютером. Робота з командним рядком - це гостра необхідність для фахівців. Консоль - невелика частина того, що можна використовувати в якості інструменту для роботи з Windows. Розглянемо команди для мережі та наведемо приклади їх використання на практиці. Вони дозволяють ефективно працювати в Інтернеті, виправляти помилки і налаштовувати параметри. Наприклад, знайти свій IP-адресу та дізнатися повну інформацію можна за допомогою команди «Ipconfig».

Для того, щоб виявити несправності необхідно перевірити наступне: підключення користувачів до мережі; забезпечення користувачам доступ до протоколів головного сервера; розподілення IP-адреси кожного клієнта мережі; встановлені ліміти/швидкість передач.

Отже, розглянемо команди консолі – мережескі утиліти.

Ping – утиліта, яка контролює якість обміну пакетами на підставі протоколів TCP/IP. Вона надсилає запити за вказаною адресою та фіксує час відповідей, затримок та втрат пакетів.

За допомогою цих даних можна оцінити стабільність роботи з мережею чи конкретним сайтом. Команда підтримує як IP, так і інтернет-адреси. В останньому випадку IP-адреса ресурсу

висвітиться автоматично після початку роботи. За замовчуванням здійснюється всього чотири обміни даними із сервером. Якщо потрібне постійне опитування до скасування процедури користувачем, після адреси потрібно використовувати команду -t.

Фактично пінгування означає тестове опитування (яке проводиться утилітою Ping), при якому здійснюється вимірювання часу проходження пакетів між комп'ютерами мережі, що дозволяє встановити відповідність між доменною і IP-адресою будь-якого пристрою мережі; так перевіряється якість і швидкість каналів зв'язку провайдерів.

Tracert – утиліта, що дозволяє відстежити всі маршрути даних по мережах, що використовують протоколи TCP/IP, надсилає запити на вказану адресу, а також команда ping. При цьому відображається інформація про всі проміжні маршрути, через які запити проходять шляхом до потрібного ресурсу, фіксується час кожної частки маршруту у мілісекундах. Це дозволяє оцінити повний шлях трафіку та ділянку, на якій виникають найбільші затримки та перевіряє працездатність маршрутизаторів і на якому з них виникли неполадки.

Pathping - команда поєднує можливості команд ping та tracert. Вона дозволяє оцінити затримки передачі і втрати пакетів кожному ділянці маршруту до певному вузлу. Відправляє дані по маршрутизаторам, використовуючи ефект луни (запит-відповідь). На підставі отриманих результатів проводить аналіз і видає чітку інфографіку.

Ipconfig – засіб перегляду інформації про конфігурацію мережевих адаптерів (IP та MAC-адреси). Зазвичай використовується з ключем /all.

Пропінговано віддалений сайт- president.gov.ua. По наданій інформації можна стверджувати про малу затримку (близько 11 мілісекунд) та відсутність втрат (100% отримання пакетів).

```
C:\Users\User>ping president.gov.ua

Pinging president.gov.ua [104.94.100.176] with 32 bytes of data:
Reply from 104.94.100.176: bytes=32 time=11ms TTL=58
Reply from 104.94.100.176: bytes=32 time=11ms TTL=58
Reply from 104.94.100.176: bytes=32 time=12ms TTL=58
Reply from 104.94.100.176: bytes=32 time=11ms TTL=58

Ping statistics for 104.94.100.176:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 11ms, Maximum = 12ms, Average = 11ms

C:\Users\User>
```

Рис.1 - Утиліта ping

Щоб дізнатись розташування проміжних вузлів, можна скористатись онлайн-сервісом для визначення геолокації IP, наприклад: <https://semalt.tools/uk/ip-geolocation>

За допомогою команди tracert для визначення приблизної відстані між ділянками Швейцарія, Парагвай, Південна Корея

1 - Швейцарія:

```
C:\Users\User>tracert admin.ch

Tracing route to admin.ch [162.23.130.190]
over a maximum of 30 hops:
  0  <1 ms    <1 ms    <1 ms    192.168.128.1
  1  <1 ms    <1 ms    <1 ms    10.75.75.100
  2  1 ms     <1 ms    <1 ms    1.144.109.193.luxlink.net.ua [193.109.144.1]
  3  1 ms     1 ms     1 ms     203.145.109.193.luxlink.net.ua [193.109.145.203]
  4  12 ms    12 ms    8 ms     194.44.213.73
  5  25 ms    26 ms    25 ms    decix.ielo.net [80.81.194.184]
  6  32 ms    29 ms    30 ms    te0-0-24.defra-itx7-a9h1.as29075.net [185.18.173.133]
  7  31 ms    31 ms    32 ms    te0-0-0-24.frstr-sfr-a9h1.as29075.net [185.96.186.251]
  8  31 ms    30 ms    31 ms    te0-0-0-35.frstr-sfr-n55h1.as29075.net [185.18.172.183]
  9  29 ms    29 ms    29 ms    te0-0-0-39.chzrh-nts1-n55h1.as29075.net [185.96.186.41]
 10  31 ms    31 ms    31 ms    nts.chzrh-nts1.cust.as29075.net [212.85.148.215]
 11  32 ms    32 ms    30 ms    hu0-0-0-0.01.p.cbw.ch.as15576.nts.ch [217.11.217.142]
 12  31 ms    31 ms    31 ms    hu0-0-0-0.02.p.cbs.ch.as15576.nts.ch [212.103.92.67]
 13  35 ms    34 ms    35 ms    212.103.95.99
 14  34 ms    35 ms    35 ms    162.23.17.225
 15  *        *        *
 16  *        *        *
```

Рис.2 - Утиліта tracert

Висновок: Між 4 та 6 пунктами різниця у часі близько 24 мілісекунд. Це свідчить про додання інформацією відстані 4800 Км.

2 -Парагвай:

```
C:\Users\User>tracert paraguay.gov.py
Tracing route to paraguay.gov.py [201.217.55.162]
over a maximum of 30 hops:
  1  <1 ms    <1 ms    <1 ms    192.168.128.1
  2  <1 ms    <1 ms    <1 ms    10.75.75.100
  3  1 ms     <1 ms    <1 ms    1.144.109.193.luxlink.net.ua [193.109.144.1]
  4  1 ms     1 ms     1 ms     203.145.109.193.luxlink.net.ua [193.109.145.203]
  5  5 ms     8 ms     5 ms     194.44.213.73
  6  13 ms    *        *        ve3310.core2.waw1.he.net [184.104.231.97]
  7  *        *        *        ^C
C:\Users\User>
```

Рис.3 - Утиліта tracert

Висновок: Між 4 та 6 пунктами різниця близько 12 мілісекунд, що свідчить про приблизну відстань між даними вузлами у 2400 км.

3 - Південна Корея:

```
C:\Users\User>tracert gov.kr
Tracing route to gov.kr [125.60.35.230]
over a maximum of 30 hops:
  1  <1 ms    <1 ms    <1 ms    192.168.128.1
  2  <1 ms    <1 ms    <1 ms    10.75.75.100
  3  <1 ms    <1 ms    <1 ms    1.144.109.193.luxlink.net.ua [193.109.144.1]
  4  1 ms     3 ms     4 ms     203.145.109.193.luxlink.net.ua [193.109.145.203]
  5  8 ms     14 ms    8 ms     194.44.213.73
  6  4 ms     7 ms     5 ms     ae7-205.rt.uar.lvi.ua.retn.net [87.245.247.248]
  7  145 ms   144 ms   148 ms   ae7-7.rt.eqx.hkg.cn.retn.net [87.245.232.73]
  8  218 ms   218 ms   217 ms   121.189.1.9
  9  252 ms   252 ms   253 ms   112.174.87.225
 10  239 ms   238 ms   238 ms   112.174.91.249
 11  251 ms   250 ms   250 ms   112.174.94.94
 12  247 ms   247 ms   247 ms   203.234.255.114
 13  *        *        *        ^C
```

Рис.4 - Утиліта tracert

Висновок: Між 6 та 8 пунктами різниця приблизно у 214 мілісекунд, що свідчить про додання інформацією відстані між вузлами понад 42800 Км.

Знайдемо IP-адреси та пройдені пакетами точки обміну трафіку наступні Естонія, Мадагаскар, Колумбія

Сайт:

Домен **studyinestonia.ee** указывает на следующий IP:

217.146.69.49

Организация:	Zone Media LLC
Местоположение:	Таллин, Харьюмаа, Эстония
Провайдер:	Zone Media LLC
AS:	AS49604 Zone Media OU

Рис.5. - IP адреса Естонії

```
Administrator: Командний рядок
Microsoft Windows [Version 10.0.19044.2006]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Windows\system32>tracert 217.146.69.49

Tracing route to sn-69-49.tll07.zoneas.eu [217.146.69.49]
over a maximum of 30 hops:

  0  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.0.1
  1  3 ms    2 ms    3 ms   10.251.119.130
  2  3 ms    4 ms    2 ms   33.168.107.193.clients.uainet.net [193.107.168.33]
  3  17 ms   17 ms   26 ms  194.44.136.45
  4  15 ms   14 ms   16 ms  194.44.212.253
  5  14 ms   15 ms   14 ms  ae7-205.RT.UAR.LVI.UA.retn.net [87.245.247.248]
  6  34 ms   33 ms   34 ms  ae2-4.RT.ELN.TLL.EE.retn.net [87.245.233.176]
  7  42 ms   43 ms   42 ms  kjj-bb3-ae-1-0.ee.estpak.ee [195.250.170.24]
  8  47 ms   47 ms   47 ms  r3-eth-3-4-0-tll-tix.ee.zonedata.net [195.250.170.42]
  9  47 ms   46 ms   46 ms  r7-eth-3-2-0-TLL-VS.ee.zonedata.net [217.146.77.134]
 10  46 ms   46 ms   46 ms  r12-eth-2-1-0-TLL-TIX.ee.zonedata.net [217.146.77.234]
 11  46 ms   46 ms   46 ms  SS-250-1.TLL07.ZONEAS.EU [85.234.245.25]
 12  54 ms   46 ms   48 ms  LS-251-7.TLL07.ZONEAS.EU [85.234.245.45]
 13  66 ms   63 ms   53 ms  sn-69-49.tll07.zoneas.eu [217.146.69.49]
```

Рис.6 - Пройдені пакетами точки обміну трафіку

Сайт:

[Вычислить IP](#)

Домен **presidence.gov.mg** указывает на следующий IP:

102.16.18.42 [В буфер обмена](#)

Организация:	
Местоположение:	Антананариву, Analamanga, Мадагаскар
Провайдер:	Telecom Malagasy
AS:	AS37054 Telecom Malagasy

Рис.7 - IP адреса Мадагаскар

```
Administrator: Командний рядок
C:\Windows\system32>tracert 102.16.18.42

Tracing route to tgn.16.18.42.tgn.mg [102.16.18.42]
over a maximum of 30 hops:

  0  1 ms    <1 ms  <1 ms  192.168.0.1
  1  3 ms    6 ms    3 ms   10.251.119.130
  2  7 ms    4 ms    3 ms   33.168.107.193.clients.uainet.net [193.107.168.33]
  3  22 ms   16 ms   14 ms  194.44.136.45
  4  15 ms   *       *      ve3230.core2.kbp1.he.net [216.66.85.185]
  5  *       34 ms   *      100ge0-59.core2.vie1.he.net [184.104.192.225]
  6  50 ms   *       51 ms  100ge0-63.core2.par2.he.net [184.105.65.5]
  7  50 ms   52 ms   51 ms  telma.par.franceix.net [37.49.236.171]
  8  51 ms   51 ms   50 ms  par-er-1-par-pop-1.tgn.mg [154.126.78.37]
  9  58 ms   56 ms   58 ms  mx-480-lon-ge-0-0-9-to-7710src12-th2.tgn.mg [41.188.60.194]
 10  242 ms  241 ms  241 ms  tgn.126.82.120.tgn.mg [154.126.82.120]
 11  241 ms  249 ms  242 ms  mx-10-2-tul-ae0-to-mx-10-1-tul.tgn.mg [41.188.60.236]
 12  250 ms  250 ms  257 ms  tgn.149.9.195.dts.mg [197.149.9.195]
 13  257 ms  258 ms  256 ms  ana-er-1-ana-er-1-sdv-1.tgn.mg [154.126.77.34]
 14  258 ms  257 ms  258 ms  tgn.149.16.11.dts.mg [197.149.16.11]
 15  *       *       *      Request timed out.
 16  *       *       *      Request timed out.
 17  *       *       *      Request timed out.
 18  *       *       *      Request timed out.
 19  *       *       *      Request timed out.
 20  *       *       *      Request timed out.
 21  *       *       *      Request timed out.
 22  *       *       *      Request timed out.
 23  *       *       *      Request timed out.
 24  *       *       *      Request timed out.
 25  *       *       *      Request timed out.
 26  *       *       *      Request timed out.
 27  *       *       *      Request timed out.
 28  *       *       *      Request timed out.
 29  *       *       *      Request timed out.
 30  *       *       *      Request timed out.

Trace complete.
```

Рис.8 - Пройдені пакетами точки обміну трафіку

Сайт:

Домен **www.farmacenter.com.co** указывает на следующий IP:

200.122.249.186

Организация:	IE ACP COPIDROGAS (FX:) ECA AAM7 C2
Местоположение:	Богота, Bogota D.C., Колумбия
Провайдер:	EPM Telecomunicaciones S.A. E.S.P
AS:	AS13489 EPM Telecomunicaciones S.A. E.S.P.

Рис.9 - IP адреса Колумбії

```

C:\Windows\system32>tracert 200.122.249.186

Tracing route to static-dedicado-200-122-249-186.une.net.co [200.122.249.186]
over a maximum of 30 hops:
  0  0 ms  0 ms  0 ms  192.168.0.1
  1  1 ms  <1 ms  <1 ms  10.251.119.130
  2  2 ms  4 ms  2 ms  33.168.107.193.clients.uainet.net [193.107.168.33]
  3  15 ms  15 ms  19 ms  194.44.136.45
  4  16 ms  15 ms  *  ve3230.core2.kbp1.he.net [216.66.85.185]
  5  *  *  *  Request timed out.
  6  *  *  *  Request timed out.
  7  *  *  *  Request timed out.
  8  52 ms  52 ms  *  100ge0-36.core2.par3.he.net [184.105.81.166]
  9  *  *  *  Request timed out.
 10  *  *  *  Request timed out.
 11  145 ms  144 ms  145 ms  198.32.124.172
 12  145 ms  148 ms  144 ms  static-ads1200-24-33-93.epm.net.co [200.24.33.93]
 13  174 ms  173 ms  168 ms  static-ads1200-24-33-91.epm.net.co [200.24.33.91]
 14  170 ms  170 ms  170 ms  static-ads1200-24-33-234.epm.net.co [200.24.33.234]
 15  185 ms  197 ms  187 ms  static-ads1200-24-34-84.epm.net.co [200.24.34.84]
 16  193 ms  186 ms  185 ms  static-ads1200-24-33-208.epm.net.co [200.24.33.208]
 17  185 ms  185 ms  185 ms  10.166.10.22
 18  186 ms  185 ms  185 ms  static-dedicado-200-122-230-129.une.net.co [200.122.230.129]
 19  188 ms  185 ms  185 ms  static-dedicado-200-122-230-130.une.net.co [200.122.230.130]
 20  *  *  *  Request timed out.
 21  *  *  *  Request timed out.
 22  *  *  *  Request timed out.
 23  *  *  *  Request timed out.
 24  *  *  *  Request timed out.
 25  *  *  *  Request timed out.
 26  *  *  *  Request timed out.
 27  *  *  *  Request timed out.
 28  *  *  *  Request timed out.
 29  *  *  *  Request timed out.
 30  *  *  *  Request timed out.

Trace complete.

```

Рис.10 - Пройдені пакетами точки обміну трафіку

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Аналіз наукових досліджень і публікацій показав, що знання мережних утиліт дає можливість кожному користувачеві відстежити всі маршрути даних по мережах та можливість визначити потрібні відстані.

Список бібліографічного опису

1. Міскевич, О. (2021). Дослідження загроз від кібератак та захист персональної інформації . КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (45), 84-89. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-12>
2. КаганюкО., Бортник, К., Свиридюк, К., & МіскевичО. (2021). Комп'ютерна підсистема управління супутниковою антеною на базі мікроконтролера АТМЕГА. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (44), 11-18. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-44-02>
3. МіскевичО., Каган, І., & РожкоО. (2021). Як обрати оптимальний ноутбук для навчання . КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (43), 92-96. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-15>
4. Христинець, Н., Черняшук, Н., Міскевич, О., Повстяна, Ю., & Довгонюк, М. (2020). Технології апаратної віртуалізації мікропроцесорів Intel . Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (40), 158-163.

5. Хрystинець, Н., Міскевич О., & Мазуренко, В. (2020). Технології Blockchain для оптимізації процесів документообігу. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (40), 153-
6. Хрystинець, Н., Михалик А., & Міскевич О. (2020). Продуктивність технології CrossFire X при навантаженні відеоадаптерів мікропроцесорів AMD. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (39), 213-217.

References

1. Miskevich, O. (2021). Study of threats from cyber attacks and protection of personal information. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (45), 84-89. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-12>
2. Kaganyuk O., Bortnyk, K., Svyrydyuk, K., & Miskevich O. (2021). Satellite antenna control computer subsystem based on ATMEGA microcontroller. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (44), 11-18. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-44-02>
3. Miskevich O., Kagan, I., & Rozhko O. (2021). How to choose the best laptop for studying. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (43), 92-96. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-15>
4. Khrystinets, N., Chernyashchuk, N., Miskevich, O., Povstyana, Yu., & Dovgonyuk, M. (2020). Technologies of hardware virtualization of Intel microprocessors. Computer-integrated technologies: education, science, production, (40), 158-163.
5. Khrystinets, N., Miskevich O., & Mazurenko, V. (2020). Blockchain technologies to optimize document flow processes. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (40), 153-
6. Khrystinets, N., Mykhalyk A., & Miskevich O. (2020). Performance of CrossFire X technology when loading video adapters of AMD microprocessors. Computer-integrated technologies: education, science, production, (39), 213-217.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-13>

УДК 531.011

Пастернак Роман Михайлович, к. ф.-м. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9668-9161>

Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, Україна

РЕЛЯТИВІСТСЬКІ РІВНЯННЯ РУХУ В ПОТЕНЦІАЛЬНОМУ СИЛОВОМУ ПОЛІ

Пастернак Р. М. Релятивістські рівняння руху в потенціальному силовому полі. На прикладі задачі про зсув перичентра планет проведено верифікацію альтернативного апарату релятивістської корпускулярної механіки в евклідовому 4-просторі та закону Всесвітнього тяжіння. Показано, що в межах Сонячної системи закон обернених квадратів у законі тяжіння виконується. Виконаний апаратом корпускулярної релятивістської механіки в 4-просторі аналіз впливів гравітаційних та кінематичних змін маси тіла показав збіги результатів розрахунку з даними астрономічних спостережень.

Ключові слова: закон тяжіння, зсув перигелію, релятивістська механіка.

Pasternak R. M. Relativistic equations of motion in a potential force field. The verification of the alternative apparatus of relativistic corpuscular mechanics in Euclidean 4 space and the law of universal gravitation was carried out on the example of the problem of the shift of the pericenter of the planets. It is shown that within the solar system, the law of inverse squares in the law of gravitation is fulfilled. The analysis of the effects of gravitational and kinematic changes in body mass performed by the apparatus of corpuscular relativistic mechanics in 4th space showed the coincidence of the calculation results with the data of astronomical observations.

Key words: law of gravity, perihelion shift, relativistic mechanics

Постановка завдання. У. Левер'є виявив, що орбітальний рух Меркурія не підкоряється законам небесної механіки [1] – спостережуваний просторовий зсув перигелію Меркурія в 570" за століття небесна механіка пояснювала лише частково [1]. Існувало декілька можливих причин виникнення розбіжностей: 1) у законі тяжіння не виконується закон обернених квадратів; 2) рівняння руху недосконалі; 3) існують неспостережувані об'єкти на внутрішніх орбітах Сонячної системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нев'язку зсуву в 43" за століття згодом було пояснено в рамках польової загальної теорії відносності (ЗТВ) на основі принципу А. Айнштейна [2] еквівалентності маси та енергії. Хоча впливів неспостережуваних небесних тіл не виявлено, ЗТВ не давала відповіді на перші два питання, – розрахунок зсуву перигелію засобами релятивістської корпускулярної механіки частинок у просторі-часі пояснював лише третину невязки [1]. У [3] запропоновано альтернативний апарат релятивістської корпускулярної механіки змінної маси в евклідовому 4-просторі, де поняття еквівалентності маси та енергії лежить а його основі, – появилася реальна можливість перевірити як валідність рівняння руху релятивістської корпускулярної механіки в просторі-часі [1] так і сам закон обернених квадратів І. Ньютона.

Метою роботи є верифікація запропонованого в [3] альтернативного апарату релятивістської механіки та закону Всесвітнього тяжіння [1] на прикладі задачі про швидкість зсуву перигелію Меркурія.

Виклад основного матеріалу містить три розділи: кінематична та гравітаційна маси тіла, енергія зв'язку та розділ тестування.

1. Потенціальна енергія. Кінематична та гравітаційна маси тіла

1.1. Сила Всесвітнього тяжіння. Відповідно до формули І. Ньютона сила \vec{f}_N тяжіння сферично-симетричних тіл з масами M та m дорівнює [1]:

$$\vec{f}_N = m\vec{g}_N, \text{ де } \vec{g}_N = -\frac{GM}{r^3}\vec{r}. \quad (1)$$

Тут \vec{g}_N – напруженість гравітаційного поля, що створюється тілом масою M , G – гравітаційна стала, а \vec{r} – радіус-вектор пробного тіла масою m із центру гравітаційних сил. Для зручності викладу запишемо формулу напруженості гравітаційного поля тіла масою M у геометричному представленні

$$\vec{g}_N = -\frac{c^2 r_G}{2r^3}\vec{r}, \quad (2)$$

де $r_G = 2GM/c^2$ – гравітаційний радіус тіла масою M , а c – швидкість світла у вакуумі [2].

1.2. *Кінематична та гравітаційна маси тіла.* Системи відліку в гравітаційному полі неінерційні [2], тому проводити в них аналіз взаємодії тіл стандартними методами релятивістської механіки [1] неможливо. Перш ніж вирішувати поставлене в назві роботи завдання, розглянемо ряд допоміжних задач в інерційній системі відліку.

Нехай у просторі без гравітаційного поля діє сила $\vec{f} = \vec{f}_N$ (позначення r_G тут використано формально, лише для характеристики сили). Розглянемо одновимірну задачу падіння пробного точкового тіла масою m з нескінченності на центр сили f . Відповідно до формули Ж. Понселе [1], з урахуванням принципу еквівалентності маси та енергії $E = c^2 m$ [2], запишемо:

$$dE = (\vec{f}, d\vec{r}) = -c^2 m \frac{r_G}{2r^2} dr = -E \frac{r_G}{2r^2} dr. \quad (3)$$

Інтегруючи (3) частинами за початкової умови, коли $r \rightarrow \infty$ то $E \rightarrow E_0 = c^2 m_0$, де E_0 та m_0 – відповідно енергія та маса спокою пробного тіла, отримуємо приріст енергії E_G :

$$\Delta E_G = E_0 \left(\exp\left(\frac{r_G}{2r}\right) - 1 \right). \quad (4)$$

У релятивістській механіці змінної маси [3] прийнято вважати, що вся надана тілу (силою f) енергія йде лише на зміну кінетичної енергії: $\Delta E_G = E_K(v) = E_0(\gamma - 1)$, де $\gamma(v) = (1 - \beta^2)^{-2}$ – Лоренц-фактор [3], а $\beta = v/c$ – зведена до швидкості c світла у вакуумі швидкість v поступального руху пробного тіла. Відповідно, можна записати кінематичну масу $m(v) = m_0 \gamma$ пробного тіла, що залежать від швидкості руху в полі сили f [3].

1.3. *Потенціальна енергія в релятивістській механіці.* Обчислимо роботу A з переміщення пробного тіла з точки простору r на ∞ проти сили f зі швидкістю $v \rightarrow 0$ (при нульовій кінетичній енергії). У цьому випадку вся робота A буде $A = E_0(\exp(r_G/(2r)) - 1)$, для якої введемо формальне поняття потенціальної енергії, тобто змін гравітаційної енергії пробного тіла в полі сили f , яка буде залежати від r : $E_G(r) = E_0(\exp(r_G/(2r)) - 1)$. Відповідно, можна ввести поняття гравітаційної маси $m_G(r) = m_0 \exp(r_G/(2r))$ пробного тіла. (Маса – скалярна характеристика тіла, що пропорційна його енергії, а умовний поділ її змін на гравітаційну та кінематичну вказує лише на конкретний спосіб цих змін.)

1.4. *Двовимірний рух.* Зміну енергії пробного тіла в цілому можна визначити за формулою (4). Однак розглянуті варіанти не дають можливості визначити пропорцію розподілу енергії тіла між кінетичною та гравітаційною. У класичному випадку є можливість встановити цей розподіл для колового руху пробного тіла. Так, прирівнюючи відцентрову та доцентрову сили, отримуємо:

$$m_0 \frac{v_C^2}{r_C} = E_0 \frac{\beta_C^2}{r_C} = E_0 \frac{r_G}{2r_C^2}. \quad (5)$$

Із (5) видно, що $\beta_C^2 = r_G/(2r_C)$, тобто кінетична буде $E_K = E_0 \beta_C^2/4$, а потенціальна $E_G = E_0 r_G/(4r_C)$. Видно, що кінетична та потенціальна енергії пробного тіла на коловій орбіті однакові.

2. Енергія зв'язку

Аналогічно до підходу класичної механіки для кожної точки простору, де діє створена масою M сила f_N , введемо поняття енергії E_B гравітаційного зв'язку двох тіл, як різницю кінетичної та потенціальної енергій пробного тіла: $E_B = E_K - E_P$. У даному випадку, коли тіло масою m потрапляє в силове поле на нескінченній відстані від його центра сили з нульовою кінетичною енергією, енергія зв'язку $E_B = 0$. У загальному випадку кінетична енергія пробного тіла може бути довільною, тому $E_B \neq 0$.

2.1. *Класичний підхід.* У небесній механіці енергія зв'язку в системі двох тіл, де діє сила $f = f_N$ дорівнює: [1]:

$$E_B = E_0 \left(\frac{\beta^2}{2} - \frac{r_G}{2r} \right) = E_0 Z_B. \quad (6)$$

Тут Z_B – зведена (питома) енергія зв'язку. Перетворивши вираз для Z_B до однієї змінної, для еліптичної орбіти отримуємо $Z_B = -r_G / (4\langle r \rangle)$, де $\langle r \rangle$ – усереднене значення r за період T обертання пробної маси по орбіті. Тут $\langle r \rangle^2 = a^2 \sqrt{1 - \varepsilon^2}$, де a – довжина його великої півосі, а ε – ексцентриситет еліпса [1]. Характер траєкторії пробної частинки визначає знак питомої енергії зв'язку Z_B : при $Z_B > 0$ її траєкторія описуватиме гіперболу, при $Z_B = 0$ – параболу, а при $Z_B < 0$ – еліпс [1].

2.2. Релятивістський підхід. У релятивістській механіці

$$E_B = E_0(\gamma - 1) - E_0 \left(\exp\left(\frac{r_G}{2r}\right) - 1 \right) = E_0 \left(\gamma - \exp\left(\frac{r_G}{2r}\right) \right) = E_0 Z_{BR} = const. \quad (7)$$

Тут $Z_{BR} = \gamma - \exp(r_G / (2r))$. При $r \gg r_G$, що для планет виконується завжди (наприклад, для Землі r_G на 9 порядків менше її розміру), враховуючи лінійне наближення розкладу величини енергії зв'язку в ряд, у першому наближенні отримуємо: $\gamma \approx 1 + \beta^2 / 2$, а $\exp(r_G / (2r)) \approx 1 + r_G / (2r)$. Отже, в лінійному наближенні вираз (7) практично збігається з виразом (6), тому вважатимемо, що в релятивістській механіці $Z_{BR} \approx Z_B = -r_G / (4\langle r \rangle)$.

2.3. Релятивістські поправки для орбіти Меркурія. Обчислимо гравітаційну та кінематичну поправки до енергій пробного тіла на орбіті Меркурія з параметрами:

- гравітаційний радіус Сонця $r_G = 2,95$ км;
- середня орбітальна швидкість $\langle v \rangle = 47,87$ км/с;
- велика піввісь Меркурія $a = 5,79 \cdot 10^7$ км;
- ексцентриситет Меркурія $\varepsilon = 0,206$;
- період обертання навколо Сонця $T = 87,969$ земних діб ($2,78 \cdot 10^9$ с).
- Відповідно до наведених значень:
- питома кінетична енергія тіла $\frac{E_K}{E_0} = (1 - \beta^2)^{-2} - 1 \approx \frac{1}{2} \beta^2 = \frac{2,55}{2} \cdot 10^{-8}$,
- питома потенціальна енергія тіла $\frac{E_P}{E_0} = \exp\left(\frac{r_G}{2\langle r \rangle}\right) - 1 \approx \frac{r_G}{2\langle r \rangle} = 2,56 \cdot 10^{-8}$;
- питома енергія зв'язку $Z_B = \frac{E_K(v) - E_P(r)}{E_0} = -\frac{2,55}{2} 10^{-8}$.

3. Тестування підходу з гравітаційною масою

У [4], відповідно до закону збереження енергії, запропоновано ввести у формулі (2) для напруженості гравітаційного поля релятивістську поправку на гравітаційну масу тіла $m_G(r) = m \exp(r_G / (2r))$

$$\vec{g}_G = \vec{g}_N \exp\left(\frac{r_G}{2r}\right). \quad (8)$$

Корекція (8) для виразу (2) суто технічна, і зовсім не ставить під сумнів закон обернених квадратів І. Ньютона.

Як показує аналіз, при незмінній масі пробного тіла еліптичні траєкторії є стійкими. У релятивістському випадку, з рівняння руху [1]

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{g}_G - \frac{m}{c^2} (\vec{g}_G, \vec{v}) \vec{v}, \quad (9)$$

коли кінематична маса пробного тіла [3] залежить від швидкості руху, уся еліптична траєкторія буде повертатися в часі [1]. Другий доданок носить суто релятивістський характер і призводить до появи у замкненій системі моменту сили (його компенсує момент сили, що діє на

іншу масу). Розглянемо окремо вплив першого та другого доданка правої частини релятивістського рівняння (9) на швидкість зсуву перицентра її орбіти.

3.1 Вплив першого доданка при $\vec{g} = \vec{g}_N$. Рівняння руху тіла

$$m_0 \frac{d\vec{v}}{dt} = m_0 \vec{g}_N = -m_0 \frac{c^2 r_G}{2r^3} \vec{r} \quad (10)$$

в полярній системі координат має вигляд [1]

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - \omega^2 r = -\frac{c^2 r_G}{r^2}. \quad (11)$$

Розв'язком (11) буде еліптична траєкторія, для якої виконується умова [1]: $r^2 \omega = Z_0 = const$. Для середніх значень $\langle r \rangle$ та $\langle \omega \rangle = 2\pi / T$, де T – період обертання пробного тіла навколо центра сили, отримаємо зведений до одиниці маси пробного тіла момент імпульсу пробного тіла: $Z_0 = 2\pi a^2 \sqrt{1 - \varepsilon^2} / T$ (на орбіті Меркурія $Z_0 = 7,6 \cdot 10^{12}$ м²/с).

3.2 Вплив першого доданка при $\vec{g} = \vec{g}_G$. Рівняння руху буде:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{g}_G = -m \frac{c^2 r_G}{2r^3} \exp\left(\frac{r_G}{2r}\right) \vec{r}. \quad (12)$$

Оскільки для напруженості \vec{g}_G порушується закон обернених квадратів, орбіта пробного тіла не буде замкнутою. Для випадку $r \gg r_G$, провівши лінеаризацію експоненти $\exp(r_G/(2r)) \approx 1 + r_G/(2r)$, а аналогічно до (11) запишемо рівняння (12) в полярних координатах:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - \omega^2 r = -\frac{r_G c^2}{r^2} \left(1 + \frac{r_0}{2r}\right). \quad (13)$$

Розв'язок (13) буде накладанням двох рухів: замкненої еліптичної орбіти з умовою $r^2 \omega = Z_0 = const$, та повороту осей еліптичної орбіти з циклічною частотою:

$$\omega'_G = \frac{r_G}{2r} \omega. \quad (14)$$

Середня циклічна частота $\langle \omega'_R \rangle$ повертання перицентра орбіти для середніх значень $\langle r \rangle$ та $\langle \omega \rangle$ складе $\langle \omega'_R \rangle = \frac{r_G}{2\langle r \rangle} \frac{2\pi}{T}$. За період T відбудеться зсув перицентра орбіти пробного тіла на кут:

$$\delta\varphi_R = \frac{\pi r_G}{a} (1 - \varepsilon^2)^{-4} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ рад}. \quad (15)$$

За 100 років перицентр орбіти Меркурія її зміститься на кут 13,6", що втричі менше спостережуваної величини [1].

3.3. Момент сили. Перемноживши (11) векторно зліва на \vec{r} , виключимо з розгляду перший доданок у формулі (9). У результаті отримуємо вектор релятивістського моменту сили \vec{M}_R , що діє на пробну масу

$$\vec{M}_R = m \left[\vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} \right] = -\frac{m}{c^2} (\vec{g}_G, \vec{v}) [\vec{r} \times \vec{v}]. \quad (16)$$

Порівняємо вплив \vec{M}_R на швидкість повертання перигелію орбіти при різних значеннях напруженості гравітаційного поля.

3.4. Вплив другого доданка при $\vec{g} = \vec{g}_N$. Запишемо (16) у циліндричній системі координат

$$\frac{1}{\omega} \frac{d\omega}{dt} + \frac{2}{r} \left(1 + \frac{r_G}{2r}\right) \frac{dr}{dt} = 0, \quad (17)$$

розв'язком якого є вираз

$$r^2 \omega \exp\left(\frac{r_G}{2r}\right) = Z_2 = const. \quad (18)$$

Лінеаризуючи $\exp(r_G/(2r)) \approx 1 + r_G/(2r)$, отримаємо розв'язок, що є еліпсом, який повертається. Якщо для нерухомого еліпса виконується умова $r^2\omega = Z_0 = const$, то поворот осей еліптичної орбіти відбувається з циклічною частотою:

$$\omega'_{RN} = \frac{r_G}{2r} \omega. \quad (19)$$

3.5. Вплив другого доданка при $\vec{g} = \vec{g}_G$. Запишемо момент сили (16) для $\vec{g} = \vec{g}_G$, звідки отримаємо вираз

$$r^2\omega \exp\left(\frac{r_G}{r}\right) = Z_2 = const, \quad (20)$$

що дає середню швидкість повертання перичентра орбіти:

$$\langle \omega'_{RG} \rangle = \frac{r_G}{2\langle r \rangle} \langle \omega \rangle. \quad (21)$$

Отже, сумарний вплив першого та другого доданка у рівнянні руху (9) дають середню циклічну частоту повертання перичентра орбіти

$$\langle \omega' \rangle = \frac{3r_G}{2\langle r \rangle} \langle \omega \rangle, \quad (22)$$

де відношення усереднених частот дорівнює $\langle \omega' \rangle / \langle \omega \rangle = 1,5r_G / \langle r \rangle$, що для Меркурія відповідає зсуву перигелію на 40,8" за століття. Отже, в межах зроблених припущень, отриманий результат близький до астрономічних вимірів. У [4] показано, що крім орбітально-орбітальної взаємодії планет існує також власна орбітально-обертальна взаємодія, що для Меркурія дає зсув перигелію 0",4 за століття.

Висновки Показано, що при послідовному дотриманні законів збереження та врахуванні ефекту гравітаційних змін маси тала не існує жодних обмежень на використання альтернативного апарату релятивістської корпускулярної для аналізу руху планет. Підтверджено виконання закону обернених квадратів у законі Ньютона Всесвітнього тяжіння.

Список бібліографічного опису

1. Роузвер, Н.Т. Перигелий Меркурия. От Леверье до Эйнштейна – М.: Мир, 1985. 504 с.
2. Фок, В.А. Теория пространства, времени и тяготения – М.: Физматгиз, 1955.– 504 с.
3. Pasternak R. Means of the restrictions elimination of the space-time apparatus in relativistic mechanics. *Вісник ТНТУ*, № 1 (89), 2018, с. 64-71.
4. Пастернак Р., Пастернак М. Фактори, що впливають на швидкість повертання перичентра планет. *Вісник ТНТУ*, № 3 (67), 2012, с.75-81.

References

1. Rouzver, N.T. Peryhelyi Merkuryia. Ot Levere do Eynshteina – М.: Myr, 1985. 504 s.
2. Fok, V.A. Teoryia prostranstva, vremeny y tiahotyeniya – М.: Fyzmathyz, 1955.– 504 s.
3. Pasternak R. Means of the restrictions elimination of the space-time apparatus in relativistic mechanics. *Visnyk TNTU*, № 1 (89), 2018, s. 64-71.
4. Pasternak R., Pasternak M. Faktory, shcho vplyvaiut na shvydkist povertannia perytsentra planet. *Visnyk TNTU*, № 3 (67), 2012, s.75-81.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-14>

УДК 37.016:004.67-047.37

Поплавська Ганна Володимирівна, викладач

<https://orcid.org/0000-0002-1185-8868>

Комунальний заклад вищої освіти «Луцький педагогічний коледж» Волинської обласної ради, м. Луцьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ НА ЯКІСТЬ НАВЧАННЯ

Поплавська Г.В. Дослідження впливу цифрових засобів на якість навчання. У статті досліджується вплив цифрових засобів на якість навчання, описуються різні підходи до використання цифрових технологій в навчанні та розглядаються результати проведених досліджень на цю тему.

Ключові слова: цифрові засоби, якість навчання, інтерактивні технології, цифрові технології.

Poplavska G. Study of the impact of digital tools on the quality of education. The article examines the impact of digital tools on the quality of education, describes these different approaches to the use of digital technologies in education, and reviews the results of research on this topic.

Keywords: digital tools, quality of education, interactive technologies, digital technologies.

Постановка наукової проблеми

Незважаючи на зростаюче використання цифрових інструментів в освіті, бракує чіткого розуміння їх фактичного впливу на якість результатів навчання. Тому, у даній статті намагатимуся проаналізувати дослідження впливу цифрових інструментів на якість освіти та виявити потенційні переваги та недоліки їх використання в процесі навчання. На сьогоднішній день залишається риторичним питання: “Позитивний чи негативний вплив на академічну успішність та залучення студентів має інтеграція цифрових технологій у навчальний процес?”.

Проблемою, розглянутою в статті, є дослідження впливу цифрових інструментів на якість освіти. Зокрема, стаття спрямована на вирішення питань про те, чи призводить інтеграція цифрових технологій освітнього процесу до покращення результатів навчання, і якщо так, то яким чином ці покращення можна максимізувати. Стаття спрямована на визначення конкретних цифрових інструментів та стратегій, які є найбільш ефективними для підвищення якості освіти, а також бар'єрів та викликів, які можуть перешкоджати успішній інтеграції цих інструментів.

Актуальність досліджень впливу цифрових засобів на якість навчання полягає в тому, що в сучасному світі цифрові технології швидко розвиваються і стають все більш доступними для використання в навчанні. Використання цифрових засобів може покращити якість навчання, забезпечити більш інтерактивний та ефективний процес навчання, а також розширити можливості для доступу до навчання та розвитку знань та навичок.

Однак, використання цифрових засобів також може стати викликом для педагогічних працівників, учнів та студентів, оскільки вони можуть потребувати додаткової підготовки та навчання для ефективного використання цих засобів. Крім того, необхідно вирішувати питання щодо технічної підтримки, безпеки даних та конфіденційності, а також доступності для всіх користувачів цифрових засобів навчання.

Отже, актуальність досліджень впливу цифрових засобів на якість навчання полягає в тому, щоб зрозуміти, які цифрові технології можуть бути найбільш ефективними для покращення якості навчання, як перешкоди можуть бути подолані та як забезпечити успішне впровадження цих засобів в навчальний процес.

Аналіз досліджень. В Україні дослідження впливу цифрових засобів на якість навчання проводять багато наукових установ, університетів та науково-дослідних інститутів.

Наприклад, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова проводить дослідження щодо використання електронних навчальних ресурсів та онлайн-курсів у навчальному процесі.

Також, Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України займається дослідженням впливу цифрових засобів на якість навчання та розробляє інноваційні методики використання цифрових технологій у навчальному процесі.

Також, Центр розвитку інноваційних технологій у навчанні (CRIT) проводить дослідження та розробляє методичні рекомендації щодо використання цифрових засобів у навчальному процесі, а також надає підтримку педагогічним працівникам та учням у використанні цих засобів.

Крім того, в Україні існують багато компаній та стартапів, які розробляють та впроваджують цифрові платформи та інструменти для навчання, які активно досліджують та впроваджують інноваційні технології у навчальний процес.

В Україні також є багато вчених та науковців, які проводять дослідження впливу цифрових засобів на якість навчання. Деякі з них:

Наталя Морзе, доктор педагогічних наук, професор, яка займається проблемами використання цифрових технологій у навчальному процесі та розробляє методичні рекомендації для педагогів.[4]

Олександр Ковальов, доктор педагогічних наук, професор, який досліджує вплив інтерактивних технологій на якість навчання та розвиток критичного мислення учнів.[2]

Ірина Зінченко, кандидат педагогічних наук, доцент, яка займається дослідженням використання цифрових технологій у навчальному процесі та розробляє методику використання інтерактивних дошок у школах.[1]

Володимир Лазоришинець, кандидат технічних наук, доцент, який займається дослідженням використання віртуальної реальності у навчальному процесі.[3]

Формулювання цілей статті. Мета статті про вплив цифрових засобів на якість навчання полягає в тому, щоб дослідити, які цифрові інструменти та технології можуть покращити якість навчання та забезпечити більш ефективний та результативний процес навчання, а також дослідження викликів та перешкод, що можуть виникнути при використанні цифрових засобів в навчальному процесі та пропонування рекомендацій для їх подолання.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Дослідження впливу цифрових засобів на якість навчання є важливою темою, особливо, коли зростає вимога використання технологій у навчальному процесі. У цій статті ми розглянемо результати досліджень, які досліджують вплив цифрових засобів на якість навчання.

Дослідження показують, що використання цифрових засобів може покращити якість навчання. Наприклад, дослідження, проведене в Університеті Пердью (Purdue University) в США, показало, що студенти, які використовують цифрові матеріали, отримують вищі бали на іспитах, ніж ті, хто використовує традиційні підручники.

Крім того, дослідження показують, що використання цифрових засобів може збільшити зацікавленість студентів до навчання. Наприклад, вивчення інтерактивних ігор може збільшити зацікавленість учнів у вивченні математики.

Проте, деякі дослідження також показують, що використання цифрових засобів може мати негативний вплив на якість навчання. Наприклад, дослідження, проведене в Університеті Оксфорда (University of Oxford) в Великій Британії, показало, що студенти, які використовують цифрові пристрої під час лекцій, менш добре засвоюють матеріал, ніж ті, хто забуває про свої пристрої під час лекцій.

Отже, використання цифрових засобів може мати як позитивний, так і негативний вплив на якість навчання. Це залежить від того, які цифрові засоби використовуються, як вони використовуються і наскільки ефективно вони відповідають на пізнавальні процеси здобувачів освіти.

Одним із позитивних впливів цифрових засобів на навчання є збільшення доступності інформації для здобувачів освіти. Інтернет дозволяє швидко та легко знайти матеріали, які можуть бути корисними для навчання. Крім того, цифрові засоби можуть зробити навчання більш інтерактивним та забезпечити можливість для студентів спілкуватися та обмінюватися думками зі своїми колегами та викладачами.

Проте, є кілька потенційних негативних впливів використання цифрових засобів на навчання. Одним з них є відволікання від навчального матеріалу, коли студенти замість того, щоб слухати лекцію або читати підручник, витрачають час на соціальні мережі або інші розваги. Крім того, деякі студенти можуть відчувати дискомфорт під час використання цифрових засобів, особливо якщо вони не звикли до такого способу навчання.

Отже, використання цифрових засобів у навчанні має як позитивні, так і негативні аспекти. Для того, щоб забезпечити максимальний позитивний вплив на якість навчання, важливо правильно підібрати цифрові засоби та використовувати їх ефективно, з урахуванням особливостей конкретного навчального процесу та потреб здобувачів освіти.

Вибір найбільш ефективних цифрових засобів для навчання залежить від багатьох факторів, таких як вікові особливості, їхні здібності та попередній досвід користування технологіями, а також мета і цілі навчання.

У моїй практиці, одним із найбільш ефективних цифрових засобів, які впливають на якість навчання є відеоуроки та вебінари. Вони можуть допомогти здобувачам освіти зрозуміти матеріал краще, візуалізувати складні концепції та побачити приклади вживання знань у практичних ситуаціях. Крім того, можливість перегляду відеоуроку у будь-який зручний час може зробити навчання більш гнучким та доступним.

Ще одним ефективним засобом є інтерактивні підручники та ігрові платформи для навчання. Вони можуть забезпечити більш інтерактивний та забавний спосіб навчання, дозволяючи учням взаємодіяти з матеріалом та отримувати миттєвий зворотній зв'язок щодо їхнього рівня знань. Ігрові платформи для навчання можуть також допомогти здобувачам освіти розвивати навички розв'язування проблем, творчого мислення та співпраці.

Системи управління навчанням (LMS) та електронні портфоліо також можуть бути ефективними засобами для навчання. Вони дозволяють вчителям і учням організувати та зберігати інформацію про навчання, включаючи завдання, тести, проекти та інші матеріали. Це забезпечує можливість більш ефективної взаємодії між вчителями та учнями, а також дозволяє оцінювати рівень знань та навичок учнів. Крім того, LMS можуть включати різні інструменти для взаємодії між учнями та спільної роботи над проектами.

Інші ефективні засоби для навчання включають онлайн-тести, віртуальні лабораторії та симулятори, які можуть допомогти краще розуміти складні концепції та навички, особливо в науках та технічних дисциплінах.

Однак, вибір найбільш ефективного цифрового засобу для навчання має бути зроблений з урахуванням конкретних потреб та вимог кожної навчальної ситуації. Крім того, важливо враховувати технічні можливості та обмеження, доступність для здобувачів освіти та вчителів, а також забезпечення безпеки даних та конфіденційності відомостей.

Основні показники, які можуть бути використані для оцінки якості навчання з впровадженням цифрових засобів, включають:

- Результативність навчання: це показник, який відображає рівень знань та навичок, які здобули студенти. Його можна вимірювати за допомогою різних методів, наприклад, за допомогою тестів, оцінок робіт, екзаменів тощо.
- Успішність: це показник, який відображає кількість студентів, які успішно закінчили курс або отримали диплом.
- Задоволеність студентів: цей показник відображає, наскільки задоволені студенти процесом навчання та його результатами. Його можна вимірювати за допомогою опитувань або інших методів збору даних.
- Активність студентів: це показник, який відображає, наскільки активно студенти беруть участь у навчальному процесі, наприклад, скільки часу вони проводять на заняттях, скільки робіт вони виконують тощо.
- Рівень вільного часу: цей показник відображає кількість часу, який студенти мають для саморозвитку та відпочинку після закінчення навчального процесу.
- Продуктивність викладачів: це показник, який відображає ефективність викладачів у навчанні студентів. Його можна вимірювати за допомогою оцінок студентів, показників успішності груп, у яких викладачі працюють тощо.

Ці показники можна використовувати окремо або в комбінації для отримання більш повної картини якості навчання та ефективності застосування різних методів та технологій.

Нами було проведено аналіз досліджень впливу цифрових засобів на якість навчання різними навчальними закладами, використовуючи різні показники (таблиця 1):

Таблиця 1. Показники ефективності, які найбільше впливають на якість навчання, що використовувалися у дослідженні

Показник	Опис	Результати досліджень
----------	------	-----------------------

Використання інтерактивних методів навчання	Використання інтерактивних методів навчання за допомогою цифрових засобів (наприклад, відеоуроків, інтерактивних презентацій, вебінарів)	Учні, які використовували інтерактивні методи навчання, демонстрували кращі результати знань та розуміння матеріалу порівняно з тими, хто вивчав матеріал традиційними методами (Дослідження Інституту освіти НАПН України, 2020)
Формування самостійності та критичного мислення	Використання цифрових засобів для формування у студентів навичок самостійного пошуку та аналізу інформації, а також критичного мислення	Учні, які використовували цифрові засоби для формування навичок самостійності та критичного мислення, мали більш високий рівень володіння навичками, необхідними для подальшого навчання та розвитку (Дослідження Інституту інформаційних технологій та засобів навчання НАПН України, 2019)
Індивідуалізація навчання	Використання цифрових засобів для індивідуалізації навчання та адаптації його до потреб кожного учня	Учні, які використовували індивідуалізовані цифрові засоби для навчання, демонстрували кращі результати знань та більшу мотивацію до навчання порівняно з тими, хто вивчав матеріал традиційними методами (Дослідження Інституту педагогічної освіти та освіти дорослих НАПН України, 2021)
Адаптація до різних стилів навчання	Використання цифрових засобів для адаптації навчання до різних стилів навчання учнів	Учні, які використовували цифрові засоби, які адаптували навчання до їхніх стилів навчання, мали кращі результати знань та більшу мотивацію до навчання порівняно з тими, хто не мав можливості адаптувати навчання до свого стилю (Дослідження Національного університету «Києво-Могилянська академія», 2020)
Використання аудіовізуальних засобів	Використання цифрових аудіовізуальних засобів (наприклад, відео, аудіо) для покращення засвоєння матеріалу	Учні, які використовували аудіовізуальні засоби для навчання, мали кращі результати знань та більшу мотивацію до навчання порівняно з тими, хто вивчав матеріал тільки за допомогою тексту (Дослідження Інституту педагогічної освіти та освіти дорослих НАПН України, 2021)
Використання інтерактивних платформ	Використання інтерактивних цифрових платформ для співпраці та співпраці між учнями та викладачами	Учні, які використовували інтерактивні платформи для навчання, мали більшу мотивацію до навчання, більшу взаємодію з викладачами та іншими учнями та кращі результати знань (Дослідження Інституту освіти НАПН України, 2020)

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Отже, дослідження, проведені в Україні та за кордоном підтверджують, що використання цифрових засобів в навчальному процесі може покращити якість навчання.

Використання цифрових засобів в навчальному процесі може позитивно вплинути на якість навчання студентів. Результати досліджень показують, що цифрові технології можуть збільшити

зацікавленість здобувачів освіти, поліпшити їх розуміння матеріалу та забезпечити більш ефективне засвоєння знань.

Проте, успіх використання цифрових засобів залежить від правильного їх впровадження та використання. Необхідно розробляти інтерактивні та цікаві навчальні матеріали, які б відповідали педагогічним цілям курсу та потребам студентів та учнів. Також, важливо забезпечити достатню підтримку технічних засобів та професійний розвиток викладачів та вчителів для їх ефективного використання в навчальному процесі.

Отже, використання цифрових засобів може покращити якість навчання, проте, для досягнення успіху необхідно правильно впроваджувати та використовувати їх в навчальному процесі.

Список бібліографічного опису

1. Зінченко, І. М. Використання інтерактивних дошок у навчальному процесі: методичні аспекти. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Педагогіка», 2019, №31, с.45-49.
2. Ковальов, О. О. Використання інтерактивних технологій у навчальному процесі та розвиток критичного мислення учнів. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології, 2019, №9(1), с.123-134.
3. Лазоришинець, В. Використання віртуальної реальності у навчальному процесі: проблеми та перспективи. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Педагогіка», 2019, №31, с.56-61.
4. Морзе, Н. О. Використання цифрових технологій у навчальному процесі: проблеми, перспективи та рекомендації для педагогів. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Педагогіка», 2019, №31, с.50-55.
5. Журнал «Інформаційні технології і засоби навчання». URL: <https://journal.iitta.gov.ua/> (дата звернення 03.03.2023)
6. Національний центр інформаційно-освітніх ресурсів. URL: <https://iro.in.ua/> (дата звернення 01.03.2023)
7. Портал «Нова українська школа». URL: <https://nus.org.ua/> (дата звернення 03.03.2023)

References

1. Zinchenko, I. M. The use of interactive boards in the educational process: methodological aspects. Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". Series "Pedagogy", 2019, No. 31, p. 45-49.
2. Kovalev, O. O. The use of interactive technologies in the educational process and the development of students' critical thinking. Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies, 2019, No. 9(1), p. 123-134.
3. Lazoryshynets, V. Using virtual reality in the educational process: problems and prospects. Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". Series "Pedagogy", 2019, No. 31, p. 56-61.
4. Morse, N. O. Use of digital technologies in the educational process: problems, perspectives and recommendations for teachers. Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". Series "Pedagogy", 2019, No. 31, p. 50-55.
5. Magazine "Information technologies and teaching aids". URL: <https://journal.iitta.gov.ua/> (date of application 03.03.2023)
6. National Center of Information and Educational Resources. URL: <https://iro.in.ua/> (date of application 01.03.2023)
7. Portal "New Ukrainian School". URL: <https://nus.org.ua/> (date of application 03.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-15>

УДК 004.89

Проніна Ольга Ігорівна, к.т.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0001-7085-8027>**Палій Ігор Дмитрович**, магістр<https://orcid.org/0000-0003-3455-3204>

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро/Маріуполь, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ НАВЧАННЯ ДІТЕЙ РАННЬОЇ ГРАМОТНОСТІ

Проніна О. І., Палій І. Д. Використання доповненої реальності для навчання дітей ранньої грамотності.

Розвиток мовлення у ранньому дитинстві одна з актуальних проблем дошкільного виховання. Навчання мовленню не тільки гарантує легшу комунікацію із дорослими та однолітками, але й відіграє роль у неврологічному розвитку дитини. Ґрунтуючись на цьому твердженні доцільна розробка програмного забезпечення. Спираючись на аналіз проведений в роботі доцільним є використання доповненої реальності. Як інструменту за допомогою якого відбувається навчання ранньої грамотності. Робота присвячена побудові методу, що покладено в основу системи для навчання дітей дошкільного віку навичкам раннього розвитку. Описана математична модель розробленої системи. В роботі представлено результат експерименту, а саме експеримент по виявленню точності визначення елементів розпізнавання.

Ключові слова: доповнена реальність, інтерактивна навчальна система, навчання дітей дошкільного віку, система підтримки прийняття рішень.

Pronina O.I., Paliy I.D. Use of augmented reality for teaching children early literacy. Using augmented reality to teach children early literacy. The development of speech at an early age is one of the urgent problems of preschool education. Language learning not only guarantees easier communication with adults and peers, but also plays a role in a child's neurological development. Based on this statement, software development is appropriate. Based on the analysis carried out in the work, it is advisable to use augmented reality. As a tool through which early literacy is taught. The work is devoted to the construction of the method underlying the system for teaching preschool children the skills of early development. The mathematical model of the developed system is described. The paper presents the result of the experiment, namely the experiment to identify the accuracy of determining recognition elements.

Keywords: augmented reality, interactive educational system, education of preschool children, decision support system.

Постановка наукової проблеми. З розвитком програмного та апаратного забезпечення технології доповненої реальності активно застосовуються у багатьох напрямках: рекламі, розвагах (іграх), маркетингу, медицині, інженерії та багато інших. Як відомо, найкращі технології впроваджуються у навчальні процеси, як основу розвитку суспільства. Дошкільна освіта відіграє важливу роль у неврологічному розвитку дітей раннього віку. Дослідники вважають, що неврологічне розвиток значною мірою залежить від навчання, яке відбувається в ранні роки життя, і що мозок маленької дитини потребує певних типів стимуляції для нормального розвитку. Така стимуляція уможливує певні види навчання, коли дитина йде до школи. Це також збільшує нервові зв'язки дитини, які відповідають за соціальний, емоційний та інтелектуальний розвиток. Таким чином, дошкільна освіта спирається на широкий спектр кінестетичних, тактильних, слухових та нюхових дій, що стимулюють розвиток мозку дитини повною мірою [1].

За допомогою мовлення у дітей розвиваються такі операції мислення, як аналіз, синтез, порівняння, абстрагування, класифікація. Завдяки мовленню діти засвоюють операції дедукції (поодинокі факти підводять до загального) та індукції (загальний висновок пристосовують до поодиноких фактів).

Одною із найважливіших базових навичок, що починає формуватися у перші місяці життя дитини, є мовлення. У міру зростання й розвитку дитина вимовляє спочатку окремі звуки, потім прості слова такі, як «мама», «баба», «дай». Розвиток мовлення – особливий та не менш важливий процес, ніж самостійне ходіння.

Перші три-чотири роки життя дитини, є вирішальними в розвитку мовлення та закладають основи для майбутнього словотворення та говоріння дитини. Увесь необхідний розвиток дитина може отримати в середовищі, де вона чує звуки та мовлення інших людей. Саме у період до трьох років діти краще всього сприймають та засвоюють мовлення, тому батькам необхідно підтримувати та сприяти нормальному розвитку своєї дитини.

Окрім того, у ранньому віці зростає навантаження на центральну нервову систему дитини, що створює сприятливі умови для порушення мовленнєвого розвитку або втрати вже існуючого мовлення.

Дефіцит спілкування з батьками та іншими дітьми, недостатній час знаходження у суспільстві, під час дитинства, сприяє виникненню мовлених розладів та розвитку дефектів вимови та артикуляції деяких звуків. У найгірших випадках, спостерігається затримка у розвитку.

Мета дослідження. Метою даної роботи є розробка методу, що покладено в розроблену систему, а також розробка і перевірка адекватності роботи системи раннього розвитку дитини реалізованої на основі доповненої реальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У сучасному світовому суспільстві одним із пріоритетних напрямів розвитку освіти є впровадження інформаційних технологій. У роботі [2] розглядаються результати багатьох актуальних наукових досліджень у галузі застосування ІТ в освіті, а також стан і тенденції розвитку інформаційних технологій в Україні. Окрім того автор статі розглядає як позитивні наслідки впровадження інформатизації у навчання (підвищення ролі знань, глобалізація свідомості тощо), так і негативні (залежність від Інтернету, послаблення соціальних зв'язків та посилення соціальної відокремленості). Результатом цієї роботи є виведений перелік сучасних світових тенденцій розвитку інформатизації освіти та формулювання актуальних напрямів подальшої розробки окресленої, у роботі, проблеми.

У наслідок пандемії COVID-19, дистанційне навчання, з використанням хмарних технологій, набуло значного розповсюдження. У роботі [3] розглядаються проблеми та проводиться аналіз результатів, отриманих з використанням електронної системи навчання «Smart Kids». Система використовувалась у 2017-2020 роках для школярів 1 - 4 класів та засновувалась на методиці використання електронних освітніх ресурсів і віртуального кабінету вчителя. Автор цієї роботи проводить дослідження експерименту по впровадженню системи «Smart Kids» у початкові навчальні заклади України. Провівши аналіз результатів та опитування вчителів, автор робить висновок, що впровадження та використання даної технології є позитивним прикладом забезпечення безперервного та якісного навчання.

У іншій роботі [4] автор, базуючись на досвіді створення і впровадження електронних підручників, робить висновок о необхідності розробки систем, які дозволяють проводити інтерактивну взаємодію з суб'єктом навчання.

В свою чергу, автор роботи [5] проводить аналіз AR-технології, її призначення та функції. В своїй роботі він демонструє, що використання доповненої реальності може поліпшити процес навчання завдяки візуалізації поданої інформації та відтворення деяких процесів для наочного уявлення в реальних розмірах і можливостях. В роботі виділено переваги і недоліки технології доповненої реальності.

Робота [6] розглядає методи та переваги використання мультимедійних технологій у процесі навчання. Автор наводить ряд мультимедійних засобів (наприклад, електронні презентації, електронні посібники, відеоматеріали), та їх сприяння на процес отримання знань. У висновках роботи, автор указує на проблему відставання сучасних методів освіти від тенденцій сучасного інформаційного суспільства. У якості інструменту вирішення проблеми, автор презентує мультимедійний програмно-методичний комплекс для розвитку професійної педагогічної компетентності викладачів.

Автор роботи [7] вивчає можливість впровадження технології віртуальної реальності у процес вивчення комп'ютерних технологій у середній школі. У для дослідження були розроблені інтерактивні додатки віртуальної реальності «Excel on a forest glade» та «Tower of Nanoi». Розроблене програмне забезпечення було спрямоване на засвоєння та вивчення базових понять та алгоритмів, що використовуються у комп'ютерних науках. Аналітика результатів навчання проводилась за показником середньої оцінки учнів. У результаті роботи було доведено ефективність навчання за допомогою методів віртуальної реальності. Також за опитування учнів, було виведено високий рівень зацікавленості дітей у навчанні з використанням VR.

Стаття [8] проводить порівняння між використанням друкованих підручників і матеріалів з електронними матеріалами з метою підвищення ефективності використання останніх. Автор статі відзначає, що електронні підручники сприяють кращому засвоєнню матеріалу та наділені більш високим

рівнем наочності викладеного матеріалу. На думку автора, завдяки таким можливостям як автоматизований пошук у тексті, зворотній зв'язок з викладачем та наявність відео, або анімаційних матеріалів, електронні підручники позитивно впливають на розвиток та формування інформаційної компетентності у учнів.

Однак у роботі [9] розглядаються значні недоліки використання ІКТ, їх негативний вплив на зростаючий організм та слабкі сторони організації процесу навчання. Автор попереджує про можливе розвинення психічних проблем, проблем з мисленням та розвинення хвороби очей. Окрім того, в статті вказується на проблеми з сучасним поданням інформації у електронному вигляді, її великий об'єм та недостовірність більшості джерел. Через це, поширюються випадки, коли учні засвоюють неповний або невірний матеріал. У висновку автор наголошує, що при будь-якому методі навчання, головним повинен бути результат засвоєння інформації, а не вигляд подачі матеріалу.

Робота [10] розглядає ризики використання технологій AR/VR у навчанні, вивчає вплив на продуктивність учня та можливість виникнення кіберхвороб. Автор аналізує причини виникнення кіберхвороби при використанні віртуальної реальності та описує модель когнітивної активності у штучній середі навчання. У результаті було виявлено, що чим більш захоплюючим є віртуальний досвід, тим активніше працюють нейрофізичні підсистеми людини. Саме тому, автор підкреслює важливість пом'якшення ефекту кіберхвороби, тому як вироблення імунітету до неї може затягнутися на декілька часів, критичних у процесі навчання.

Робота [11] спрямована на доведення позитивного впливу додатків доповненої реальності на дітей дошкільного віку. Автор розглядає AR додатки, як можливість розвинути такі навички, як просторове мислення, читання, художні навички, музикальні навички та вивчення іноземної мови. Гнучкість розробки таких додатків дозволяє програмувати різні інтерактивні сценарії, які дозволяють одночасно безперервно взаємодіяти з реальним та віртуальними об'єктами. У роботі, автор спирається на думку, що у сучасному повсякденному житті діти кожен день перетинаються з ІКТ, які частіше мають розважальний напрямок. Тому впровадження доповненої реальності у навчання може перемикнути увагу дитини на більш продуктивний напрямок.

Аналізуючи сучасну літературу, можна зробити висновок, що у нинішніх тенденціях розвитку інформаційно комунікативних технологій в навчанні, бажано починати пристосовувати дітей до сучасних моделей отримання знань ще з дошкільного віку. Використання доповненої реальності допоможе з досягненням цієї задачі завдяки наступним перевагам:

- інтерактивності додатку носить ігровий характер;
- дизайн додатків привабливий для дітей раннього віку;
- додатки мають високу наочність, що сприяє ліпшому запам'ятовуванню;
- додатки мають широкий простір для реалізації різних сценаріїв та напрямків навчання.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Для опису побудови доповненої реальності була розроблена наступна математична модель представлена у вигляді неорієнтованого графу. Це необхідно для ілюстрації зв'язку між об'єктами реального світу та доповненими. Математична модель реалізації доповненої реальності за допомогою зображень-маркерів має наступний вигляд:

$$G = \{V, E\}; V\{v_{i1}\}, E\{e_{i2}\}, i1 \in D, i2 \in 1 \dots k, \quad (1)$$

де V – множина вершин графу ($a, r \in V$);

E – множина ребер графу ($e \in E$);

D – множина об'єктів у базі даних;

a – об'єкти доповненої реальності;

r – об'єкти реального світу (отримані з камери).

У якості вершин графу виступають реальні об'єкти та доповнені, тоді як ребрами є зв'язок між ними. Така модель є узагальненою графовою моделлю. Формула для отримання графової моделі виглядає наступним образом:

$$\forall a_k(o, s) \in obj, \forall r_k(m, l) \in scrn, k = 1 \dots D, \quad (2)$$
$$G = \{V \cup a_k(m, o) \cup r_k(m, l), E \cup (a_k, r_k)\},$$

де *scrn* – сутність реального світу отримана камерою;

m – множина маркерів на одному елементі зображення;

l – яскравість елемента зображення;

obj – віртуальна сутність на екрані;

o – віртуальний об'єкт представлений у вигляді 3D моделі;

s – звукове супроводження до окремого об'єкту.

Варто зазначити, що координати (o, s) та (m, l) закріплюються за вершинами a_k та r_k відповідно. І у разі видалення цих вершин місце з координатами (o, s) та (m, l) та залишається порожнім.

Для розробки системи освітнього додатку з використанням доповненої реальності було виявлено три основні етапи:

– отримання зображення карток камерою мобільного пристрою, обробку та розпізнавання технологією *image tracking*;

– 3D візуалізацію відносно отриманих даних з карток;

– обробка вводу та синтез мови відносно даних отриманих с карток.

Кожен з етапів має свої кроки. Першим кроком процесу відстеження маркера є виявлення контурів потенціальних маркерів, а потім визначення розташування кутів маркера на зображенні. Крім того, система виявлення повинна підтвердити, що це дійсно маркер, і розшифрувати його ідентичність. Нарешті, система обчислює позу, використовуючи інформацію з виявленого розташування маркера.

Основна процедура виявлення маркера складається з наступних кроків:

1) Отримання зображення: отримання зображення інтенсивності.

2) Попередня обробка: нижчий рівень обробки зображення; не спотворення; виявлення/підгонка лінії; виявлення кутів маркера.

3) Виявлення потенційних маркерів: швидке відторгнення «хибних» маркерів; швидкий приймальний тест на потенційні маркери.

4) Ідентифікація та розшифрування маркерів: аналіз відповідності шаблону (маркери шаблону); декодування (маркери даних).

5) Розрахунок пози маркера: оцінка положення маркера; ітераційний розрахунок пози для точної пози.

Основна ідея доповненої реальності полягає в тому, щоб представити віртуальні об'єкти в реальному середовищі так, ніби вони є його частиною. Поза камери використовується для відтворення віртуального об'єкта у правильному масштабі та перспективі. Віртуальна камера комп'ютерної графіки переміщується в ту саму позу, що й реальна камера, а віртуальні об'єкти відображаються поверх реального зображення, рисунок 1.

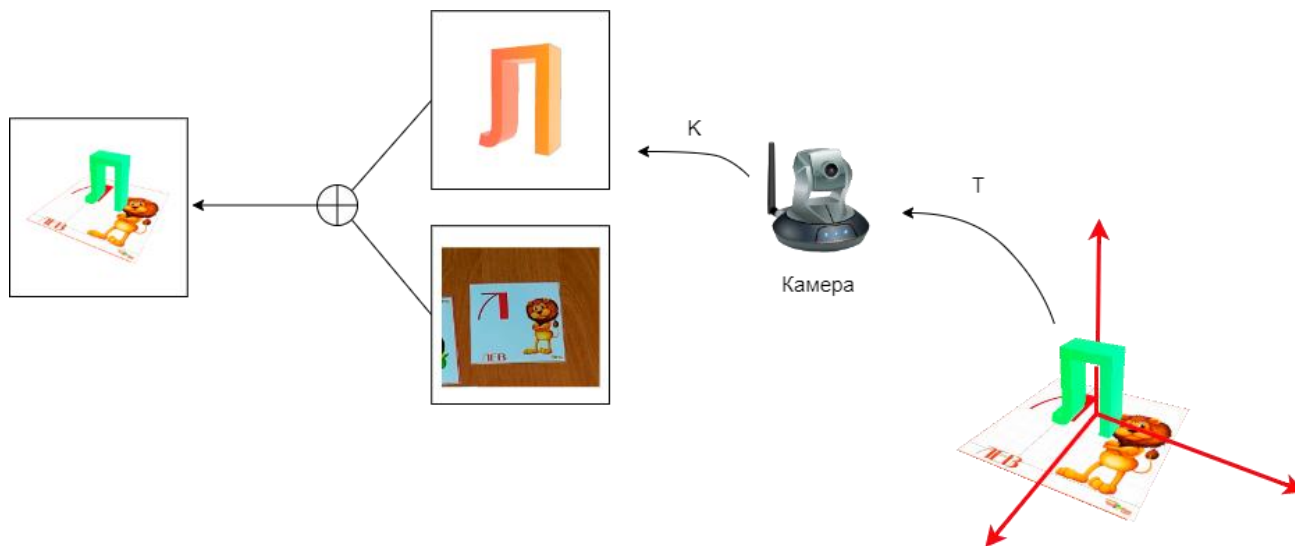


Рис. 1 – Доповнення зображення з початку координат

Якщо віртуальний об'єкт візуалізується за допомогою матриці трансформації камери T і матриці камери K , він з'являється в початку координат у тій самій орієнтації, що й осі координат. Якщо система хоче відобразити об'єкт у іншій позі, їй потрібно додати T_{object} матрицю до об'єкту у конвеєрі візуалізації, рисунок 2.

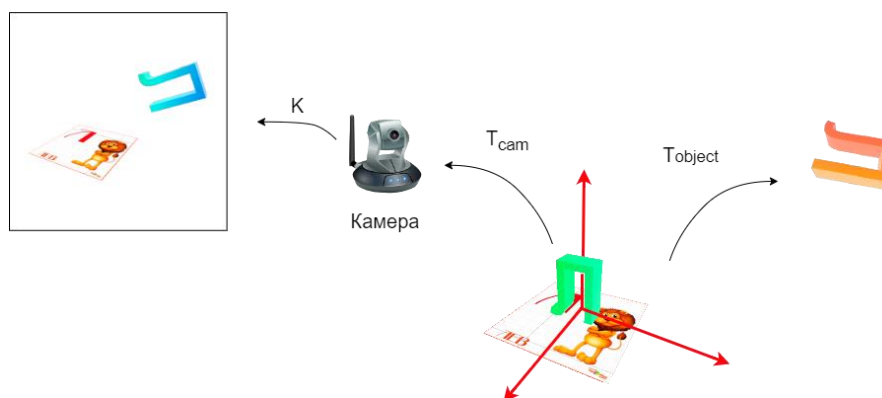


Рис. 2 – Доповнення зображення у загальних розташуванні та орієнтації

Якщо і камера, і маркер рухаються, система відстеження може визначити відносно положення камери та маркера, але абсолютне положення (відносно до земних координат) залишаться невідомими. Іноді для орієнтування об'єкта зручно використовувати додаткові технології. Система може використовувати у такому випадку акселерометр, який є вбудованим датчиком у більшості нових смартфонів (наприклад, iPhone 4G). Акселерометр забезпечує вектор гравітації в системі координат телефону. Завдання полягає в тому, щоб перетворити його координати у світову систему координат (зміна базису координат), а потім повернути світову вісь z паралельно протилежному вектору гравітації. Додатку потрібно додати це обертання R у конвеєр візуалізації. Подібним чином програма може орієнтувати додаток відповідно до даних координат цифрового компасу.

Система, в основі якої лежить розроблений метод складається з наступних елементів: модуль розпізнавання маркерів, база даних маркерів, графічний інтерфейс, база даних 3D моделей та аудіо матеріалів, модуль взаємодії користувача з доповненими елементами. За основу було взято міжплатформене середовище розробки 3D додатків Unity.

Для виявлення точності визначення елементів розпізнавання був проведений експеримент. Для цього було згруповано склади, що утворюються літерами українського алфавіту. На першому етапі навчання, дитина вивчає склади, що складаються з двох літер. Для навчання дитини читанню у ранніх

роках бажано починати вивчення з приведених нижче складів, оскільки вони простіше в освоєванні, та в більшій кількості використовуються в перших словах. Для експерименту склади були поділені на наступні класи:

- перший клас: ма, мо, му, ме, мє, ми, мі, мю, мя, мі;
- другий клас: ба, бо, бу, бе, бє, би, бі, бю, бя, бі;
- третій клас: па, по, пу, пе, пє, пи, пі, пю, пя, пі;
- четвертий клас: да, до, ду, де, дє, ди, ді, дю, дя, ді;
- п'ятий клас: та, то, ту, те, тє, ти, ті, тю, тя, ті;
- шостий клас: ка, ко, ку, ке, кє, ки, кі, кю, кя, кі;
- сьомий клас: на, но, ну, не, нє, ни, ні, ню, ня, ні;
- восьмий клас: ла, ло, лу, ле, лє, ли, лі, лю, ля, лі;
- дев'ятий клас: ва, во, ву, ве, вє, ви, ві, вю, вя, ві;
- десятий клас: за, зо, зу, зе, зє, зи, зі, зю, зя, зі;
- одинадцятий клас: са, со, су, се, сє, си, сі, сю, ся, сі.
- дванадцятий клас: всі літери українського алфавіту;
- тринадцятий клас: цифри від одного до десяти;
- чотирнадцятий клас: тварини сільського господарства.

У таблицю 1 були записані результати тестування кожного з отриманих класів. Експеримент проводився в умовах різного освітлення, тому як час необхідний на розпізнавання зображення-маркеру залежить від освітленості зображення яке фіксується камерою. Окрім того на швидкість та стабільність роботи доповненої реальності впливають такі фактори як: фокусна відстань камери; якість зображення, отриманого камерою; кількість маркерів та їх відстань до камери; якість самого маркеру, яка визначається кількістю та густиною ключових точок на зображенні.

Таблиця 1 – Результат експерименту, спрямованого на виявлення точності визначення елементів розпізнавання

Клас	Кількість елементів	Точність розпізнавання, %	Час розпізнавання, с
Перший клас	12	99.45	0.1 – 0.5
Другий клас	12	99.3	0.1 – 0.33
Третій клас	12	98.7	0.1 – 0.32
Четвертий клас	12	99.2	0.1 – 0.33
П'ятий клас	12	99.1	0.1 – 0.31
Шостий клас	12	99.4	0.1 – 0.33
Сьомий клас	12	99.6	0.1 – 0.34
Восьмий клас	12	99.85	0.1 – 0.35
Дев'ятий клас	12	99.1	0.1 – 0.39
Десятий клас	12	98.15	0.1 – 0.36
Одинадцятий клас	12	99.35	0.1 – 0.32
Дванадцятий клас	31	98.65	0.1 – 0.31
Тринадцятий клас	10	70.4	0.2 – 1.45
Чотирнадцятий клас	5	80.1	0.15 – 1.1

На рис. 3 зображена діаграма точності розпізнавання класів, яка відображує дані отримані у табл. 1.

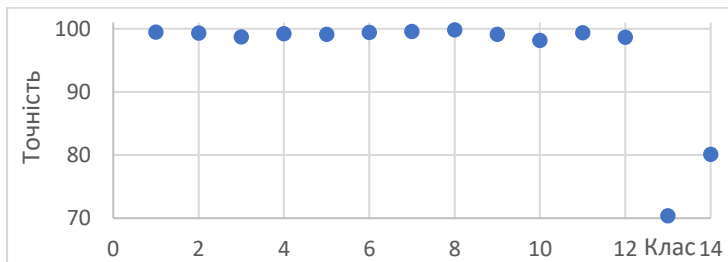


Рис. 3 – Діаграма точності розпізнавання класів

З діаграми ми бачимо що класи тринадцять та чотирнадцять розпізнаються гірше ніж класи один, чотири або десять. Це обумовлено тим, що зображення маркери, які використовувались для закріплення доповнених об'єктів, мають недостатню кількість ключових точок, за якими система порівнює зображення отримане з камери з зображенням у базі даних. Також класи, які репрезентують склади, відрізняються саме за цими показниками. Тобто для розпізнавання цілого складу системі необхідно окремо розпізнати кожен літеру і лише потім отримати сумарний результат.

Аналізуючи отримані результати можна помітити, що система працює стабільно, час розпізнавання у середньому варіюється в межах від 0,1 с до 0,31 с. Точність розпізнавання є більшою за 90 %, і лише два класи показують точність меншу. Це обумовлено специфікою об'єктів.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У результаті роботи був розроблено метод відстеження зображень-маркерів для побудови доповненої реальності. А також наведено математичну модель, яка покладена в основу системи, що дозволяє навчати дітей ранній грамотності. Розроблений метод включає в себе три основні етапи: отримання зображення карток камерою мобільного пристрою, обробку та розпізнавання технологією image tracking; 3D візуалізацію відносно отриманих даних з карток; обробка вводу та синтез мови відносно даних отриманих с карток. Кожен з цих етапів складається з додаткових кроків. Експериментальні дослідження для виявлення точності визначення елементів розпізнавання показали, що отримані дані, щодо точності розпізнавання, можна зробити наступний висновок: у нормальних умовах, тобто при достатньому освітленні, середня точність розпізнавання маркеру дорівнює 95,7%, а час необхідний для розпізнавання 0,11 секунд. Тобто система працює стабільно та швидко, якщо на неї немає впливу серйозних зовнішніх умов.

Розроблена математична модель реалізації доповненої реальності за допомогою зображень-маркерів та метод, що покладені в основу системи з доповненою реальністю дозволяють навчати дітей дошкільного віку (1-5 років) ранній грамотності. Необхідність навчати дітей обумовлено впливом раннього мовлення на майбутній розвиток дитини та необхідністю раннього навчання мовленню. Система дозволяє вивчати літери, цифри та тварин, крім цього в системі передбачено можливість озвучення складів для розвитку навичок читання у дитини. В системі використовується також озвучення назв цифр, та для тварин, звуків які вони видають. Всі матеріали були створені та підібрані з урахуванням вимог до методик раннього розвитку дітей. Таким чином впровадження розробленої системи дозволить зацікавити дітей, та навчити їх читати по складам. Що в свою чергу може підвищити зацікавленість до навчання в школі, та полегшати навчання в початковій школі.

Список бібліографічного опису

1. Nirmala Rao Early child development in low- and middle-income countries: Is it what mothers have or what they do that makes a difference to child outcomes? / Rao Nirmala, Cohrsen Caroline, Sun Jin, Su // *Advances in Child Development and Behavior*, Vol. 61, June 2021, p. 255-277, <https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2021.04.002>
2. Тарнавська Т. В. Сутність інформаційних технологій в освіті / Т. В. Тарнавська. // *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Педагогічні науки.* - 2013. - Вип. 108.1. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchdpuP_2013_1_108_31.
3. Svitlana Lytvynova, Nataliia Demeshkant. Distance Learning in Primary School During the COVID 19 Pandemic: Results of the "SMART KIDS" Experiment. – *ICTERI 2021*, p. 1–10.
4. Шамо́ня В. Г. Використання ІТ в освіті: аналіз напрацювань наукової лабораторії при кафедрі інформатики СумДПУ ім. Макаренка / В. Г. Шамо́ня, А. П. Шипиленко // *Фізико-математична освіта. Науковий журнал* – 2015. – Випуск 3 (6). – С. 119-130.
5. Єфімов Д. В. Використання доповненої реальності (AR) в освіті. *Вісник Запорізького національного університету. Педагогічні науки.* Вип. 2, 2021. – С. 219-225, <https://doi.org/10.26661/2522-4360-2021-1-2-34>.
6. Пироженко Ю., Використання мультимедійних технологій в освіті / Ю., Пироженко, Т. Бурласко //

Інформаційно-ресурсне забезпечення освітнього процесу в умовах діджиталізації суспільства : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 11 листопада 2020 р. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2020. – С. 320-323.

7. Klochko O.V., Tkachenko S. V., Babiichuk I. M., Fedorets V. M., Galych T. V. Using Virtual Reality Technologies for Teaching Computer Science at Secondary School. – ICTERI 2021, p. 467-479.

8. Єсіна О. Г. Електронний підручник як засіб підвищення якості освіти / О. Г. Єсіна, Л. М. Лінгур // Теорія та методика електронного навчання: збірник наукових праць. – Кривий Ріг: НМетАУ, 2011. – Вип. II. – С. 255-260.

9. Мотузенко Н.Д., Негативні сторони використання інформаційнокомунікаційних технологій на уроках у школі / Н. Д. Мотузенко, Ю. О. Полукаров // Матеріали вісімнадцятої всеукраїнської науково-методичної конференції. – 2018, С. 181-184.

10. Oleksandr Burov, Olga Pinchuk. Extended Reality in Digital Learning: Influence, Opportunities and Risks' Mitigation. – ICTERI 2021, p.119 – 128.

11. Aydoğdu, F., & Kelpšiene, M. (2021). Uses of Augmented Reality in Preschool Education. International technology and education journal, 5(1), p. 11 – 20.

References

1. Nirmala Rao Early child development in low- and middle-income countries: Is it what mothers have or what they do that makes a difference to child outcomes? / Rao Nirmala, Cohrssen Caroline, Sun Jin, Su // Advances in Child Development and Behavior, Vol. 61, June 2021, p. 255-277, <https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2021.04.002>

2. Tarnavs'ka T. V. Sutnist' informatsiynykh tekhnolohiy v osviti / T. V. Tarnavs'ka. // Visnyk Chernihivs'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu. Pedahohichni nauky. – 2013. – Vyp. 108.1. - Rezhyim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchdpuP_2013_1_108_31.

3. Svitlana Lytvynova, Nataliia Demeshkant. Distance Learning in Primary School During the COVID 19 Pandemic: Results of the "SMART KIDS" Experiment. – ICTERI 2021, p. 1–10.

4. Shamonya V. H. Vykorystannya IT v osviti: analiz napratsyuvan' naukovoyi laboratoriyi pry kafedri informatyky SumDPU im. Makarenka / V. H. Shamonya, A. P. Shypylenko // Fyzyko-matematychna osvita. Naukovyy zhurnalyu – 2015. – Vypusk 3 (6). – S. 119-130.

5. Yefimov D. V. Vykorystannya dopovnenoyi real'nosti (AR) v osviti. Visnyk Zaporizhs'koho natsional'noho universytetu. Pedahohichni nauky. Vyp. 2, 2021. – S. 219-225, <https://doi.org/10.26661/2522-4360-2021-1-2-34>.

6. Pyrozhenko Y.U., Vykorystannya mul'tymediynykh tekhnolohiy v osviti / Y.U., Pyrozhenko, T. Burlayenko // Informatsiyno-resursne zabezpechennya osvith'oho protsesu v umovakh didzhytalizatsiyi suspil'stva : zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi nauково-praktychnoyi konferentsiyi, 11 lystopada 2020 r. – Kyiv : Naukovo-metodychnyy tsentr VFPO, 2020. – С. 320-323.

7. Klochko O.V., Tkachenko S. V., Babiichuk I. M., Fedorets V. M., Galych T. V. Using Virtual Reality Technologies for Teaching Computer Science at Secondary School. – ICTERI 2021, p. 467-479.

8. Yesina O. H. Elektronnyy pidruchnyk yak zasib pidvyshchennya yakosti osvity / O. H. Yesina, L. M. Linhur // Teoriya ta metodyka elektronnoho navchannya: zbirnyk naukovykh prats'. – Kryvyy Rih: NMetAU, 2011. – Vyp. II. – S. 255-260.

9. Motuzenko N.D., Nehatyvni storony vykorystannya informatsiynokomunikatsiynykh tekhnolohiy na urokakh u shkoli / N. D. Motuzenko, YU. O. Polukarov // Materialy visimnadtsyatoyi vseukrayins'koyi naukovo-metodychnoyi konferentsiyi. – 2018, S. 181-184.

10. Oleksandr Burov, Olga Pinchuk. Extended Reality in Digital Learning: Influence, Opportunities and Risks" Mitigation. – ICTERI 2021, p.119 – 128.

11. Aydoğdu, F., & Kelpšiene, M. (2021). Uses of Augmented Reality in Preschool Education. International technology and education journal, 5(1), p. 11 – 20.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-16>

УДК 001.76:37

Романюк Павло Іванович, Senior Programmer/Developer

<https://orcid.org/0000-0003-3821-2183>

Capgemini America Inc.

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Романюк П.І. Хмарні технології: аналіз, перспективи, реалізації. Стаття присвячена дослідженню особливостей реалізації та перспектив використання хмарних технологій в освітньому процесі. Розглянуто поняття «хмарних технологій». Визначено, що під «хмарною технологією» розуміється модель, яка дає змогу об'єднувати інформаційно-технологічні ресурси різних апаратних забезпечень в єдине ціле та надавати користувачеві доступ до них через локальну мережу або глобальну мережу Internet. Встановлено, що хмарні технології пропонують альтернативу традиційним формам організації навчального процесу, створюючи можливості для персонального навчання, інтерактивних занять та колективного викладання. Визначено, що «хмари» мають свої переваги та недоліки. Проведено їх дослідження в навчальному процесі. Відмічено, що поширення хмарних технологій ставить перед освітнім середовищем завдання інтеграції хмарних сервісів у систему освітнього закладу, перегляду своєї IT-інфраструктури та впровадження інноваційних технологій у освітній процес. Досліджено основні компетентності здобувача освіти, які можуть бути сформовані у хмарному середовищі. Здійснено короткий огляд найпоширеніших хмарних платформ, які сьогодні застосовуються у системі вищої освіти. Окреслено перспективи їх використання. Зазначено, що використання хмарних технологій закладами вищої освіти – перспективний напрямок у сфері вищої освіти, що дозволяє підвищити ефективність вищої освіти та знизити витрати. Зазначено, що за допомогою хмарних технологій здійснюється швидкий та безпечний доступ до сервісів, які використовуються у навчальному процесі. Використання хмарних технологій дає навчальним закладам значну конкурентну перевагу над іншими навчальними закладами, які не повністю використовують сучасні технології.

Ключові слова: хмарні технології, хмарні сервіси, інформація, навчальний процес, Інтернет-сервіс.

Romaniuk P. Cloud technologies: analysis, perspectives, implementations. The article is devoted to the study of the peculiarities of the implementation and prospects of using cloud technologies in the educational process. The concept of "cloud technologies" is considered. It has been established that cloud technologies offer an alternative to traditional forms of organization of the educational process, creating opportunities for personal learning, interactive classes and collective teaching. It was determined that "clouds" have their advantages and disadvantages. Their study was conducted in the educational process. The main competencies of the student of education, which can be formed in the cloud environment, have been studied. A brief review of the most common cloud platforms that are used in the higher education system today is carried out. The prospects of their use are outlined. The use of cloud technologies by institutions of higher education is a promising direction in the field of higher education, which allows to increase the efficiency of higher education and reduce the costs of its maintenance. With the help of cloud technologies, fast and secure access to services used in the educational process is provided. The use of cloud technologies gives educational institutions a significant competitive advantage over other universities that do not fully use modern technologies.

Keywords: cloud technologies, cloud services, information, educational process, Internet-service.

Постановка проблеми та аналіз досліджень. В умовах стрімкої комп'ютеризації інформаційні технології набувають все більшої популярності і практично стали обов'язковою технологією кожного ЗВО. Вони мають значний потенціал і забезпечують ефективні можливості для навчального закладу, оскільки дають змогу передавати до мережі Інтернет навчально-методичну документацію, теоретичні та практичні завдання, контролювати виконання практичних завдань, планувати навчальний процес та позааудиторну діяльність.

Саме тому нині для зниження навантаження на внутрішні ресурси все більше закладів освіти переносять свої розрахунки та обробку даних з персональних комп'ютерів та серверів навчальних закладів до «хмар».

Доцільність впровадження хмарних технологій у навчальний процес обґрунтовано у працях таких вітчизняних та зарубіжних вчених, як: О. Андрощук [1], В. Биков, І. Войтович, С. Денисенко [3], Н.Кузьмінська, Н. Al-Samarrate [6], S. Dilip Pawar [4], T. Grance [8], P.M. Mell [8], N. Saeed [6] та ін.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Незважаючи на велику кількість наукових досліджень, вважаємо за необхідне продовжити дослідження в цьому напрямку, оскільки хмарні технології ще інтенсивно розвиваються та впроваджуються в навчальний процес навчальних закладів та потребують детального вивчення на предмет їх використання в навчальному процесі.

Формулювання мети дослідження.

Метою статті є здійснення загального аналізу особливостей впровадження хмарних технологій в навчальне середовище закладів вищої освіти та вивчення перспектив їх використання.

З цією метою в даній статті:

- розглянуто поняття хмарних технологій;
- оцінено переваги недоліки використання хмарних технологій в навчальному процесі ЗВО;
- окреслено перспективи їх використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Інтернет надає сучасному користувачеві різноманітні послуги для зберігання інформації. Ці послуги, в свою чергу, впливають й освіту, відкриваючи безліч можливостей удосконалення та інтенсифікації освітнього процесу, стимулюючи появу нових методик навчання.

Хмарні технології пропонують альтернативу традиційним формам організації навчального процесу, створюючи можливості для персонального навчання, інтерактивних занять та колективного викладання.

Суть концепції «хмарних» технологій полягає у наданні кінцевим користувачам віддаленого динамічного доступу до послуг, обчислювальних ресурсів та додатків (включаючи операційні та інформаційні системи, серверне програмне забезпечення тощо) через інтернет або за допомогою корпоративної мережі. Розвиток сфери хостингу та необхідність масового використання загальнодоступними ресурсами було обумовлено потребою в програмному забезпеченні та цифрових послугах, якими можна було б керувати зсередини, але які були б при цьому більш економічними та ефективними за рахунок економії на масштабі.

Дотепер існує безліч варіантів визначення, що таке «хмарні технології» («хмарні обчислення», «cloud computing»). Найбільш комплексно та фундаментально до визначення поняття «хмарні технології» підійшли американські фахівці Peter M. Mell, Timothy Grance. У своєму дослідженні вони дають таке визначення: «Хмарні технології – це модель надання зручного мережного доступу в режимі «на вимогу» до колективно використовуваного набору обчислювальних ресурсів, що настроюються (наприклад, мереж, серверів, сховищ даних, додатків та/або сервісів), які користувач може оперативнo задіяти під свої завдання та вивільняти при зведенні до мінімуму кількості взаємодій з постачальником послуги або власних управлінських зусиль. Ця модель спрямована на підвищення доступності обчислювальних ресурсів та поєднує в собі п'ять основних характеристик, три моделі обслуговування та чотири моделі розгортання» [8].

Отже, хмарні сервіси – це «кардинально новий сервіс, використання якого дозволяє дистанційно використовувати засоби опрацювання і зберігання даних» [4].

Основне завдання та мета впровадження хмарних технологій у освітній процес відображено на рис.1.

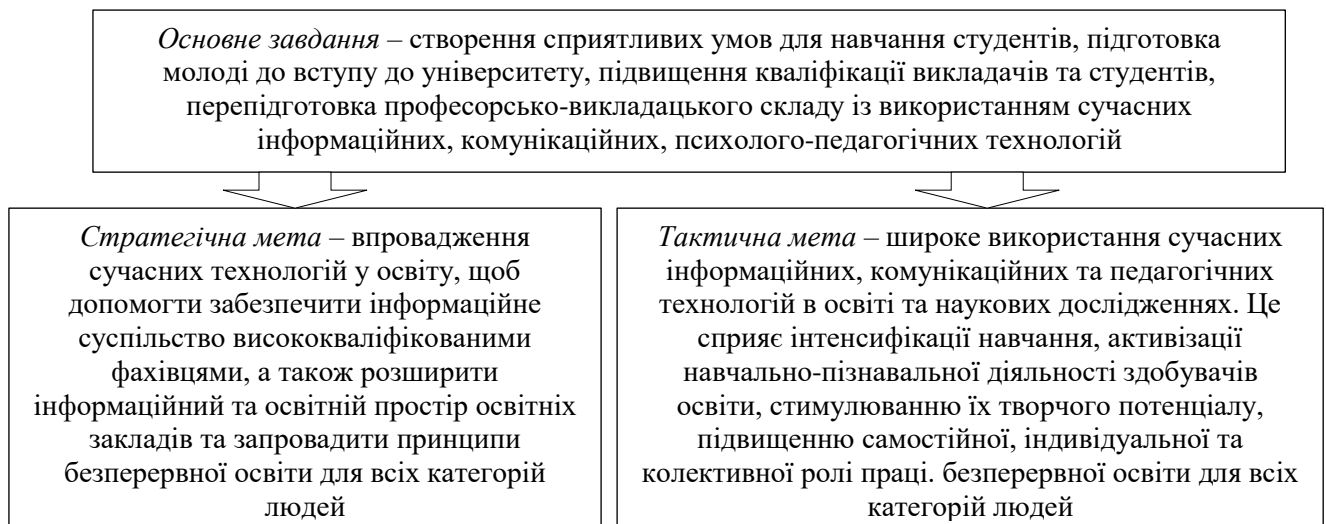
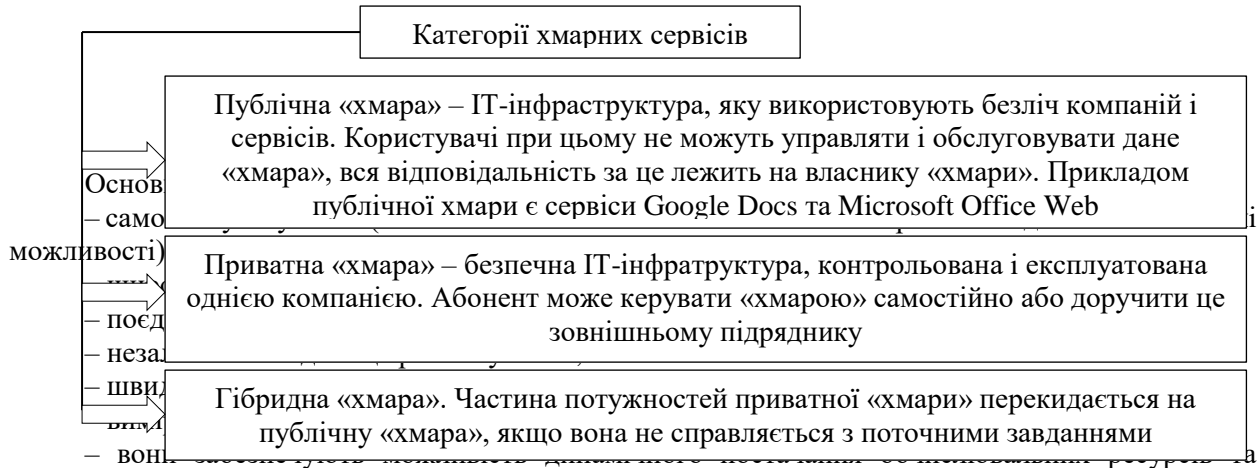


Рис. 1. Основне завдання та мета впровадження хмарних технологій у освітній процес [6, с.78]

Поставлені цілі та завдання забезпечують механізм розробки програми реалізації використання та розвитку хмарних технологій в закладах освіти, яка забезпечить їх широке впровадження в освіту у різних формах та рівнях.

Хмарні сервіси, що надають ті чи інші види послуг, в свою чергу діляться на три категорії: публічні, приватні та гібридні (рис.2).



програмно-апаратного забезпечення, його гнучким налаштуванням на потреби користувача [4, с.47].

Як і будь-яка інша технологія «хмари» мають свої переваги та недоліки (табл.1.1).

Таблиця 1

Переваги та недоліки хмарних технологій [4]

Перевага / Недолік	Опис переваги
Переваги	
1. Економічність	Скорочення витрат на програмне забезпечення, що використовується
2. Гнучкість	Навчатися та виконувати завдання можна у будь-якій точці світу. Для отримання швидкого та легкого доступу до інформації достатньо наявності підключення до глобальної мережі Інтернет
3. Масштабованість обчислювальних ресурсів	Завдяки принципам роботи Cloud Computing, користувачам доступні будь-яка необхідна обчислювальна потужність та обсяг. А оплата здійснюється лише за споживаними ресурсами, тобто за простої університет нічого не втрачає
4. Надійність зберігання даних	На серверах великих хмарних провайдерів усі дані багаторазово копіюються. І при виході з ладу одного з них, дані користувача будуть доступні з іншого
5. Використання хмарних технологій збільшує термін служби наявної інфраструктури	Життєвий цикл комп'ютерів продовжується, оскільки обчислювальні процеси відбуваються на сервері
6. Доступність	«Хмари» доступні всюди де є Інтернет чи мережа, доступ із клієнта чи браузера
7. Низька вартість	Зниження витрат на обслуговування (використання технологій віртуалізації), оплата лише онлайн-версії ПЗ (дозволяє економити на покупці та ліцензуванні програмного забезпечення), оренда «хмари», розвиток апаратної частини обчислювальних систем
8. Безпека	Високий рівень безпеки при грамотній організації. Проте, при недбалому відношенні ефект може бути протилежним
9. Великі обчислювальні потужності	Користувач може використовувати всі доступні обчислювальні потужності в «хмарі»
Недоліки	
1. Постійне з'єднання з мережею	Для роботи з «хмарою» потрібне постійне підключення до мережі
2. Програмне забезпечення	Користувачеві доступне лише те програмне забезпечення, яке є в «хмарі». Також користувач не може налаштовувати програми під себе
3. Конфіденційність	На сьогодні не існує технологій, що забезпечує 100% конфіденційність даних
4. Надійність	Втрата інформації у «хмарі» означає неможливість її відновлення

Сучасна трансформація ролі освіти впливає на врахування та вдосконалення методичних принципів навчання. Водночас постійний розвиток освітньої галузі зумовлює обґрунтування використання певних наукових розробок і передових технологій у системі вищої освіти.

«Сучасні інформаційні технології, запроваджені в науково-освітню сферу, дозволяють викладачам якісно змінити сутність, методи та методичні форми навчального процесу у вищій школі» [5]. На рис.3 відображено основні завдання використання інформаційних технологій у сфері науки та вищої освіти.

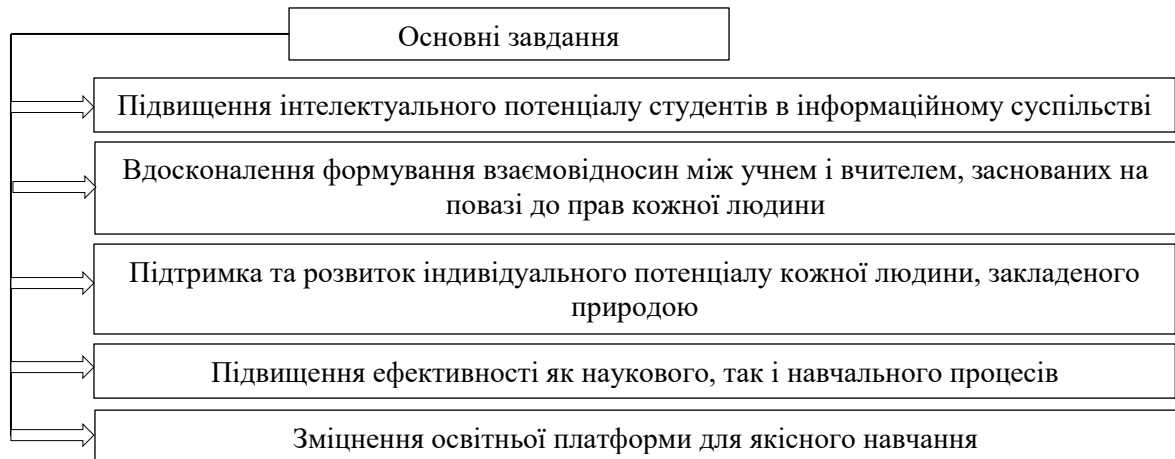


Рисунок 3 – Основні завдання використання інформаційних технологій у сфері науки та вищої освіти [5, с.31]

«Інноваційний процес розвитку освіти полягає в фундаментальному перетворенні змісту й організації нового» [7].

Поширення хмарних технологій ставить перед освітнім середовищем завдання інтеграції хмарних сервісів у систему освітнього закладу, перегляду своєї ІТ-інфраструктури та впровадження інноваційних технологій у освітній процес. Хмарні технології – це важлива альтернатива нинішньої освітньої перспективи.

Застосування хмарних технологій при роботі зі здобувачами освіти дає такі переваги:

1. Поліпшення існуючих методів надання матеріалів: по суті, інформація структурно може бути представлена у вигляді вже звичного «електронного диску», проте тут викладач має можливість самостійно і в будь-який час вносити зміни в матеріали, визначати доступність файлів і папок для здобувачів різних груп тощо.

2. Отримання інформації від здобувачів освіти відбувається більш організовано (тобто вони, наприклад, зберігають виконані завдання у виділену викладачем папку, а викладач у будь-який час і з будь-якого місця може здійснювати перевірку).

3. Викладач отримує можливість контролювати процес самостійної роботи здобувачів освіти.

Серед найпоширеніших хмарних платформ, які сьогодні застосовуються у системі вищої освіти відмітимо:

1. Google Classroom. Пов'язує програми Google Cloud Internet, надає доступ до платформи з комп'ютерів, планшетів і смартфонів, дає можливість здобувачам освіти зручно планувати завдання.

2. Blackboard. Серед інших свої послуг надає ПЗ для хмарного навчання. Blackboard Classroom забезпечує організацію та проведення відеоконференцій у віртуальних класах, керування завданнями, аналітику їх виконання тощо.

3. Knowledge Matters. Дозволяє моделювати бізнес-симуляцію в хмарі для моделювання ситуацій, з якими здобувачі освіти стикаються в бізнес-середовищі, таким чином даючи студентам можливість попрактикуватися у вирішенні реальних проблем. Симуляції ситуацій зосереджені на конкретних галузевих сценаріях.

4. Coursera. Відома освітня хмарна платформа з різними онлайн-курсами від відомих університетів і викладачів.

5. Office 365 Edusation. Орієнтована на здобувачів освіти і викладачів і має на меті спростити онлайн-навчання.

6. Classflow. Хмарне програмне забезпечення, яке допомагає викладачам створювати інтерактивні класи та показувати їх студентам.

7. D2L Brightspace. Освітня онлайн-платформа, яка задовольняє потреби викладачів та здобувачів освіти, незалежно від того, де і хто вони. Зручна інформаційна панель дозволяє педагогам відстежувати успішність здобувачів освіти.

Варто зауважити, що даний перелік не є вичерпним, численні хмарні сервіси надають онлайн-освітні послуги та відрізняються набором можливостей, відсутністю або наявністю платного компонента та його розміром.

Дотепер здобувачі вищої освіти повинні не лише здобути якісну освіту, щоб стати хорошими фахівцями, що, безперечно, є основним завданням ЗВО, а й навчитися працювати з інформацією, використовувати її у своїх цілях так, щоб вона давала конкурентні переваги.

Варто також зазначити, що пріоритетним напрямом використання хмарних технологій є захист даних та забезпечення їх безпеки. Більшість контрактів з постачальниками послуг у хмарі містять пункти, що гарантують безпеку та конфіденційність клієнтських даних. Разом з тим, в умовах тотального переходу до хмарних сховищ даних небаченої актуальності набувають програми розпізнавання тексту.

На думку О.Денисенка «сучасні методи розпізнавання текстових символів дають змогу вирішувати ряд наукових і прикладних завдань, таких як відновлення документів, публікація тексту на веб-сторінці, оцифрування книг, автоматизація систем бухгалтерського обліку, визначення номера банківської картки. Оскільки низка характеристик текстових даних має тенденцію до змін (інформація може бути надрукована на зображеннях вручну або за допомогою різних шрифтів; символи можуть містити цифрові дефекти або частково відображатися на зображеннях; самі зображення можуть мати складну фонову структуру), методи, що лежать в основі програмні системи повинні забезпечувати високу точність і швидкість, залишаючись ефективними в природних умовах» [2].

Отже, використання хмарних технологій закладами вищої освіти – перспективний напрямок у сфері вищої освіти, що дозволяє підвищити ефективність вищої освіти та знизити витрати. За допомогою хмарних технологій здійснюється швидкий та безпечний доступ до сервісів, які використовуються у навчальному процесі. Використання хмарних технологій дає навчальним закладам значну конкурентну перевагу над іншими навчальними закладами, які не повністю використовують сучасні технології.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, хмарні технології є важливим інструментом удосконалення навчального процесу. Вони створюють можливості для розвитку нових методик та нових форм освітнього процесу, відкривають можливості як перед студентами та викладачами, так і перед розробниками ресурсів, які безпосередньо пов'язані з навчальним процесом.

На нашу думку, сьогодні головною метою хмарних технологій в освітньому процесі є досягнення максимальної ефективності та підвищення загального рівня освіти без негативних наслідків для існуючих ефективних засобів навчання.

Хмарні технології дають змогу сформувати інтерактивне середовище, дають можливість здобувачам освіти підвищувати пізнавальний рівень, вибрати способи навчання, а також сприяють розвитку у них таких важливих компетенцій як:

- взаємна співпраця;
- оперативне вирішення проблем;
- розвиток комунікативних навичок;
- здатність критичного мислення.

З управлінської сторони хмарні технології сприяють значному скороченню витрат для ЗВО, підвищенню ефективності використання обчислювальних ресурсів. Їх використання дає можливість скоротити штат персоналу, який обслуговує техніку, і позбутися необхідності послуг сторонніх фахівців.

На завершення зазначимо, що перспективна участь «хмарних» сервісів в освітній системі закладів вищої освіти, безсумнівно, сприятиме належній підготовці сучасних кваліфікованих фахівців, що здатні вплинути на інформаційне становлення суспільства, в якому одним із головних завдань людини буде пошук місця під сонцем, а пошук місця на «хмарі».

1. Андрощук О., Головченко О., Литовченко Г., Петрушен М. Аналіз поняття хмарні технології: види, категорії, переваги та недоліки. *Молодий вчений*. 2021. Вип. 6 (94). С. 83–87.
2. Денисенко О. Дослідження та розробка системи розпізнавання тексту. *ΛΟΓΟΣ. ΟΝΛΑΙΝ*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36074/2663-4139.11.04>
3. Денисенко С.М. Перспективи використання хмароорієнтованого освітнього середовища у професійній підготовці бакалаврів видавництва та поліграфії. *Інформаційні технології в освіті*. 2019. № 31. С. 46–54.
4. Dilip Pawar S. Cloud Computing: A Review. *International Journal for Research in Applied Science & Engineeringm Technology*. 2021. №9, Issue: XII. P. 1201–1204. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.39472>
5. Haidabrus B. Information technology and management in higher education and science. *Futurity Education*. 2022. № 2(4), 26–35. DOI: <https://doi.org/10.57125/FED.2022.25.12.03>
6. Al-Samarraie H., Saeed N. A systematic review of cloud computing tools for collaborative learning: Opportunities and challenges to the blended-learning environment. *Computers & Education*. 2018. №124. P.77–91.
7. Jarvis M., Tambovceva T., Virovere, A. Scientific innovations and advanced technologies in higher education. *Futurity Education*. 2021. №1(1). P.13–22. DOI: <https://doi.org/10.57125/FED.2022.10.11.2>
8. Mell P. M., Grance T. The NIST definition of cloud computing. Gaithersburg, MD : National Institute of Standards and Technology, 2011. URL: <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-145> (date of access: 23.01.2023).

References

1. Androschuk, O., Golovchenko, O., Lytovchenko, G., Petrushen M. (2021). Analysis of the concept of cloud technologies: types, categories, advantages and disadvantages. *A young scientist*, 6(94), 83–87.
2. Denysenko, O. (2020). Research and development of a text recognition system. *ΛΟΓΟΣ. ONLINE*. <https://doi.org/10.36074/2663-4139.11.04>
3. Denysenko, S.M. (2019). Prospects of using a cloud-based educational environment in the professional training of bachelors in publishing and printing. *Information technologies in education*, 31, 46–54.
4. Dilip Pawar, S. (2021). Cloud Computing: A Review. *International Journal for Research in Applied Science & Engineeringm Technology*, 9, XII, 1201–1204. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.39472>
5. Haidabrus, B. (2022). Information technology and management in higher education and science. *Futurity Education*, 2(4), 26–35. <https://doi.org/10.57125/FED.2022.25.12.03>
6. Al-Samarraie, H., & Saeed, N. (2018). A systematic review of cloud computing tools for collaborative learning: Opportunities and challenges to the blended-learning environment. *Computers & Education*, 124, 77–91. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.016>
7. Jarvis, M., Tambovceva, T., Virovere, A. (2021). Scientific innovations and advanced technologies in higher education. *Futurity Education*, 1(1), 13–22. DOI: <https://doi.org/10.57125/FED.2022.10.11.2>
8. Mell, P. M., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-145>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-17>

УДК 371.53

Саланда Іванна Петрівна, к.т.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-0555-6548>**Фурман Олена Андріївна**, к.п.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-3175-1814>**Бабій Надія Василівна**, к.т.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0003-2239-2220>**Галаган Ігор Михайлович**, к.п.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-0555-6548>**Клак Дмитро Сергійович**, викладач,<https://orcid.org/0000-0001-8289-0366>

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка, м. Кременець, Україна

РОЗРОБКА МОДЕЛІ КЛЮЧОВИХ STEM-КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ДЛЯ УЧАСНИКІВ СУЧАСНОГО ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ

Саланда І.П., Фурман О.А., Бабій Н.В., Галаган І.М., Клак Д.С. Розробка моделі ключових STEM-компетентностей для учасників сучасного освітнього процесу. У даній статті запропоновано модель ключових STEM-компетентностей, а саме: вирішення проблем, інновації та креативність, комунікація, критичне мислення, метакогнітивні навички, співпраця, саморегуляція та дисциплінарна компетентність. Ці вісім основних компетентностей є надзвичайно важливими в STEM-освіті, оскільки мають наскрізний характер, охоплюють різні сфери STEM і є корисними в різних контекстах протягом усього життя. Також вони відповідають Концепції розвитку природничо-математичної освіти.

Ключові слова: STEM-освіта, компетентності, компетенції, навички, концепція.

Salanda I.P., Furman O.A., Babii N.V., Galagan I.M., Klak D.S. Development of a model of key STEM competencies for participants in the modern educational process. This article proposes a model of key STEM competencies, namely: problem solving, innovation and creativity, communication, critical thinking, metacognitive skills, collaboration, self-regulation, and disciplinary competence. These eight core competencies are extremely important in STEM education because they are cross-cutting in nature, span different STEM fields, and are useful in different contexts throughout life. They also correspond to the Concept of Development of Science and Mathematics Education.

Keywords: STEM education, competencies, competencies, skills, concept.

Постановка проблеми

Відновлення, розвиток та конкурентоспроможність національної економіки, забезпечення обороноздатності нашої держави ставить перед сферою освіти завдання щодо генерування нових ідей і знань, створення нових технологій, розв'язання проблем, що можливо досягнути шляхом впровадження практико-орієнтованого навчання, створення на заняттях проблемних ситуацій для самостійного здобуття необхідних знань у процесі їх вирішення.

Розвиток IT-галузі, робототехніки, нанотехнологій призводить до потреби у фахівцях високотехнологічних галузей, здатних до комплексної науково-інженерної діяльності, тому актуальним є вирішення питання щодо надання якісної освіти учнівству з природничо-математичних дисциплін, інженерії, програмування. Освіта повинна бути випереджувальною, відповідати тенденціям розвитку суспільства в майбутньому, тому особлива увага на сьогодні приділяється інноваційному напрямку STEM-освіті. (лист ІМЗО 2022)

Акронім STEM (S-science, T-technology – E-engineering – M-mathematics) вживається для позначення популярного напрямку в освіті, що охоплює природничі науки (Science), технології (Technology), технічну творчість (Engineering) та математику (Mathematics). Його використання посилює в навчальних програмах природничо-науковий компонент та інноваційні технології, причому навіть при вивченні творчих, мистецьких дисциплін. (?)

STEM-освіта зародилась у США — ще в 90-х рр ХХ ст. І в наш час професії STEM користуються тут найбільшим попитом. Більше того, їх називають професіями майбутнього, небезпідставно вважаючи, що це один із найефективніших підходів до освіти. Адже STEM — це не лише програмування, кодування, інженерія та навички роботи в команді. Це й конкурентні переваги для побудови кар'єри в таких гостро актуальних сферах діяльності як біохімія, біоінженерія, астрофізика, геологія, стратегічний менеджмент.

Найбільшу кількість випускників, що здобули вищу освіту по програмі STEM, мають Китай та Індія. США — лише на третьому місці. Дослідження показують, що випускники STEM

користуються значно вищим попитом серед роботодавців, тож відповідно — отримують значно вищу зарплатню та можуть вибирати для себе сприятливіші умови праці. Розвиток STEM у світі також є однією з пріоритетних цілей стійкого розвитку Ради Європейського та Європейського Парламенту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Занепокоєння щодо того, чому студенти повинні навчитися для успішної реалізації в майбутньому, були основною метою національних і міжнародних політичних організацій протягом останніх двох десятиліть (Європейська комісія 2007; Європейська комісія 2019; OECD, 2018 [1]). У багатьох країнах національні органи управління навчальними програмами почали охоплювати ширші навчальні цілі, включаючи знання, навички, компетентності, ставлення, цінності та етику. На початку 21 століття широко застосовувалося поняття «навички», але в останні роки з'явився термін ключові «компетентності», які необхідні для успішного життя та функціонування суспільства.

Важливим є сучасне розуміння понять «навички», «компетенції» і «компетентності». Мати навичку, як правило, означає виконання певної дії з певним ступенем майстерності, роблячи це добре, а не погано – це означає, що існують ступені майстерності, і що навички можна навчитися та вдосконалити. Однак використання терміна «навички» або навіть «ключові навички» часто можна тлумачити як редукціоністське й не повне охоплення того, що означає добре виконувати ці дії [2]. Отже, терміни «компетенції» та «компетентності» є більш ширшими в описі того, що потрібно для життя та зростання в складному, пов'язаному суспільстві.

На міжнародному рівні, наприклад, як в OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development – Організація економічного співробітництва та розвитку)[1], так і в Міжнародному бюро освіти/ЮНЕСКО [3] є групи, які працюють над тим, як найкраще концептуалізувати ключові компетентності в рамках навчальних програм. Хоча ключові компетентності часто замінюють на ключові навички, вони мають різне значення, зокрема, з точки зору їхньої спрямованості на дії у відповідь на вимоги ситуації з використанням знань як ключового компоненту, який інформує про дію. Згідно з визначенням DeSeCo (Definition and Selection of Competencies – Визначення та вибір Компетентностей) від OECD, компетенція включає – попередні знання, пов'язані з контекстом, когнітивні навички, практичні навички, соціальні навички, емоції, ставлення, цінності – скоординовані так, щоб дати людині змогу діяти відповідно до конкретного запиту [4].

Розглянемо детально певні визначення згідно Європейської рамки кваліфікацій.

Набір знань, навичок та/або компетентність – це те, що особа набула та/або здатна продемонструвати після завершення процесу навчання. Результати навчання – це твердження про те, що учень повинен знати, розуміти та/або вміти робити наприкінці періоду навчання [5, с.11].

«.. компетентність — це більше, ніж просто знання та навички. Вона передбачає здатність задовольняти складні вимоги, залучаючи та мобілізуючи психосоціальні ресурси (включаючи навички та ставлення) у певному контексті. Наприклад, здатність ефективно спілкуватися є компетентностями, які можуть спиратися на знання мови, практичні навички ІТ і ставлення до тих, з ким він або вона спілкується» [6, с. 4].

В Європейському Союзі STEM-компетентність – математичну компетентність та компетентність у науках, технологіях та інженерії (Mathematical competence and competence in science, technology and engineering) відносять до ключових компетентностей єдиним цілим, але визначення і роль розділяють окремо для математичної компетентності і окремо для компетентності в науці, технологіях та інженерії, як і в Україні.

Автори Балік Н., Барна О., Шмигер Г. та Олексюк В. в роботі [7] розробили модель STEM-компетентностей для професійної підготовки вчителів та навчання протягом усього життя, яка включає чотири компоненти: вирішення проблем, робота з людьми, робота з технологіями, робота з організаційною системою. В свою чергу зазначені компоненти поділяються на три сфери STEMкомпетентностей: навички, знання, робоча діяльність.

Представники Національної академії педагогічних наук України Н. І. Поліхун, К. Г. Постова, І. А. Сліпучіна, Г. В. Онопченко, О. В. Онопченко визначають STEM-компетентність як динамічну систему знань, умінь, навичок і способу мислення, цінностей й особистісних якостей, які визначають здатність до інноваційної діяльності [8]. А також виділяють компоненти цієї компетентності, до яких належать: когнітивна, як характеристика особистості в контексті пізнавальної та творчої активності; рефлексивно-аналітична, яка відображає готовність до аналізу власної діяльності й оцінювання досягнутих результатів, здатність здійснювати добір найбільш

ефективних технологій, оцінювати ступінь ризиків тощо; операційно-діяльнісна, як здатність до добору засобів, способів і технологій конструювання, моделювання та проектування розв'язання практичних завдань відповідно до специфіки цілей і змісту певної професійної діяльності; ціннісно-мотиваційна, як здатність до стійкої внутрішньої мотивації, цілеспрямованої активності, ставлення до майбутньої професійної діяльності, творчого саморозвитку тощо.

Розробка моделі ключових STEM-компетентностей

Дослідники Дублінського університету проаналізували літературу за останні 10 років та виявили 243 конкретні навички та компетентності STEM-освіти. У роботі [9] запропонована класифікація цих навичок у вісім категорій, які разом визначають основні STEM-компетентності в концептуальній структурі STEM-освіти:

- **Цифрове вирішення проблем.** Вирішення проблем – можна визначити як процес пошуку рішень проблем. Навчальні програми STEM-освіти повинні надавати здобувачам досвід, який включає діяльність з вирішення проблем, що допоможе розвинути STEM-навички. Цифрове вирішення проблем стосується включення навчальних дій, завдань та оцінювання, які вимагають від учнів визначення та вирішення технічних проблем або творчого перенесення технологічних знань у нові ситуації. Важливість розвитку таких навичок є очевидною [10-11].

- **Інновації та креативність.** Здобувачів будь-якого віку слід надихати бути інноваційними та підприємливими у своєму підході до генерування ідей та їх застосування для вирішення проблем. Це життєво важливо для розробки стійких відповідей на найскладніші виклики суспільства. Освіта STEM відіграє тут особливу роль, оскільки вона може сприяти розвитку творчих здібностей учнів, виховуючи та надихаючи їх почуття допитливості [12].

- **Комунікація.** Незаперечним є те, що спілкування є не лише невід'ємною частиною соціальних стосунків, але й значною частиною успіху в усіх аспектах життя, включно з професійним контекстом [13]. Складні комунікаційні та соціальні навички включають в себе навички обробки та інтерпретації як вербальної, так і невербальної інформації від інших, щоб відповідати належним чином [14].

- **Критичне мислення.** Важливість навчитися критично мислити, аналізувати та синтезувати інформацію для вирішення міждисциплінарних проблем, а також співпрацювати та продуктивно працювати з іншими в групах є важливими навичками для ефективної участі в суспільстві [15]. У цифровому та пов'язаному світі, де швидко створюється нова інформація, розвиток критичних навичок ніколи не був настільки важливим.

- **Метакогнітивні навички.** Метакогніція визначається як наукове дослідження уявлень індивіда про його чи її власні знання. Метакогнітивні навички відносяться до здатності розмірковувати над власним мисленням і міркуваннями, а також до вибору та стратегічного використання інструментів (технологічних та інших) [16]. Розвиток метакогнітивних навичок потребує більшої уваги, якщо врахувати, що метапізнання та емоції відіграють вирішальну роль у здатності учнів контролювати та регулювати своє навчання.

- **Співпраця** означає роботу з кимось для створення чогось, і це може бути пов'язано з іншими навичками та компетентностями або впливати на них. Співпраця може відбуватися між здобувачами, здобувачами та викладачами, викладачами, викладачами та університетами, університетами та галузями промисловості. Співпраця з однолітками може допомогти учням успішно виконувати складні завдання та вийти за межі їх поточного рівня знань, а також є ключем до розвитку метакогнітивних знань [17]. Європейська комісія (2019) підкреслює роль і важливість співпраці як наскрізної компетентності, формуванні якої можна сприяти за допомогою цифрових інструментів і мереж.

- **Саморегуляція** стосується самоуправління та саморозвитку, які включають особистісні навички, необхідні для роботи віддалено, у віртуальних командах; працювати автономно; мати самомотивацію та самоконтроль [12]. Одним із аспектів самоуправління є бажання та здатність здобувати нову інформацію та навички [18]. Крім того, соціальні та емоційні навички, такі як емпатія, самосвідомість, повага до інших і здатність до спілкування, стають важливими, оскільки класи та робочі місця стають більш етнічними, культурними та мовними. Досягнення в школі та за її межами також залежить від низки соціальних та емоційних навичок, таких як наполегливість, ефективність, відповідальність, допитливість та емоційна стабільність [1].

- **Дисциплінарна компетентність.** Дисциплінарні знання та навички стосуються не лише компетенцій із кожної дисципліни окремо, а й комбінації цих дисциплін. Європейська комісія розглядає компетенцію STEM, яка включає знання, навички та ставлення до дисциплін STEM, як

основну компетенцію навчання впродовж життя (Європейська комісія, 2019). Проектування навчального досвіду, який залучає студентів до автентичних, реальних проблем дизайну, сприяє розвитку цих дисциплінарних знань і основних навичок між об'єднаними дисциплінами STEM [19].

Наведені вище конкретні навички та компетенції STEM, що класифіковані у вісім категорій, визначено разом як ключові STEM-компетенції. Враховуючи зазначене вище, запропоновано наступну модель ключових STEM-компетентностей (рис. 1).

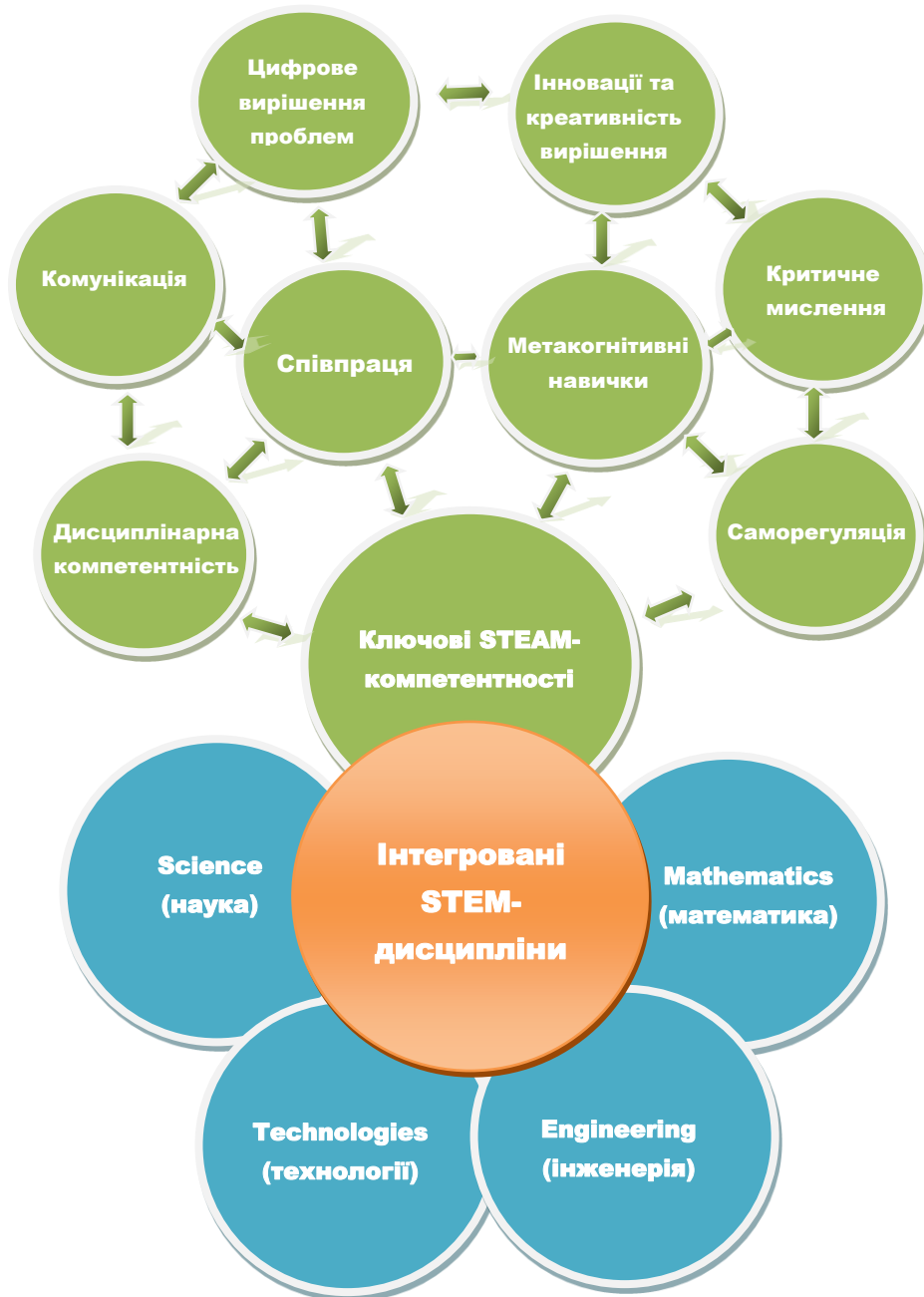


Рис.1 Модель ключових STEM-компетентностей

Ці вісім основних компетентностей є надзвичайно важливими в STEM-освіті, оскільки мають наскрізний характер, охоплюють різні сфери STEM і є корисними в різних контекстах протягом усього життя. Вони відповідають Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) (схвалено розпорядженням КМУ від 5 серпня 2020 р. № 960-р). Адже згідно з Концепцією, навчальні методики та навчальні програми STEM-освіти мають бути спрямовані на формування компетентностей, актуальних на ринку праці. Зокрема, це критичне, інженерне і

алгоритмічне мислення, навички оброблення інформації й аналізу даних, цифрова грамотність, креативні якості та інноваційність, навички комунікації.

Висновки. В роботі розроблено модель ключових компетентностей, а саме: вирішення проблем, інновації та креативність, комунікація, критичне мислення, метакогнітивні навички, співпраця, саморегуляція, дисциплінарна компетенції та визначено їх разом ключові STEM-компетенції. Враховуючи те, що STEM є суперечливим поняттям, специфічним для контексту, з різними рушійними силами та обмеженнями в різних соціально-політичних контекстах, даний набір навичок допоможе усім учасникам сучасного освітнього процесу (з різних закладів освіти, регіонів, видів освіти та рівнів) однаково розуміти навчальну сферу та її передбачувані цілі.

Дана модель задовольняє вимогам Концепції розвитку природничо-математичної освіти, що схвалена розпорядженням КМУ від 5 серпня 2020 р. № 960-р та відповідає ключовим компетентностям за державним стандартом України та за рекомендацією Ради ЄС.

Подальшого дослідження потребує проблема розробки діагностичного інструментарію та керівних принципів для ефективного формуального та підсумкового оцінювання, які всебічно використовуватимуть цифрові технології. Деякі з цих системних проблем широкомасштабного впровадження STEM-освіти на всіх складниках та рівнях освіти (зокрема НУШ) можна було б пом'якшити, якщо політики прийняли б узгоджену детальну концептуальну основу, яка окреслює взаємозв'язок між кожною з чотирьох дисциплін науки, технології, інженерії та математики та практичну інтеграцію між ними.

Список бібліографічного опису

1. OECD (2018). The future of education and skills 2030: The future we want. Paris: OECD. (<http://www.oecd.org/education/2030/oecd-education-2030-position-paper.pdf>) <http://www.oecd.org/education/school/Flyer-The-Future-of-Education-and-Skills-Education-2030.pdf>.
2. McGuinness, C. (2018). Informed Analysis of 21st Century Competencies in a Redeveloped Primary Curriculum. Final Report. <https://ncca.ie/media/4307/research-informed-analysis-of-21st-centurycompetencies-in-a-redeveloped-curriculum.pdf>
3. Marope, M., Griffin, P., & Gallagher, C. (2017). Future competences and the future of the curriculum. Geneva: International Bureau of Education/UNESCO. (http://www.ibe.unesco.org/sites/default/files/resources/future_competences_and_the_future_of_curriculum.pdf)
4. Rychen, D.S., & Salganik, L.H. (Eds.). (2003). Key competencies for a successful life and a well-functioning society. Göttingen, Germany: Hogrefe & Huber.
5. ENCoRE,(2005). Commission Staff Working Document Towards A European Qualifications Framework For Lifelong Learning. http://www.encore-edu.org/ENCoRE-documents/consultation_eqf_en.pdf
6. OECD, DeSeco. (2005). Definition and Selection of Key Competencies-Executive Summary. <http://www.deseco.admin.ch/bfs/deseco/en/index/02>
7. Balyk N., Barna O., Shmyger G., Oleksiuk V. Model of professional retraining of teachers based on the development of STEM competencies. ICT in Education, Research and Industrial Applications : Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Proc. 14th Int. Conf. ICTERI 2018. P. 440-450. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/12341>.
8. Н. І. Поліхун, К. Г. Постова, І. А. Сліпучіна, Г. В. Онопченко, О. В. Онопченко. Упровадження STEM-освіти в умовах інтеграції формальної і неформальної освіти обдарованих учнів: методичні рекомендації. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – 80 с.
9. Butler., D., McLoughlin E., O'Leary, M., Kaya, S., Brown, M. & Costello, E. (2020). Towards the ATS STEM Conceptual Framework. ATS STEM Report #5. Dublin: Dublin City University.
10. Carretero, S.; Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use, EUR 28558 EN, doi:10.2760/38842
11. Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu (No. JRC107466). Joint Research Centre (Seville site).
12. Lin, H. & Wang, M-J. (1994) Creativity Assessment Packet. Taipei: Psychological Publishing Co.
13. Atkinson, R. D. (2012). Why the current education reform strategy won't work. Issues in Science and Technology, 28(3), 29-36. <https://issues.org/atkinson-7/>
14. Bybee, R. W. (2013). The case for STEM education: Challenges and opportunities. NSTA press.
15. Eguchi, A., & Uribe, L. (2017). Robotics to promote stem learning: Educational robotics unit for 4th grade science. In 2017 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC) (pp. 186-194). IEEE. doi: 10.1109/ISEC.2017.7910240
16. Saxton, E., Burns, R., Holveck, S., Kelley, S., Prince, D., Rigelman, N., & Skinner, E. A. (2014). A Common Measurement System for K-12 STEM education: Adopting an educational evaluation methodology that elevates theoretical foundations and systems thinking. Studies in Educational Evaluation, 40, 18–35. doi: 10.1016/j.stueduc.2013.11.005
17. Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.). (2014). STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research (Vol. 500). Washington, DC: National Academies Press. <https://www.nap.edu/read/18612>
18. Houston J. (2007) Future Skill Demands, from a Corporate Consultant Perspective; Presentation at the Workshop on Research Evidence Related to Future Skill Demands, National Research Council.
19. Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W.,

Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaere, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 2. doi: 10.20897/ejsteme/85525
20. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#n8>.

References

1. OECD (2018). The future of education and skills 2030: The future we want. Paris: OECD. (<http://www.oecd.org/education/2030/oecd-education-2030-position-paper.pdf>) <http://www.oecd.org/education/school/Flyer-The-Future-of-Education-and-Skills-Education-2030.pdf>.
2. McGuinness, C. (2018). Informed Analysis of 21st Century Competencies in a Redeveloped Primary Curriculum. Final Report. <https://ncca.ie/media/4307/research-informed-analysis-of-21st-centurycompetencies-in-a-redeveloped-curriculum.pdf>
3. Marope, M., Griffin, P., & Gallagher, C. (2017). Future competences and the future of the curriculum. Geneva: International Bureau of Education/UNESCO. http://www.ibe.unesco.org/sites/default/files/resources/future_competences_and_the_future_of_curriculum.pdf
4. Rychen, D.S., & Salganik, L.H. (Eds.). (2003). Key competencies for a successful life and a well-functioning society. Gottingen, Germany: Hogrefe & Huber.
5. ENCoRE, (2005). Commission Staff Working Document Towards A European Qualifications Framework For Lifelong Learning. http://www.encore-edu.org/ENCoRE-documents/consultation_eqf_en.pdf
6. OECD, DeSeco. (2005). Definition and Selection of Key Competencies-Executive Summary. <http://www.deseco.admin.ch/bfs/deseco/en/index/02>
7. Balyk N., Barna O., Shmyger G., Oleksiuk V. Model of professional retraining of teachers based on the development of STEM competencies. ICT in Education, Research and Industrial Applications : Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Proc. 14th Int. Conf. ICTERI 2018. P. 440-450. URL: <http://dspace.tpu.edu.ua/handle/123456789/12341>.
8. N. I. Polihun, K. G. Postova, I. A. Slipukhina, G. V. Onopchenko, O. V. Onopchenko. Implementation of STEM education in conditions of integration of formal and informal education of gifted students: methodical recommendations. Kyiv: Institute of the Gifted Child of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2019. – 80 p.
9. Butler, D., McLoughlin E., O'Leary, M., Kaya, S., Brown, M. & Costello, E. (2020). Towards the ATS STEM Conceptual Framework. ATS STEM Report #5. Dublin: Dublin City University.
10. Carretero, S.; Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use, EUR 28558 EN, doi:10.2760/38842
11. Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu (No. JRC107466). Joint Research Centre (Seville site).
12. Lin, H. & Wang, M-J. (1994) Creativity Assessment Packet. Taipei: Psychological Publishing Co.
13. Atkinson, R. D. (2012). Why the current education reform strategy won't work. *Issues in Science and Technology*, 28(3), 29-36. <https://issues.org/atkinson-7/>
14. Bybee, R. W. (2013). The case for STEM education: Challenges and opportunities. NSTA press.
15. Eguchi, A., & Uribe, L. (2017). Robotics to promote stem learning: Educational robotics unit for 4th grade science. In 2017 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC) (pp. 186-194). IEEE. doi: 10.1109/ISECon.2017.7910240
16. Saxton, E., Burns, R., Holveck, S., Kelley, S., Prince, D., Rigelman, N., & Skinner, E. A. (2014). A Common Measurement System for K-12 STEM education: Adopting an educational evaluation methodology that elevates theoretical foundations and systems thinking. *Studies in Educational Evaluation*, 40, 18–35. doi: 10.1016/j.stueduc.2013.11.005
17. Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.). (2014). STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research (Vol. 500). Washington, DC: National Academies Press. <https://www.nap.edu/read/18612>
18. Houston J. (2007) Future Skill Demands, from a Corporate Consultant Perspective; Presentation at the Workshop on Research Evidence Related to Future Skill Demands, National Research Council.
19. Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaere, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 2. doi: 10.20897/ejsteme/85525
20. Concept of development of science and mathematics education (STEM-education). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#n8>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-18>

УДК 004.422

Сахнюк Павло Васильович, аспірант,

Замуруєва Оксана Валеріївна, к.ф.-м.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-0032-0613>

Федосов Сергій Анатолійович, д.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0003-3457-8911>

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТУРОЗ ЯК СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ У КОРПОРАТИВНІЙ СФЕРІ

Сахнюк П. В., Замуруєва О. В., Федосов С. А. Використання ТУРОЗ як системи управління контентом у корпоративній сфері. В роботі проаналізовано використання та функціонал системи управління контентом ТУРОЗ CMS. Зроблено порівняльний аналіз даної системи та Drupal CMS у межах основних функціональних аспектів. Сформульовано рекомендації та оптимальні концепції для використання обох систем.

Ключові слова: система управління контентом, CMS, відкритий код, веб-сайт.

Sakhniuk P., Zamurujeva O., Fedosov S. Using TYRO3 as a content management system in the corporate sphere.

The usage and functionality of the TYRO3 CMS content management system were analyzed in the paper. A comparative analysis of this system and Drupal CMS was made in terms of the main functional aspects. Recommendations and optimal concepts for using both systems were formulated.

Keywords: content management system, CMS, open source, website.

Постановка наукової проблеми.

Більшість корпорацій та установ різного спрямування та масштабу використовують веб-технології для створення власних веб-порталів. Одним з основних завдань підтримки таких порталів і сайтів є управління контентом. Для його реалізації використовують спеціальні системи управління контентом. При виборі такої системи часто обираються найпопулярніші варіанти, що не завжди оптимально підходить для потреб установи чи бізнесу у контексті специфіки їх роботи, галузі, масштабу та інших характеристик. Таким чином є необхідність знайти гнучкі альтернативи для найпоширеніших систем і виокремити оптимальні та ефективні сценарії їх використання для забезпечення потреб установ різного спрямування. Однією з таких альтернатив може слугувати система управління контентом з відкритим вихідним кодом ТУРОЗ CMS, яку доцільно проаналізувати та порівняти з іншою популярною аналогічною системою за параметрами поширення та оптимальними варіантами застосування для задоволення потреб інституцій та бізнес-клієнтів різного спрямування.

Аналіз досліджень.

Аналіз та дослідження можливостей різних систем управління контентом проводяться останнім часом з різною метою – зокрема робота [1] досліджує питання вибору оптимальної системи управління контентом для регіональної газети, у дослідженні ключовими варіантами фігурують Туроз і Drupal. У [2] розглянуті особливості поширення та використання найпопулярніших систем управління контентом. Важливим дослідженням також є аналіз сучасних CMS, виділення ключових завдань та елементів актуальних веб-порталів у освітній сфері та аналіз на цій основі Drupal та Туроз CMS для вибору оптимального варіанту для освітніх закладів [3].

Постановка завдань. Метою дослідження є проаналізувати використання та функціонал системи управління контентом ТУРОЗ CMS, порівняти її з популярними аналогами за поширеністю та функціоналом, сформулювати рекомендації щодо їх оптимального використання у проектах різного спрямування, масштабу та географічної прив'язки.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.

Методологія досліджень. Проведено аналіз даних щодо використання та поширення систем управління контентом у веб-ресурсі Similar Tech за ключовими словами «Drupal», «ТУРОЗ». Виділено аспекти використання пов'язані з поширеністю, трендами популярності, галузями застосування, географічною прив'язкою та масштабом веб-ресурсів, котрі використовують відповідні технології. Досліджено основні модулі систем ТУРОЗ CMS та Drupal у контексті сумісності з основними вимогами до веб-продуктів. Здійснено порівняльний аналіз основних функцій систем, виділено ключові особливості та оптимальні сценарії використання.

Аналіз результатів досліджень. TYPO3 CMS – це безкоштовна система керування контентом з відкритим кодом для веб-сайтів, яка офіційно доступна під різними назвами (туро, Туро3, TYPO3 CMS) з 1998 року. Система була розроблена Каспером Скоргоєм. Остання версія системи 12 була випущена 4 жовтня 2022 року. Ядро TYPO3 написано на мові скриптів PHP, виведення в браузері відбувається за допомогою HTML і JavaScript. Система підтримує популярні бази даних на основі SQL, зокрема, MySQL, MariaDB, Postgres, SQLite та інші. Підключення здійснюється через Doctrine DBAL. Першим питанням у контексті оцінки ефективності та придатності системи управління контентом TYPO3 CMS для вирішення широкого кола завдань є вибір найближчого популярного відповідника. Після попереднього аналізу функціоналу, кількості користувачів, розповсюдження у світі, та зокрема європейських країнах, CMS Drupal було обрано для порівняння.

Drupal – це безкоштовна система керування веб-контентом (CMS) із відкритим вихідним кодом, написана на PHP і розповсюджується за ліцензією GNU General Public License [4]. Drupal надає базову структуру з відкритим вихідним кодом для веб-сайтів різного спрямування [5] від особистих блогів до корпоративних, політичних і урядових сайтів.

Система була розроблена у 2000 році як форум для гуртожитку коледжу. Потім розробники зосередилися на публікації блогів, а сьогодні Drupal є багатофункціональним адаптивним програмним забезпеченням для керування веб-контентом. Остання велика версія 9 була випущена у 2020 році. Система має модульну структуру. Існує близько 40 000 різних модулів, які можна використовувати для гнучкого створення програм різного спрямування навколо порівняно тонкого ядра. Система підтримує популярні бази даних на основі SQL, зокрема, MySQL, MariaDB, Postgres, SQLite та інші.

Обидві системи доволі гнучкі у контексті можливостей розширення базового функціоналу. Численні функції TYPO3, які недоступні у ядрі, можна інтегрувати за допомогою розширень [6] без необхідності писати власний програмний код. Більшість із понад 5000 розширень на даний момент надходять від сторонніх постачальників і доступні безкоштовно. Крім іншого, доступні розширення для новин, систем магазинів або дискусійних форумів. Система дозволяє інтегрувати функції багатомовності та підтримується великою спільнотою користувачів і розробників з усього світу.

Drupal та Туро3 одні з найбільш поширених систем управління контентом широкого призначення. Станом на 2022 рік (рис. 1) близько 275 тисяч сайтів в Інтернеті використовують систему керування контентом (CMS) Drupal [7] – поширена глобально у різних частинах світу. Близько 100 тисяч сайтів використовують TYPO3 [7], особливо велика частка із них у Європі, зокрема у Німеччині, Австрії, Швейцарії, де система значно переважає Drupal у пропорційному вираженні. Також система користується значною популярністю у Польщі, Франції та Нідерландах.

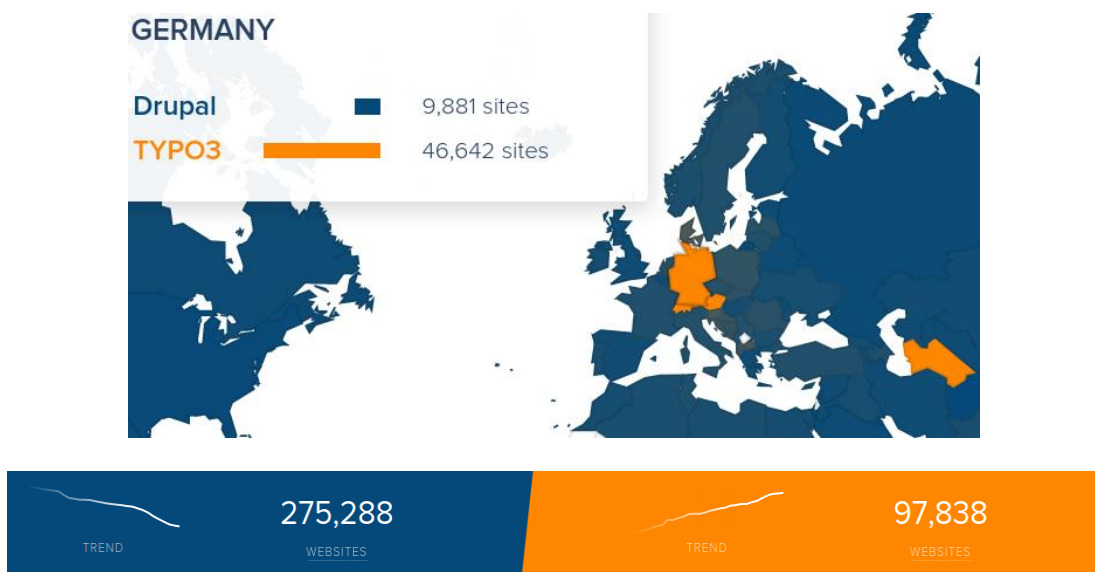


Рис. 1. Географія використання Drupal і TYPO3.

У порівнянні з Drupal популярність технології TYPO3 поступово зростає, а географія використання розширюється. Про це свідчать тренди використання цих систем за останні 30 днів, опубліковані на аналітичній платформі Similar Tech [7].

Поряд з Joomla та WordPress, TYPO3 і Drupal є одними з найвідоміших CMS у секторі безкоштовного програмного забезпечення (рис. 2), особливо велика частка використання технології серед 1 000 000 найпопулярніших сайтів [7]. Drupal має відносно високу популярність серед 10 000. У свою чергу TYPO3 найчастіше використовують сайти, котрі знаходяться у топ 100 000 і 1 000 000.

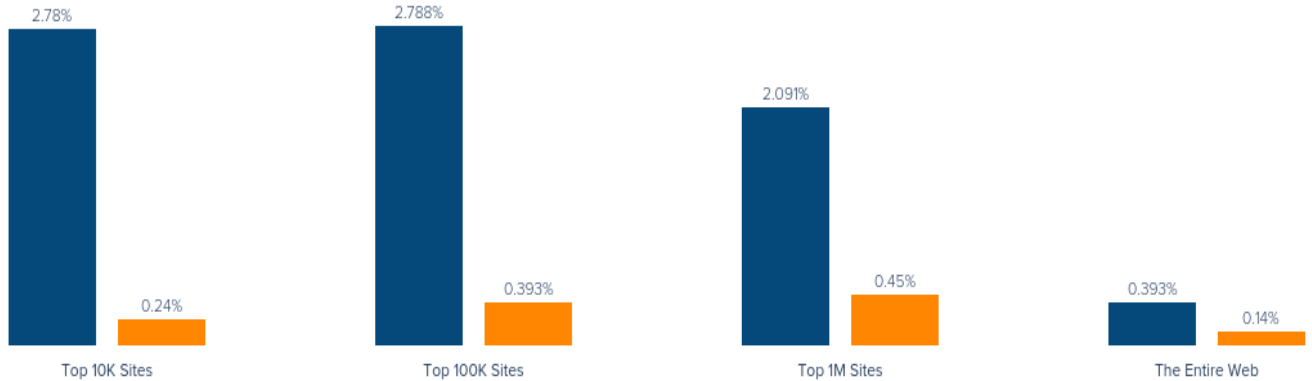


Рис. 2. Частка ринку за найкращими веб-сайтами на базі Drupal і TYPO3.

TyPO3 відносно часто використовується для корпоративних сайтів важкої індустрії, освітніх, медичних і наукових порталів (рис. 3). У своє чергу Drupal часто обирають для розробки платформ у сферах юриспунденції, державних установ, електроніки та технологій [7].

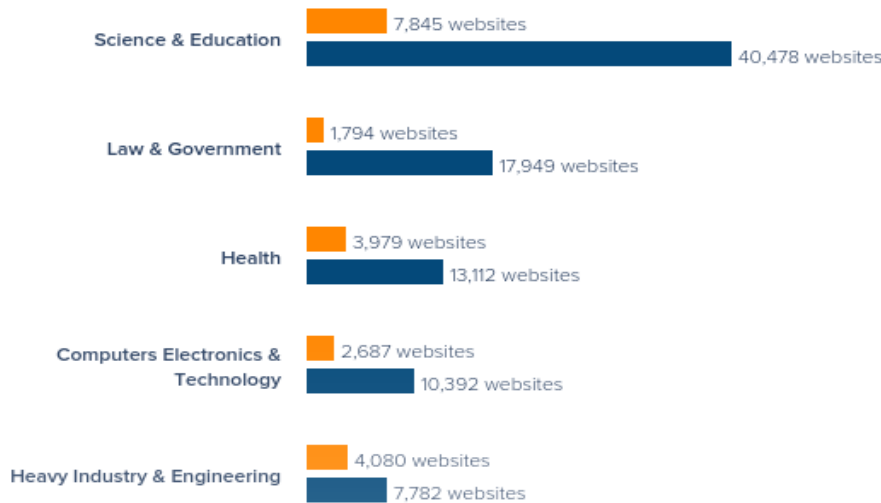


Рис. 3. Категорії веб-сайтів на базі Drupal і TYPO3.

Ознайомитись з прикладом сайту, що використовує Drupal (рис. 4), можна на різних демо сайтах [8]. Також там відкрити та дослідити можливості адміністративної панелі, редагування контенту, доступних модулів та конфігурацій. Ознайомитись з прикладом сайту, що використовує TYPO3 (рис. 5), можна на демо сайті, створеному засновниками проекту [9]. Там можна ознайомитись з можливостями адміністративної панелі, доступних модулів і конфігурацій, дослідити дерево сторінок сайту.

Система містить різні стандартні типи контенту, вбудований WYSIWYG редактор тексту SKEditor, попередній перегляд змін і налаштування відображення для мобільних пристроїв, дозволяє інтегрувати файли мультимедіа, дає змогу додавати, редагувати та видаляти елементи бази даних прямо у адміністративному інтерфейсі.

TyPO3 забезпечує широкий набір типових функцій для корпоративних сайтів: навіть базова версія включає численні опції, такі як багатомовність, можливість роботи з кількома сайтами та кількома доменами, а також комплексне керування правами. У порівнянні з Drupal кількість

доступних у базовій версії функцій адміністрування там значно більша. Функція кешування, що включена у ядрну частину продукту, також позитивно впливає на час завантаження сторінок [10]. У зв'язку з цим управління робочим процесом спрощується, як і підтримка різних сайтів і мов у межах однієї адміністративної платформи, відкриті інтерфейси дозволяють безпроблемно підключати класичні бізнес-додатки, такі як системи CRM і ERP [1].

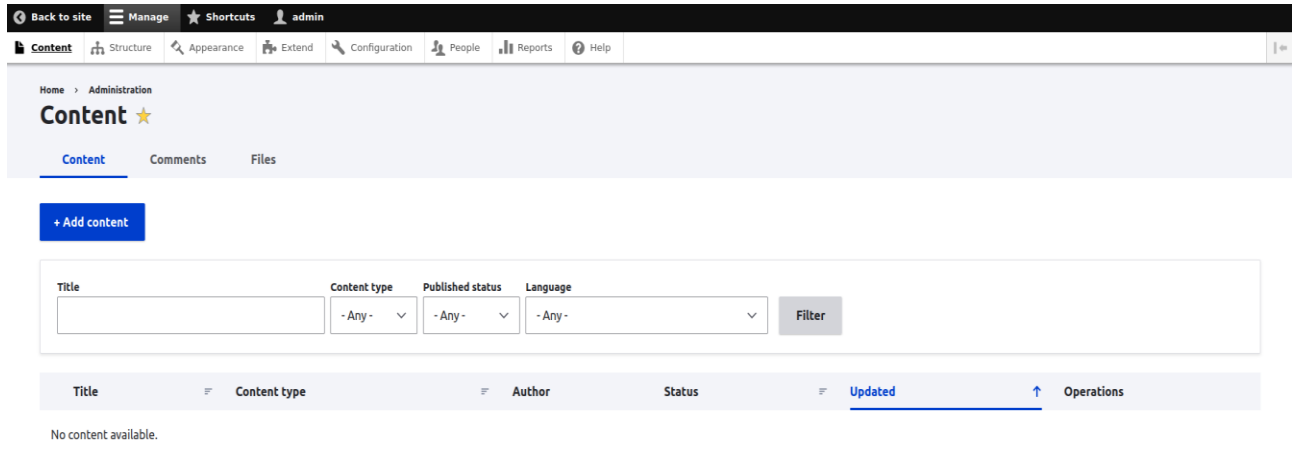


Рис. 4. Інтерфейс сайту на базі Drupal.

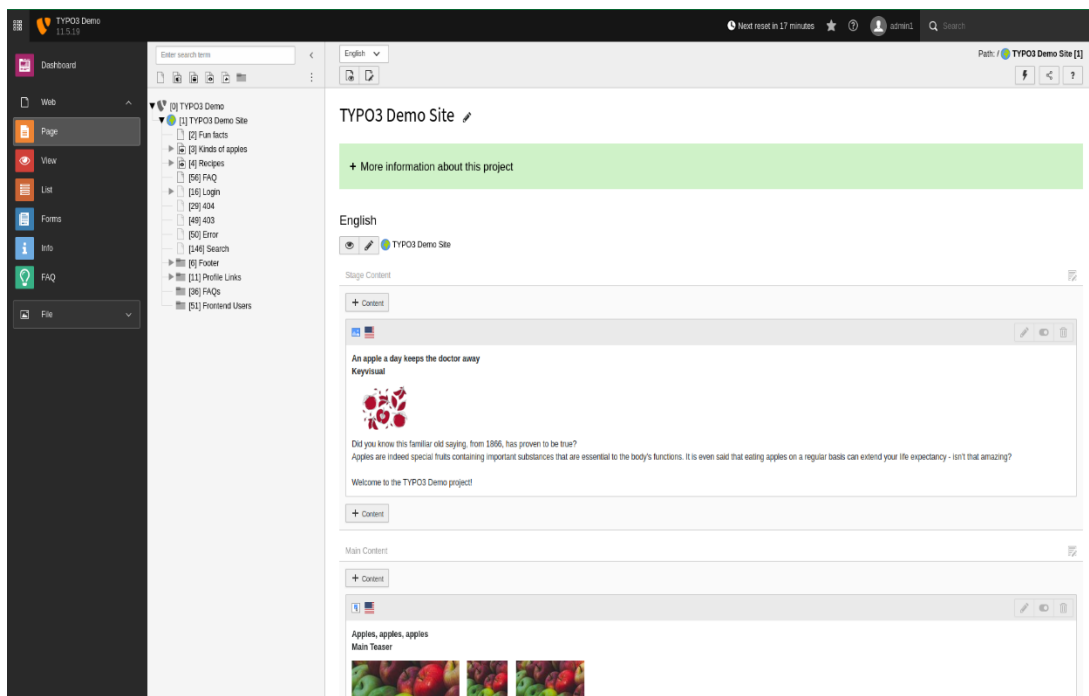


Рис. 5. Інтерфейс сайту на базі TYPO3.

Для встановлення та технічного обслуговування веб-сайтів на базі TYPO3 і Drupal CMS потрібен спеціалізований експерт – внутрішній або зовнішній, але не для редакційного обслуговування. Нетехнічний персонал може повноцінно користуватися функціями редагування та адміністрування CMS [2], змінювати та додавати контент, керувати користувачами та доступністю різних частин сайту після короткого періоду навчання.

Обидві системи дозволяють у гнучкий спосіб розширювати стандартний функціонал за допомогою розширень і модулів написаних спільнотою, а також шляхом додавання власних розширень. Стандартну роботу систем можна адаптувати за допомогою спеціальних патчів [3].

Про безпеку системи піклуються спільноти TYPO3 і Drupal, які відслідковують потенційні вразливості та проблеми з безпекою для різних версій продукту. Для TYPO3 існує також звичайна версія довгострокової підтримки (LTS), яка офіційно постачається з оновленнями безпеки та

обслуговування протягом 3 років безкоштовно [2]. Після цього версією можна користуватися ще 3 роки в рамках платної версії розширеної довгострокової підтримки (ELTS). Поки ви використовуєте одну з цих підтримуваних версій, існує невеликий ризик успішних атак на ваш веб-сайт.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Після короткого опису, технічних деталей і прикладів використання, систему проаналізували відповідно до групи популярних критеріїв CMS. Результат порівняння полягає в тому, що TYPO3 CMS добре підходить для використання з метою розробки сайтів середнього і великого масштабу завдяки її простоті використання та широкому управлінню правами. Інші важливі моменти можна реалізувати шляхом створення власних модулів, не перевантажуючи систему надто великою кількістю функцій, щоб служити основою для ефективної роботи без зайвого навчання. Система у багатьох випадках не поступається популярній альтернативі Drupal, а у деяких перевершує її.

Drupal – це більше структура для веб-додатків, ніж класична система керування вмістом. Він підходить для проєктів, вимоги яких чітко визначені та дуже індивідуальні. Завдяки компактному, але малофункціональному ядру, досвідчений веб-розробник може використовувати модулі, щоб адаптувати систему саме до ваших потреб. З іншого боку, TYPO3 – це потужна CMS для складних завдань: її можливості, більшість з яких уже доступні в базовій версії, ідеально адаптовані до вимог класичного корпоративного середовища – функціональні, безпечні, стабільні.

Обидві системи керування вмістом є потужними інструментами з перевагами та недоліками. Отже, головне питання полягає в тому, з якою метою буде використовуватись система. Drupal краще підходить спеціалізованим веб-сайтам та сайтам в області соціальних спільнот. TYPO3 переважає серед середніх і великих компаній, які потребують потужної адміністративної панелі, роботи з багатьма доменами та сайтами.

Список бібліографічного опису

1. Йозеф Макс Хайда (2015) WordPress, Drupal, Joomla та Typo3. Порівняння CMS з відкритим вихідним кодом та оцінка вартості для регіональної газети (Книга), Мюнхен, GRIN Verlag, 14 с.
2. Георгіос Дімуліс (2014) Огляд ринку, порівняння та аналіз переваг провідних систем керування веб-контентом з відкритим кодом (Книга), Мюнхен, GRIN Verlag, 72 с.
3. Йоганнес Крюгер (2006) TYPO3 як CMS для шкіл. Розвиток шкільної платформи (Книга), Мюнхен, GRIN Verlag, 124 с.
4. Домашня сторінка Drupal.org. <https://www.drupal.org/project/drupal/releases/9.4.8>
5. Статистика використання та частка ринку систем керування контентом. URL: https://w3techs.com/technologies/overview/content_management
6. Репозиторій розширень TYPO3. URL: <https://extensions.typo3.org>
7. Технології управління контентом Drupal проти TYPO3. URL: <https://www.similartech.com/compare/drupal-vs-typo3>
8. Softaculous – демонстрація Drupal. URL: <https://www.softaculous.com/demos/Drupal>
9. Демонстраційний проєкт TYPO3. URL: <https://demo.typo3.org/>
10. Порівняння CMS, частина 2: Typo3 проти Drupal. URL: <https://www.wus.agency/agentur/weisheiten-von-ws-digitalagentur/der-cms-vergleich-teil-2-typo3-vs-drupal>

References

1. Josef Max Hajda (2015) Wordpress, Drupal, Joomla und Typo3. Vergleich von OpenSource CMS und Nutzwerteinschätzung für eine Regionalzeitung (Boock), Munich, GRIN Verlag, 14 p.
2. Georgios Dimoulis (2014) Marktüberblick, Vergleich und Nutzwertanalyse führender Open Source Web-Content-Management-Systeme (Boock), Munich, GRIN Verlag, 72 p.
3. Johannes Krüger (2006) TYPO3 als CMS für die Schule. Entwicklung einer Schulplattform (Boock), Munich, GRIN Verlag, 124 p.
4. Drupal.org home page. URL: <https://www.drupal.org/project/drupal/releases/9.4.8>
5. Usage Statistics and Market Share of Content Management Systems. URL: https://w3techs.com/technologies/overview/content_management
6. TYPO3 Extension Repository. URL: <https://extensions.typo3.org>
7. Drupal VS TYPO3 - Content Management Technologies. <https://www.similartech.com/compare/drupal-vs-typo3>
8. Softaculous - Drupal Demo. URL: <https://www.softaculous.com/demos/Drupal>
9. TYPO3 Demo Project. URL: <https://demo.typo3.org/>
10. Der CMS-Vergleich Teil 2: Typo3 vs. Drupal. URL: <https://www.wus.agency/agentur/weisheiten-von-ws-digitalagentur/der-cms-vergleich-teil-2-typo3-vs-drupal>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19>

UDC 621.396

Романюк Валерій Антонович, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-6218-2327>

Беляков Роберт Олегович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9882-3088>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

OBJECTIVE CONTROL FUNCTIONS OF FANET COMMUNICATION NODES OF LAND-AIR NETWORK

Romaniuk V., Bieliakov R. Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. The analysis and classification of the tasks of managing communication aerial platforms belonging to the FANET class was carried out. Possible control objects and main optimization parameters in air communication networks according to the levels of the OSI reference model are given. A set of target functions of the management of communication air networks is defined, their relationship and the order of use by the network management system when making decisions on the management of node and network resources are determined.

Keywords: objective function, wireless sensor network, monitoring, control system.

Романюк В. А., Беляков Р. О. Цільові функції управління комунікаційними вузлами FANET наземно-повітряної мережі. Проведено аналіз та класифікацію задач управління комунікаційними аероплатформами, що відносяться до класу FANET. Наведено можливі об'єкти управління та основні параметри оптимізації в повітряних комунікаційних мережах за рівнями еталонної моделі OSI. Визначено множину цільових функцій управління комунікаційними повітряними мережами, визначено їх взаємозв'язок та порядок використання системою управління мережею при прийнятті рішень з управління вузловими та мережевими ресурсами.

Ключові слова: цільова функція, комунікаційна аероплатформа, комунікаційна повітряна мережа, система управління.

Actuality.

FANET (Flying Ad Hoc Network) is a special type of peer-to-peer self-organized network based on unmanned aerial vehicles (UAV) [1]. These networks provide a wide range of tasks for both civil and special applications.

The organization of communication of this type is necessary for the performance of tasks of observation, monitoring, reservation of terrestrial communication networks, etc.

The aerial network consists of a certain number of communication aerial platforms (CAP), which can be located in defined geographical areas to provide wireless sensor network data collection, coverage of the fixed and mobile components of terrestrial communication networks.

Thus, information received by a subscriber of a MANET (VANET) type network is transmitted to special gateways directly or by relaying through intermediate nodes. With different remoteness of subscribers, or if the remoteness of subscribers or the monitoring area is very large, communication aerial platforms can be used as gateways as relay nodes [2].

In the conditions of densely populated cities, different speeds of movement of subscribers, different types of traffic between them, the task of implementing optimal network management solutions can be significantly complicated. The influence of the listed limitations becomes critical, especially in the conditions of conducting modern wars, or during the conduct of active combat operations in the tactical chain of command of troops, which are characterized by various stochastic features - high speeds, uneven acceleration, the trajectory of the movement of combat vehicles, personnel with available means of communication connection, different characteristics of the surrounding environment, different technical capabilities of end devices, etc.

Setting a scientific task.

Under such conditions, a possible way out of the situation is the use of CAPs built according to the Ad-Hoc or MANET (Mobile Ad-Hoc) principle [2], which allows creating a radio network capable of self-organization and adaptation of nodes to operating conditions that cannot be predicted during the design process. Such CAPs, integrated into FANET type air communication network, will function in automatic or semi-automatic mode, and, by their very nature, will act as a connecting link of land-air networks (LAN).

For this, each network node must have a control system (CS) capable of making decisions based on a decentralized principle in order to ensure the specified quality of traffic service that will be transmitted to the LAN [3].

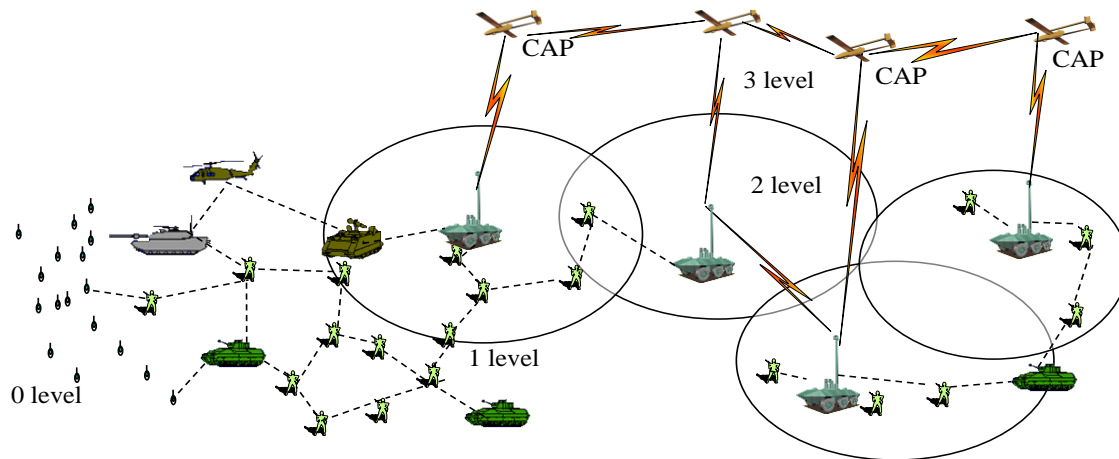


Figure 1. Prospective architecture of a mobile land-air network

The control process in node-type networks is implemented by collecting and analyzing information about the state of the network, after which a control decision is made based on the target control functions depending on the quality requirements and the type of traffic.

It should be noted that the parameters of the nodes of the land component and air nodes are heterogeneous, which complicates the process of selecting target functions, taking into account the target functions of neighboring nodes and the target function of managing the entire LAN (or its zone or level).

In this regard, *the scientific task*, which is solved in this article, consists in determining the set of target functions of the control of the FANET-class CAP, conducting their classification, determining the relationship, features and order of their use by the network management system.

Research analysis.

In the course of previous studies, approaches to the optimization of MANET class radio networks according to one or several indicators were proposed [4-7]. In particular, in [4] it is proposed to manage the energy consumption of batteries, in [5] - to perform multi-criteria optimization of the route taking into account its mobility, in [6] - to optimize the network topology according to several indicators, in [7] - to take into account the type of traffic, etc. However, the unpredictability of the operating conditions of radio networks of the MANET class leads to the need to interpret the fact that the target control functions are not static, but are determined in time depending on the stages and control functions, as well as the state parameters of the control object (objects) (node, radio channel, route, zone, network) and available resources [8].

The purpose of the article is to determine the target functions of managing FANET communication nodes of land-air networks, to determine directions, approaches and methods of their use in the conditions of conducting modern hostilities and performing other special tasks of monitoring and ensuring information exchange.

Presenting main material.

In the general case, the following management tasks exist for the FANET-class spacecraft (Fig. 2):

are implemented at the planning stage (clarification of tasks - aerial reconnaissance, use of spacecraft as mobile sensor nodes, repeaters), study of application conditions, selection of UAV type; deployment (identification of areas/routes, provision of tethering, determination of flight tasks); operational management (support of flight tasks, support of communication tasks by a group of spacecraft or autonomously), i.e. at various stages of LAN management;

provide various functions: changing the trajectory, speed, acceleration of a single UAV or as part of groups, mobile nodes of the land network; determination of target coordinates, UAV energy resource management, etc.); coverage of the monitoring or communication zone (definition of the "responsibility zones" of the CAP, the priority group of subscribers of the land component, the sequence of work, etc.); ensuring the quality of data transmission (routing management, topology management, load management, etc.);

applied to various objects (the entire LAN, a separate area of the land component, the spacecraft network, the direction of information transmission, the route, the radio channel of the spacecraft-land component node), which requires coordination and coordination of target functions;

definition of target functions that may contradict each other;

statements of target functions (mathematical apparatus of clear or fuzzy logic, representation of processes as mass service tasks, methods of describing different types of routing, etc.);
 implementation in conditions of high dimensionality of the network and the dynamic nature of its topology change;
 formation of a complete interrelated group of indicators for assessing the effectiveness of LAN functioning;
 collection of control information about the state of LAN nodes and its elements.

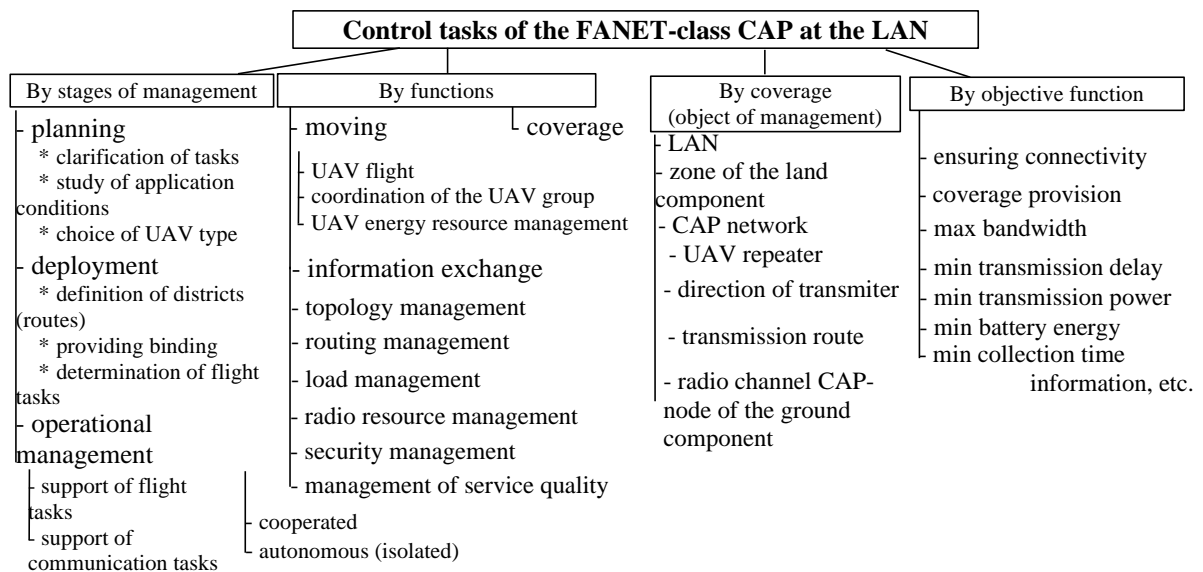


Figure 2. Classification of FANET management tasks with CAP as part of LAN

In modern LANs, management functions are partially performed centrally (by control centers), regardless of the trend of decentralization and self-organization networks (that is, part of the functions are performed by LAN nodes). Therefore, conditionally, management functions can be divided into groups: network (zone) and user goals. Thus, for the first group, it is necessary to achieve optimization of efficiency indicators, for the second, the appropriate quality of information exchange between LAN nodes.

Network (zonal) management goals include the following optimal parameters $C = \{c_j\}, j = \overline{1, J}$: productivity of the entire LAN or its zone; transmission power of network nodes or its zone; degree of coverage of the monitoring and communication zone by communication aerial platforms (mobile or stationary nodes of the land component); structural reliability (connectivity) of LAN and its zones; the number of resources (stationary and mobile nodes, aerial platforms, etc.) that must be used to achieve a certain goal; time of operation of the air network on the spacecraft; the volume of service traffic, which is generated to collect information about the state of the nodes of the land component; time of planning, deployment, restoration of the network on the spacecraft; security settings.

The main limitations are the resources and parameters of the spacecraft: power batteries, bandwidth of radio channels, range of radio communication, memory volumes, speed of information processing by processors, class of used antenna devices (directed/non-directed), etc.

The second group of management goals includes:
 optimization of the bandwidth of the LAN node;

message transmission delay time depending on the type of information – $\xi = \overline{1,3}$, where 1 – video, 2 – voice, 3 – data;

transmission power;

specific energy consumption per bit of information;

management of the area of the monitoring/communication area;

network topology adaptation time when reducing the number of CAPs, etc.

The scheme of determining target functions by the nodal control system. In the table 1 shows the possible control objects and the main optimization parameters. As mentioned above, the unpredictability of the operating conditions of the NPM, the decentralized principle of their management and the availability

of various types of information for transmission (video, speech, data) determine the requirements for the control system of each node and the selection of target control functions, taking into account the following factors:

1. The state of the node itself, which is directly determined by a set of its parameters (real bandwidth of radio channels, range of radio connectivity, available neighbors, status of queues, presence, type and magnitude of change in input load, mobility, dynamics of changes in existing connections with neighbors, presence, number and quality of constructed routes, etc.).

Table 1. Management objects and main parameters of LAN optimization

OSI	Controlling influence of the node	Management objects	Basic parameters of optimization
Physical layer	Transmission power (direction), type of modulation, type of correction code, MIMO parameters, etc	Radio channel: CAP-CAP, land node-land node, land node-CAP	Bandwidth, battery power consumption, transmission power, etc
Data Link layer	MAC algorithms and their parameters, sizes of packets and receipts, etc	Radio channels within the radio connectivity of the zone	Bandwidth and transmission time in the channel, battery energy consumption, amount of service information, etc
Network layer	Routing algorithms, queue management algorithms, load management algorithms, topology management algorithms	One or more transmission routes (network area or entire network, respectively), topology, queues, etc	Scope of service information, route parameters (time of construction and existence, quantity, throughput, delivery time, battery energy consumption, etc.), topology
Transport layer	Transport layer exchange algorithms	Communication direction	Data transmission quality parameters in the direction
Application layer	Algorithms (protocols) of application-level information exchange, coordination and intellectualization according to OSI - layers, network zones, the entire network	Node, neighbor nodes, network zone, entire network	Bandwidth, battery power consumption, transmission security, task completion time, etc

2. Node resources are hardware (potential bandwidth of the radio channel, available amount of power battery energy, processor speed, transmitter power, etc.), software resources (control algorithms, control protocols at various OSI levels and functional subsystems, level of intellectualization of control processes, etc.).

3. Each node constantly (actively and/or passively) collects information about the state of: neighboring nodes, routes and directions of transmission, network (zone) and determines (identifies) its state based on a set of indicators [4, 9].

4. The state of the network (determined by the state of nodes, channels, directions, zones and the entire network, availability of resources) and the dynamics of its change.

5. The type of information (traffic), which determines the requirements for transmission quality (transmission time and jitter, number of errors, etc.).

The generalized algorithm for determining target functions by the control system of each node consists of three stages (Fig. 3).

The node constantly analyzes its state and performs its identification.

1. The node constantly collects information about the state of the network and identifies the state of the network (its zone). In the conditions of the impossibility of collecting all information about the state of the network and its rapid aging of the system (that is, incomplete information about the state of networks), it is suggested to use the apparatus of fuzzy logic for the implementation of the identification process [2].

2. The node's decision-making system based on the identified states of the node, the network and

requirements for the quality of information exchange regarding the information that the node has for transmission (Fig. 3):

- defines the current set of optimization parameters - network and user;
- defines management objects (Table 1);
- defines the current target function (functions) of C_{opti} management;
- coordinates it with neighboring nodes (if nodes are of the same rank) or imposes it on subordinate nodes (if it is a network control center);
- selects the controlling influence by stages, coverage, functional subsystem, OSI level.

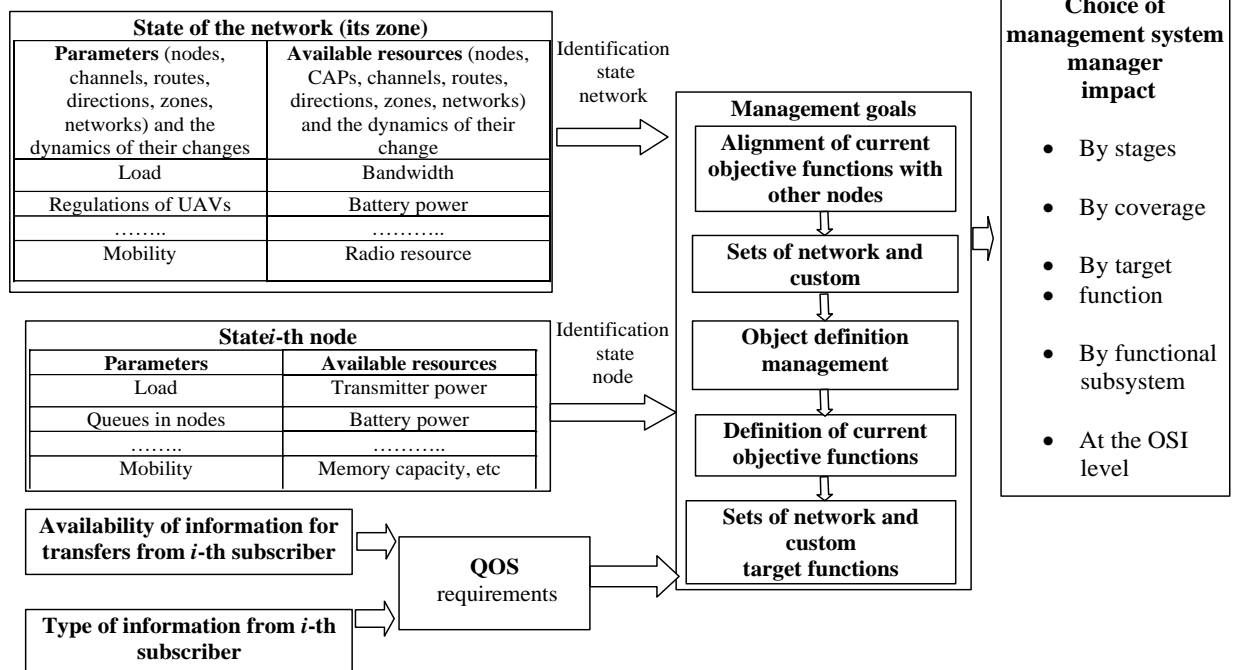


Figure 3. Scheme of determining target functions by the nodal control system

In [2], the interdependence of the goals, as well as their hierarchical nature, the decomposition of the global goal of network management into functions, each of which is divided into tasks and implemented at the OSI levels, is carried out. The goal is to obtain the priority vector of the elements of the lower level of the hierarchy in relation to the goal - the element of the first level using the method of analysis of hierarchies or the method of convolution of fuzzy relations.

Target structure (TS) of LAN management:

$$TS \rightarrow H = \{C_1, R_{1m(1)} \{C_{21}, C_{22}, \dots, C_{2m(2)}\}, R_{2m(2)} \{C_{31}, C_{32}, \dots, C_{3m(3)}\}, \dots, R_{km(k)} \{C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{km(k)}\}\},$$

where C_1 – main control target, $C_{im(i)}$ – $m(i)$ -th subtarget i -th level in TS, $i=1..k$, R – set of relations on a subgoal structure. The proposed construction of the hierarchy of the process of choosing alternatives and the comparison of decisions at each level of the hierarchy based on the normalization of the received evaluations of the alternatives (using the weighting procedure of the method of analysis of hierarchies or the method of convolution of fuzzy relations).

Conclusions and prospects for further research.

As a result of the research, it was established that the task of making a decision on network management (choice of management methods) is reduced to the task of hierarchical targeted dynamic evaluation of alternatives with unclear initial data.

Thus, the classification of the target functions of managing tactical radio networks with communication aerial platforms has been carried out. A new approach to the formation of management objective functions in these radio networks is proposed: each node determines the current objective function in time depending on the type of traffic, the situation on the network and the available network resources. The task of making a decision regarding the choice of the target function of radio network management is reduced to a hierarchical target evaluation of alternatives.

Given the incompleteness and inaccuracy of information about the state of the land-air

communication network, the complex use of fuzzy logic apparatus and neural networks is proposed for the implementation of the presented scheme of formation of target control functions. In the course of further research, methods of coordinating the target functions of LAN nodes will be developed.

References

1. Dargie W. Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice / Dargie W., Poellabauer C. – New York: John Wiley and Sons, 2010. – 248 p.
2. Sitharama I. S. Distributed Sensor Networks, Second Edition: Image and Sensor Signal Processing / Sitharama Iyengar S., Richard R. – USA: CRC Press, 2012. – 764 p.
3. Zhuk O. Tactical sensor network management system / O. V. Zhuk, V. A. Romaniuk, O. Ya. Sova. // Collection of scientific papers МІТІТ NTUU „КПІ”. – 2008. – № 2. – P. 88 – 96.
4. Olascuaga-Cabrera J. G. A multi-objective PSO strategy for energy-efficient ad-hoc networking / Olascuaga-Cabrera J.G., Lopez-Mellado E., Mendez-Vazquez // IEEE Cybernetics Systems, Man (SMC) Conference, 2011. – P. 235 – 240.
5. Babaei H. Multi Objective AODV Based On a Realistic Mobility Model / Babaei H., Romoozi M. // IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 3, No 3, May 2010. – P. 152 – 155.
6. Banner R. Multi-Objective Topology Control in Wireless Networks / Banner R., Orda A. // In Proc. IEEE INFOCOM, 2008. – P. 452 – 456.
7. Selvi R. Multiple-objective optimization of multimedia packet scheduling for ad hoc networks through hybridized genetic algorithm / Selvi R., Rajaram R. // The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA). – Vol.3, No.3. – August 2011. – P. 368 – 372.
8. Romaniuk V. A. Target functions of operational management of tactical radio networks // Collection of research papers. – МІТІТ NTUU „КПІ”. – 2012. – №1. – P. 109 – 117.
9. Bieliakov R.O. Romaniuk V.A. Routing method based on the neural network learning algorithm in FANET / R. O. Bieliakov, V. A. Romaniuk // Materials of the II International Scientific and Technical Conference "Systems and Technologies of Communication, Informatization and Cybersecurity: Current Issues and Development Trends", 2022. – C. 18 – 25.

Список бібліографічного опису

1. Dargie W. Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice / Dargie W., Poellabauer C. – New York: John Wiley and Sons, 2010. – 248 p.
2. Sitharama I. S. Distributed Sensor Networks, Second Edition: Image and Sensor Signal Processing / Sitharama Iyengar S., Richard R. – USA: CRC Press, 2012. – 764 p.
3. Жук О. В. Система управління тактичними сенсорними мережами / Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 2. – С. 88 – 96.
4. Olascuaga-Cabrera J. G. A multi-objective PSO strategy for energy-efficient ad-hoc networking / Olascuaga-Cabrera J.G., Lopez-Mellado E., Mendez-Vazquez // IEEE Cybernetics Systems, Man (SMC) Conference, 2011. – P. 235 – 240.
5. Babaei H. Multi Objective AODV Based On a Realistic Mobility Model / Babaei H., Romoozi M. // IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 3, No 3, May 2010. – P. 152 – 155.
6. Banner R. Multi-Objective Topology Control in Wireless Networks / Banner R., Orda A. // In Proc. IEEE INFOCOM, 2008. – P. 452 – 456.
7. Selvi R. Multiple-objective optimization of multimedia packet scheduling for ad hoc networks through hybridized genetic algorithm / Selvi R., Rajaram R. // The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA). – Vol.3, No.3. – August 2011. – P. 368 – 372.
8. Романюк В. А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами // Збірник наукових праць. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2012. – №1. – С. 109 – 117.
9. Беляков Р. О., Романюк В.А. Метод маршрутизації на основі нейромережевого алгоритму навчання в FANET / Р. О. Беляков, В. А. Романюк // Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції «Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку», 2022. – С. 18 – 25.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-20>

УДК 62-23

Борисов Олег Володимирович, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-9460-2605>

Борисов Ігор Володимирович, к.т.н. доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2276-9913>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ

ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ

Борисов О.В., Борисов І.В. Використання дронів для покращення ефективності електрозв'язку в умовах бойових дій. У статті розглянуто можливості використання дронів для покращення ефективності електрозв'язку в умовах бойових дій. Аналізуються питання технічного забезпечення дронів та їхньої здатності забезпечити надійний та швидкий електрозв'язок в умовах бойових дій. Описується практичне використання дронів для електрозв'язку в умовах бойових дій та розглядається можливість їх використання для забезпечення електрозв'язку на місцях, де відсутня або пошкоджена звичайна інфраструктура зв'язку.

Ключові слова: дрони (БПЛА), електрозв'язок, бойові дії, технічне забезпечення, місцевість.

BorISOV O.V., Borisov I.V. The use of drones to improve the efficiency of communication in combat conditions.

The article discusses the possibilities of using drones to improve the efficiency of communication in combat conditions. The issues of technical equipment of drones and their ability to provide reliable and fast communication in combat conditions are analyzed. The practical use of drones for communication in combat conditions is described, and the possibility of their use to provide communication in places where normal communication infrastructure is absent or damaged is considered.

Keywords: drones (UAVs), communication, combat operations, technical equipment, terrain.

Постановка завдання

Військові конфлікти зазвичай здійснюються в умовах знищення інфраструктури зв'язку, що може привести до значних труднощів у комунікації та координації дій. У зв'язку з цим, розглядається можливість використання дронів для забезпечення ефективного та захищеного електрозв'язку в умовах бойових дій. Основним завданням статті є аналіз можливостей використання дронів для забезпечення ефективного електрозв'язку в умовах бойових дій та опис практичного використання дронів для цієї мети.

Аналіз досліджень

Дослідження проведені в рамках статті, показали, що використання дронів може значно покращити ефективність електрозв'язку в умовах бойових дій. Насамперед відстань між військовими пунктами може бути значно скорочена завдяки використанню дронів, що можуть передавати сигнали на велику відстань.

Крім того, дрони можуть бути використані для підключення військових пунктів, які знаходяться в труднодоступних місцях, наприклад, в горах чи в лісах. В таких умовах звичайні методи підключення можуть бути неможливими, але дрони можуть забезпечити стабільний сигнал навіть у найскладніших умовах.

Окрім цього, дрони можуть бути використані для забезпечення безпеки військових пунктів. Вони можуть виявляти загрози та передавати інформацію про них до військових на пунктах управління.

Метою статті є показати, що використання дронів може покращити ефективність електрозв'язку в умовах бойових дій та забезпечити більшу безпеку військових пунктів управління військами.

Виклад основного матеріалу

Дрони можуть бути використані для покращення ефективності електрозв'язку в умовах бойових дій. До цього часу військові Збройних Сил України широко використовували супутниковий зв'язок для комунікації, але з початком повномасштабного вторгнення даний зв'язок був практично знищений після ряду кібератак. Розглянемо приклад використання дронів (БПЛА) в якості повітряного ретранслятора, це перспективна технологія, яка може бути використана в різних сферах, де необхідно забезпечити якісну інформаційну підтримку в умовах бойових дій, після ракетних ударів які призводять до аварій на лінії зв'язку, та інших надзвичайних ситуацій.

Також БПЛА можуть бути обладнані різними видами антен, які забезпечують передачу сигналу на різних висотах і в різних напрямках. Також можна використовувати кілька дронів одночасно для забезпечення широкого покриття.

Розглянемо декілька прикладів застосування даної системи організації зв'язку та взаємодії в реальних бойових діях. Одним з військових прикладів застосування дронів ретрансляторів є їх використання під час війни в Сирії. Військові США використовували дрони ретранслятори для підтримки комунікаційних зв'язків між військовими підрозділами, які знаходилися на значній відстані один від одного, а також для забезпечення зв'язку між повітряними і наземними елементами армії.

У 2017 році військові США використали дрони ретранслятори RQ-7 Shadow (Рис.1), щоб підтримувати комунікації під час боїв за звільнення міста Ракки в Сирії. Використання дронів дозволило військовим підрозділам зберігати зв'язок, незважаючи на те, що міські будівлі перешкоджали традиційному радіозв'язку розглянуто в [1, 2, 3].



Рис.1 RQ-7 Shadow

Дрони ретранслятори також були використані під час війни в Афганістані для забезпечення зв'язку між американськими військовими підрозділами, які знаходилися на значній відстані один від одного. Використання дронів дозволило зменшити витрати на комунікації та зберегти життя військових, які раніше виконували ці завдання.

Таким чином, дрони ретранслятори довели свою ефективність у підтримці комунікаційних зв'язків між військовими підрозділами в умовах бойових дій. Вони можуть бути використані як у повітрі, так і на землі, і забезпечувати стійкі зв'язки в складних умовах. Дана технологія яка вже починає набирати обертів в Україні та розроблено ряд прототипів (рис.2) які здатні підтримати надійний та стійкий зв'язок під час наступальної операції по деокупації Криму у зв'язку з складним ландшафтом місцевості. Дані прототипи працюють в діапазоні систем зв'язку які використовує ЗС України та успішно пройшли випробування. В Україні в 2014 році використовували ретранслятор на літаках ИЛ-76 під час боїв на Савур-могили, літаки використовувалися через те що на той час безпілотна авіація не використовується як засіб організації зв'язку, а лише як коригування вогню.

Зокрема, дрони можуть бути використані також для передачі даних між базовими станціями та мобільними телефонами в областях з незадовільним покриттям сигналу мобільного зв'язку. Це може допомогти забезпечити доступ до інтернету та інших послуг зв'язку у віддалених та важкодоступних районах.

Отже, і саме головне при створенні дронів та БПЛА с ретрансляторами потрібно враховувати захист від дії засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) є надзвичайно важливою задачею, особливо у військових діях. Існує кілька способів захисту дронів від РЕБ, які можуть бути використані для зменшення ризику їх знищення або заблокування.



Рис.2. Прототипи дронів ретрансляторів на базі комп'ютерів

Одним з ефективних методів є застосування технології "чорного ящика". Це означає, що дрон оснащується додатковою системою захисту, яка дозволяє автоматично виявляти засоби РЕБ і переключатися на інші канали зв'язку або повертатися до бази розглянуто в [4, 5, 6]. Також можуть бути використані технології шумозаглушення та зміни частоти передачі сигналу, що знижує ефективність дії засобів РЕБ. Іншим методом захисту є використання криптографічних систем. Застосування шифрування сигналу перед передачею даних може запобігти перехопленню інформації та забезпечити конфіденційність. Також можуть бути використані різноманітні матеріали, що забезпечують екранування від радіочастотних сигналів, такі як спеціальні металеві плівки або композитні матеріали. Зрештою, для захисту дронів від дії засобів РЕБ, необхідно поєднувати різні технології та підходи, а також проводити систематичне тестування та оновлення захисних методів відповідно до змін у технологіях РЕБ розглянуто в [7, 8].

Одне з найбільш важливих застосувань дронів та безпілотників – створення командних центрів, які можуть діяти з безпечної відстані.

Командний центр безпілотників — це віддалене місце, звідки здійснюються операції на безпілотниках. Він розроблений як мобільний і може бути встановлений у будь-якому місці, залежно від вимог місії. Командний центр зазвичай складається з трейлера або контейнера, в якому розміщено необхідне обладнання для роботи безпілотника. Центр оснащений системою зв'язку, яка дозволяє оператору дрона спілкуватися з дроном та іншими членами команди.

Використання командних центрів безпілотників зростає, і кілька країн використовують їх для військових операцій. Одним із найбільш важливих застосувань командних центрів безпілотників є спостереження та розвідка. У 2016 році ВПС США розгорнули командний центр безпілотників для підтримки контртерористичної місії в Африці. Центр використовувався для управління безпілотниками MQ-9 Reaper, які проводили спостереження та розвідку над Сомалі, Ефіопією та Єменом.

Розглянемо як можуть застосуватися MQ-9 Reaper у Збройних силах України. MQ-9 Reaper може бути дуже ефективним і принести значну користь в різних військових операціях. Зокрема, дрони MQ-9 Reaper можуть бути використані для проведення розвідки та збору інформації про противника, а також для підтримки вогню під час бойових дій.

Його основні характеристики включають дальність польоту до 1850 км, максимальну швидкість до 482 км/год та можливість перебування в повітрі до 27 годин. Крім того, MQ-9 Reaper обладнаний багатофункціональною оптико-електронною системою, яка дозволяє виконувати завдання надзвичайної точності в режимі реального часу розглянуто в [8, 9, 10].

Завдяки великій витривалості та дальності дії, MQ-9 Reaper може проводити розвідку на значній території, надавати військовим командирам точну та швидку інформацію про розташування противника, а також про дії військових підрозділів. Крім того, MQ-9 Reaper може бути оснащений додатковими сенсорами, такими як інфрачервона камера, що дозволяє збирати інформацію про противника навіть у нічний час. Щодо підтримки вогню, MQ-9 Reaper може бути оснащений бойовими навігаційними системами та зброєю, такою як ракети Hellfire або бомби JDAM. Це дозволяє дрону відстежувати та атакувати цілі на великій відстані, що забезпечує безпеку

військовим підрозділам та збільшує їх ефективність у бойових діях. Крім того, MQ-9 Reaper може бути використаний для моніторингу границь та захисту території від нелегальної імміграції та інших загроз. Завдяки широкій функціональності та можливостям, які надає MQ-9 Reaper, дрон може стати важливим інструментом для Збройних сил України у забезпеченні безпеки та виконанні різноманітних завдань у сучасних умовах ведення бойових дій розглянуто в [11, 12].



Рис.3 MQ-9 Reaper

Отже, для ефективної роботи центрів керування дронами потрібне спеціальне обладнання. Одним із найважливіших елементів обладнання є система зв'язку. Система повинна мати можливість спілкуватися з дроном та іншими членами команди в режимі реального часу. Він також повинен мати можливість передавати відео та інші дані, зняті дроном.

Ще одна важлива частина обладнання, що використовується в центрах керування безпілотниками, — наземна станція керування. Наземна станція керування використовується для керування польотом безпілотника та його корисним навантаженням. Він оснащений консоллю управління, яка в режимі реального часу відображає дані з датчиків дрона, такі як його висота, швидкість і місцеперебування.

Командні центри безпілотників є важливим компонентом сучасних військових операцій, що дозволяє військовослужбовцям проводити операції з безпечної відстані. Оскільки технологія продовжує розвиватися, ми можемо очікувати, що в майбутньому буде більше застосувань командних центрів дронів.

Дивлячись у майбутнє, розвиток штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML) може революціонізувати використання центрів управління дронами. Ці технології можна використовувати для автоматизації деяких аспектів роботи безпілотників, що робить їх більш ефективними та зменшує навантаження на людей-операторів. Наприклад, штучний інтелект можна використовувати для аналізу кадрів, зроблених дроном, у режимі реального часу, надаючи цінну інформацію військовослужбовцям.

Крім того, мініатюризація технології безпілотних літальних апаратів може призвести до розробки менших і легших командних центрів безпілотників. Це дозволить військовослужбовцям бути більш мобільним та легше транспортувати обладнання, роблячи його більш адаптованим до різних вимог місії.

Як і з будь-якою іншою технологією, існують також деякі потенційні проблеми, пов'язані з центрами управління дронами. Однією з головних проблем є можливість кібератак на системи зв'язку. Якщо система буде скомпрометована, це може призвести до втрати контролю над безпілотником, поставивши під загрозу успіх місії та потенційно завдавши шкоди цивільним особам тому не слід зав'язуватися тільки на безпілотні командні центри, а мари резервні та додаткові наземні пункти управління.

Незважаючи на ці проблеми, переваги командних центрів безпілотників переважають ризики, що робить їх все більш популярним варіантом для військових операцій. Здатність вести операції з безпечної відстані та універсальність дронів роблять їх неоціненним інструментом для військовослужбовців.

Підсумовуючи, командні центри безпілотників є ключовим елементом сучасних військових операцій. Вони дозволяють військовослужбовцям проводити операції дистанційно, знижуючи ризик для життя людей. Реальні застосування командних центрів безпілотних літальних апаратів включають спостереження, розвідку та управління надзвичайними ситуаціями. Для ефективної роботи центри керування дронами потребують спеціального обладнання, наприклад системи зв'язку та наземної станції керування. Хоча з цією технологією пов'язані потенційні проблеми, її переваги роблять її неocenним інструментом для сучасних військових операцій.

Метою цієї статті було провести аналіз використання дронів для покращення ефективності електрозв'язку, та ведення управління в умовах бойових дій. Для досягнення цієї мети, був проведений аналіз наукових статей, пов'язаних з використанням дронів у телекомунікаціях, а також інформації про військові дії в різних регіонах світу, де застосовується дана технологія.

Основний матеріал статті містить опис можливостей використання дронів для покращення ефективності електрозв'язку в умовах бойових дій, розгляд можливостей використання дронів для створення та забезпечення мережі зв'язку в умовах дії РЕБ, а також використання командних центрів безпілотників під час проведення спеціальних операцій.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. В цієї статті підтверджуються, що використання дронів може значно покращити ефективність електрозв'язку в умовах бойових дій. Дрони можуть бути використані для створення та забезпечення мережі зв'язку, яка забезпечує зв'язок з військовими транспортними засобами та іншими зразками озброєння та військової техніки, та використання командних центрів безпілотників. В наступних статтях розглянемо більш детально технології зв'язку яку ми зможемо інтегрувати в єдину систему управління по стандартам НАТО.

Список бібліографічного опису

1. Bhardwaj, A., & Vijay, R. (2019). A review on the role of drones in modern warfare. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(1), 323-329.
2. Chen, Q., Chen, W., Li, Z., & Li, M. (2017). Unmanned aerial vehicle relay networks: performance and optimization. *IEEE Communications Magazine*, 55(4), 94-100.
3. Cheng, Y., Zhang, X., Zhang, H., & Zhang, Y. (2019). A survey of unmanned aerial vehicle relay networks for wireless communications. *Journal of Communications and Information Networks*, 4(3), 31-45.
4. Gupta, A., & Nandi, S. (2018). A survey of unmanned aerial vehicle networks for civil applications: a communications viewpoint. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 20(1), 263-287.
5. Le, H., Tuan, H. D., & Thanh, V. D. (2020). The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Military Communication Networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(5), 21-28.
6. Li, Y., Liu, Q., [Li, Z., Zhang, Y., & Wu, X. (2019). Unmanned aerial vehicle relaying for wireless communication networks: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 131, 28-45.
7. Wang, X., Zhang, Y., Zhao, Y., Liu, J., & Guizani, M. (2018). A Survey of Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: Recent Advances and Future Trends. *IEEE Access*, 6, 6657-6677.
8. The MQ-9 Reaper: The Most Feared U.S. Drone in the Sky" by Kyle Mizokami (The National Interest, 2019).
9. MQ-9 Reaper: A Multi-Mission Aircraft System" by Dr. Michael P. Owens (Air & Space Power Journal, 2011).
10. The MQ-9 Reaper: A Key Tool in Modern Warfare" by Bill Bostock (Business Insider, 2018).
11. MQ-9 Reaper UAV: A Force Multiplier in the War on Terror" by Reuben Johnson (Defense Media Network, 2013).
12. The Evolution of the MQ-9 Reaper: A Look at Its History and Capabilities" by Jack Murphy (SOFREP, 2020).

References

1. Bhardwaj, A., & Vijay, R. (2019). A review on the role of drones in modern warfare. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(1), 323-329.
2. Chen, Q., Chen, W., Li, Z., & Li, M. (2017). Unmanned aerial vehicle relay networks: performance and optimization. *IEEE Communications Magazine*, 55(4), 94-100.
3. Cheng, Y., Zhang, X., Zhang, H., & Zhang, Y. (2019). A survey of unmanned aerial vehicle relay networks for wireless communications. *Journal of Communications and Information Networks*, 4(3), 31-45.
4. Gupta, A., & Nandi, S. (2018). A survey of unmanned aerial vehicle networks for civil applications: a communications viewpoint. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 20(1), 263-287.
5. Le, H., Tuan, H. D., & Thanh, V. D. (2020). The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Military Communication Networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(5), 21-28.
6. Li, Y., Liu, Q., Li, Z., Zhang, Y., & Wu, X. (2019). Unmanned aerial vehicle relaying for wireless communication networks: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 131, 28-45.
7. Wang, X., Zhang, Y., Zhao, Y., Liu, J., & Guizani, M. (2018). A Survey of Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: Recent Advances and Future Trends. *IEEE Access*, 6, 6657-6677.
8. The MQ-9 Reaper: The Most Feared U.S. Drone in the Sky" by Kyle Mizokami (The National Interest, 2019).
9. MQ-9 Reaper: A Multi-Mission Aircraft System" by Dr. Michael P. Owens (Air & Space Power Journal, 2011).
10. The MQ-9 Reaper: A Key Tool in Modern Warfare" by Bill Bostock (Business Insider, 2018).
11. MQ-9 Reaper UAV: A Force Multiplier in the War on Terror" by Reuben Johnson (Defense Media Network, 2013).
12. The Evolution of the MQ-9 Reaper: A Look at Its History and Capabilities" by Jack Murphy (SOFREP, 2020).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-21>

УДК 62-23

Борисов Олег Володимирович, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-9460-2605>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

РОЛЬ НЕЙРОМЕРЕЖІ У ВІЙСЬКОВІЙ РОЗВІДЦІ ТА БОЙОВИХ ДІЯХ

Борисов О.В. Роль нейромережі у військовій розвідці та бойових діях. У цій статті розглядається роль нейромережі у військовому конфлікті та їх вплив на результати військових операцій. Розглядаються приклади використання нейромережі у різних галузях військової діяльності, включаючи розвідку, управління зброєю та аналіз даних. Буде розглянуто як переваги, так і недоліки використання нейромереж у військових операціях.

Ключові слова: нейромережі, БПЛА, управління, загрози, військова розвідка, бойові дії, навчання, підвищення кваліфікації, прогнозування поведінки ворога.

Borisov O.V. The role of neural networks in military intelligence and combat operations. This article examines the role of neural networks in military conflict and their impact on the outcomes of military operations. Examples of the use of neural networks in various fields of military activity, including intelligence, weapons control and data analysis, are considered. Both advantages and disadvantages of using neural networks in military operations will be considered.

Keywords: neural networks, UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), control, threats, military intelligence, combat operations, training, skill improvement, enemy behavior prediction.

Постановка завдання.

Визначити яку роль відіграють у розвідці та бойових діях нейромережі на прикладах країн НАТО, та змоги використання даної технології у ЗСУ для виконання бойових завдань.

Аналіз досліджень.

Військові операції є складними та небезпечними, і найчастіше вимагають високої точності та швидкості прийняття рішень. Нещодавні технологічні досягнення в галузі машинного навчання та штучного інтелекту надають нові можливості для вирішення таких завдань розглянуто в [1, 2, 3]. Зокрема, нейромережі надають потужний інструмент для аналізу та обробки даних, а також для автоматизації прийняття рішень.

Метою статті є здійснення аналізу перспективних напрямків впровадження нейромережі для швидкісної обробки даних та прийняття рішень.

Виклад основного матеріалу

Нейромережа відіграє важливу роль у розвідці та бойових діях, оскільки вони дозволяють швидко та ефективно обробляти великі обсяги даних, виявляти та аналізувати інформацію, а також керувати безпілотними літальними апаратами та іншими видами озброєння.

Одна з основних областей застосування нейромереж у розвідці – це обробка та аналіз великих обсягів різномірних даних, таких як сигнали різних датчиків, зображення з космічних супутників, відео та аудіозаписи. Нейромережа може виявляти та класифікувати об'єкти на зображеннях та відео, розпізнавати мовлення та визначати її зміст, а також аналізувати великі обсяги текстової інформації. Це дозволяє швидко виявляти потенційно небезпечні об'єкти та події, а також скорочувати час на прийняття рішень.

Нейромережа також широко застосовуються для управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА). Вони дозволяють БПЛА швидко обробляти дані з датчиків, приймати рішення про маршрут і поведінку та ефективно виконувати місії. Деякі нейромережі використовуються для управління БПЛА в автономному режимі без участі оператора.

Нарешті, нейромережі використовуються для виявлення цілей на землі та в повітрі. Наприклад, вони можуть бути використані для виявлення ворожих танків або бойових кораблів, а також для відстеження переміщення ворожих повітряних суден. Це дозволяє швидко реагувати на загрози та максимально ефективно використовувати озброєння.

Застосування нейромережі відіграє важливу роль у проведенні розвідки в бойових діях, оскільки вони можуть допомогти аналізувати величезні обсяги даних та приймати швидкі та точні рішення у реальному часі. Нижче представлені деякі з областей застосування нейромереж у розвідці та бойових діях розглянуто в [4, 5]:

1. Аналіз зображень та відео;

Нейромережа можуть бути використані для автоматичного аналізу зображень та відео з метою виявлення різних об'єктів, наприклад транспортних засобів, будівель, людей і т.д. Це може бути корисним для ідентифікації та відстеження цілей.

2. Управління безпілотними літальними апаратами;

Нейромережа можуть використовуватися для керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) та приймати рішення на основі даних, отриманих із датчиків БПЛА. Наприклад, нейромережу можуть використовуватися для виявлення та уникнення перешкод під час польоту.

3. Аналіз аудіо та текстових даних;

Нейромережа також можуть бути використані для аналізу аудіо та текстових даних. Наприклад, вони можуть використовуватися для розпізнавання мови та класифікації текстів на тему.

4. Прогнозування та передбачення;

Нейромережі можуть використовуватися для прогнозування та передбачення майбутніх подій. Наприклад, вони можуть бути використані для прогнозування погоди, поведінки ворога і т.д.

5. Штучний інтелект та прийняття рішень;

Нейромережа можуть використовуватися для штучного інтелекту та прийняття рішень. Наприклад, вони можуть використовуватися для автоматичного прийняття рішень про стратегію та тактику під час бойових дій.

6. Аналіз соціальних мереж;

Нейромережа можуть бути використані для аналізу соціальних мереж та моніторингу інформації в режимі реального часу. Наприклад, вони можуть використовуватися для відстеження потенційних загроз та знаходження опонентів які працюють на стороні ворога.

Використання нейромереж у розвідці та бойових діях може підвищити ефективність та точність операцій, зменшити ризики для життя та знизити витрати.

Нижче представлені деякі з реальних прикладів використання нейромереж у воєнних діях:

Один із випадкових випадків використання нейромереж у воєнних діях - це система управління безпілотним літальним апаратом (БПЛА) Northrop Grumman X-47B (Рис.1). Grumman X-47B був розроблений для використання на авіаносцях, в ньому використовувалася технологія нейромереж для автономного зльоту та посадки, а також для виконання місії на великій відстані від оператора.



Рис.1 Northrop Grumman X-47B

Система управління БПЛА X-47B включає нейронні мережі, які обробляють дані з різними датчиками і камерами на датчику, щоб автоматично приймати рішення про маршрут польоту і вибирати цілі. Наприклад, нейромережі несуть відповідальність за виявлення та виявлення цілей на основі обробки зображень за допомогою камери на борту, а також для прийняття рішень про маршрутизацію польоту на основі даних про погоду та інші виявлені випадки.

БПЛА Х-47В здійснював бойові завдання на відстані понад 2100 км для ураження цілей на полі бою у автономному режимі. У цьому прикладі показано, що нейромережі Організації Об'єднаних Націй для управління бойовими випадками та виконання складних місій.

Ще дин з найвідоміших випадків використання нейромереж у військових діях — це проект Maven (Машинне навчання для автоматичного аналізу відео), який був запущений Пентагоном у 2017 році. Цей проект використовує нейромережі для аналізу відео, отриманих з дронів, щоб автоматично виділяти людей та об'єкти на землі та допомагати скоротити час, необхідний для аналізу цих даних вручну.

За допомогою проекту Maven аналітики могли швидко отримувати дані про транспортні засоби та людей на землі, що давало оперативну реакцію на зміни ситуації на полі бою. Це приклад того, як нейромережі виявляють для розвідки основних цілей для ураження.

Однак використання нейромереж у розвідці та бойових діях також може спричинити певні проблеми та ризики. Наприклад, нейромережі можуть припускатися помилок при класифікації та аналізі даних, що може призвести до неправильних рішень. Також існує небезпека використання нейромереж в атакуючих цілях, наприклад, для злому систем противника або автоматичного нападу на цілі.

Також, нейромережі можуть бути використані для прогнозування та аналізу різних сценаріїв бойових дій, що дозволяє командирам приймати більш усвідомлені рішення на основі даних. Наприклад, нейромережі можуть використовуватися для прогнозування ймовірності успіху певної операції або для аналізу можливих шляхів відступу або настання.

Загалом, нейромережі можуть бути корисним інструментом у розвідці та бойових діях, але їх використання має бути ретельно регульованим та контрольованим, щоб уникнути потенційних ризиків та проблем.

Нейромережа також можуть використовуватися для навчання та підвищення кваліфікації солдатів, що є дуже актуальним підходом до підготовки особового складу ЗС України які проходять навчання за кордоном. Застосування штучного інтелекту та нейромереж для військових цілей стає все більш актуальним та популярним у сучасному світі. У країнах НАТО не виняток, де вони використовуються для навчання та підвищення кваліфікації солдатів.

Одним з головних напрямків використання нейромереж у військовій сфері є навчання та підвищення кваліфікації солдатів. Завдяки нейромережам, солдати можуть бути навчені різним військовим навичкам та стратегіям. Один з прикладів застосування нейромереж у навчанні солдатів це використання віртуальної реальності. Солдати можуть бути поставлені у віртуальні ситуації та навчатися приймати рішення в екстремальних умовах.

Нейромережі можуть аналізувати реакції солдатів на різні ситуації та давати рекомендації щодо того, як краще діяти в таких ситуаціях. Ще один приклад застосування нейромереж у військовій сфері - це використання їх для підвищення ефективності вогневої підтримки. За допомогою нейромереж можна прогнозувати поведінку ворога та визначати оптимальну стратегію вогневої підтримки. Крім того, нейромережі можуть бути використані для автоматичного розпізнавання цілей та визначення оптимального напрямку обстрілу.

Інший приклад застосування нейромереж - це використання їх для прогнозування поведінки ворожих дронів. Військові можуть використовувати нейромережі для аналізу даних з різних джерел, наприклад, з відеокамер, радарів та інших сенсорів, щоб визначити місцеперебування та шлях руху дрона. За допомогою цих даних, нейромережі можуть прогнозувати майбутні дії дрона та надавати військовим рекомендації щодо захисту від нього.

Розглянемо більш детально дрони камікадзе, наприклад Shahed 136 (Рис.2) є дроном

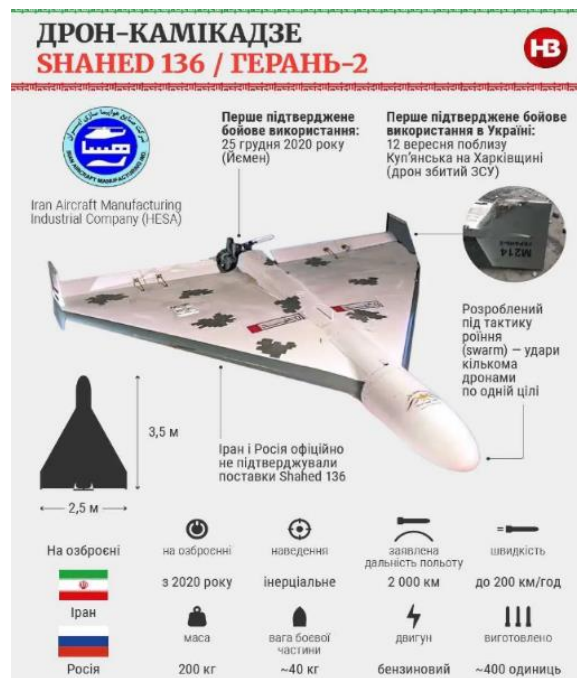


Рис. 2. Shahed 136

камікадзе, який став серйозною загрозою для військових та критичних об'єктів інфраструктури України, і вимагає розробки ефективних засобів його протидії. Використання нейромереж може бути одним з ефективних методів боротьби з такими дронами.

Одним з можливих підходів до протидії дронам камікадзе є використання системи виявлення та відповіді на загрозу (Detection and Response System - DRS) на базі нейромережі розглянуто в [6,7, 8]. Система DRS може виявляти та ідентифікувати дрони-камікадзе на відстані від 2 до 5 км, а потім виконувати відповідні дії для їх знищення.

Нейромережа, що використовується в системі DRS, навчається розпізнавати характеристики Shahed 136, включаючи форму, розмір, швидкість та спосіб руху, з використанням навчальної вибірки зображень дронів камікадзе. Після вибірки зображень нейромережа може ідентифікувати Shahed 136 з високою точністю та відправляти мобільні вогневі групи ППО (Рис. 3) для їх знищення.

Мобільні вогневі групи ППО, що на першому етапі роботи було створено 19 груп ППО на базі потужних позашляховиків Ford F250 й Ford F350, які адаптовані до бойових умов.

Вони захищатимуть небо як на підступах до Києва, так і повітряний простір над населеними пунктами півночі та північного заходу України.

У Національній гвардії створили 130 мобільних вогневих груп для протидії ударним дронам.

Загалом в рамках протидії ударним дронам створено понад 250 вогневих та близько 130 мобільних вогневих груп, силами і засобами Національної гвардії забезпечено надійну охорону та оборону 302 важливих державних об'єктів та об'єктів критичної інфраструктури. Ці групи виконуватимуть завдання на найнебезпечніших ділянках, звідки здійснюватиметься підліт ворожих БПЛА, крилатих ракет або авіації. Робота полягає в тому, що мобільний вогневий підрозділ висовується на визначене місце, відпрацьовує заданий азимут підльоту повітряної цілі й так само швидко повертається до місця дислокації.



Рис. 3 Мобільні вогневі групи ППО

Крім того, можна використовувати неймережу для прогнозування місцезнаходження та шляху руху Shahed 136 на основі аналізу відеопотоку від камер відеоспостереження, що дозволяє своєчасно виявляти загрозу та приймати відповідні заходи для її протидії.

Отже, неймережі можуть бути ефективним інструментом для протидії дронам-камікадзе Shahed 136, забезпечуючи виявлення, ідентифікацію та знищення цієї загрози з високою точністю та швидкістю.

Проте слід зазначити, що використання неймереж у військових цілях може спричинити етичні та юридичні питання. Наприклад, використання автономних систем може підвищити ризик помилок та нещасних випадків, а також підвищити загрозу для цивільних осіб. Тому необхідно забезпечувати належну підготовку та навчання операторів, а також здійснювати суворий контроль за використанням цих технологій.

Неймережа також можуть використовуватися для прийняття рішень у реальному часі на основі даних із різних джерел. Наприклад, неймережі можуть використовуватися для аналізу даних з різних датчиків і систем моніторингу, щоб виявити підозрілу активність або зміни навколишнього середовища. Це може допомогти військовим швидко реагувати на умови, що змінюються, і приймати рішення на основі точної інформації.

Загалом використання неймереж у розвідці та бойових діях може допомогти збільшити ефективність військових операцій та підвищити безпеку військовослужбовців.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. В цілому, неймережі відіграють важливу роль у розвідці та бойових діях, завдяки їх здатності аналізувати великі обсяги даних та приймати рішення на основі цих даних. У розвідці вони можуть використовуватися для обробки та аналізу фотографій, відео, геоданих та текстових документів, що може допомогти у виявленні ключових подій та місць. У бойових діях неймережі можуть використовуватися для управління безпілотними літальними апаратами і виявлення цілей на основі обробки даних з різних датчиків і камер що допоможе більш ефективно застосовувати безпілотну авіацію у ЗСУ.

Однак, необхідно враховувати можливі етичні та правові питання, пов'язані з використанням неймереж у розвідці та бойових діях, такі як конфіденційність та приватність даних, а також автономність бойових систем. Тому необхідно забезпечувати прозорість та відкритість у використанні неймереж, а також обговорювати та вирішувати етичні та правові питання, пов'язані з їх застосуванням. В подальшій науковій роботі більш детально розглянемо використання дронів для покращення ефективності електрозв'язку в умовах бойових дій.

Список бібліографічного опису

1. Xu, X., Xie, L., Huang, L., & Chen, W. (2020). Artificial Intelligence in Military Intelligence: A Literature Review. *IEEE Access*, 8, 132775-132791.
2. Hashemian, M., Sadeghi-Niaraki, A., & Moezi, S. A. (2020). Military applications of deep learning. In 2020 11th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC) (pp. 545-550). IEEE.
3. Krawczyk, P., & Kukla, Ł. (2018). Neural Networks for Cybersecurity and Defense: Reliability, Robustness, and Accountability. *IEEE Access*, 6, 29648-29657.
4. Maksymenko, K., & Maruschak, P. (2020). Integration of artificial intelligence tools for military intelligence analysis. In 2020 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (pp. 687-690). IEEE.
5. Mehdizadeh, M. (2021). Advanced Machine Learning for Cybersecurity and Intelligence Applications. *IEEE Access*, 9, 40137-40151.
6. Yang, Z., He, Y., & Jiao, L. (2021). A new military intelligence analysis method based on deep learning. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e6345.
7. Xu, J., & Song, J. (2021). Application of Artificial Intelligence in Military Decision-making. In 2021 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC) (pp. 291-296). IEEE.
8. Faridani, S., & Ghazanfari, M. (2020). Deep learning and artificial intelligence techniques in military data analytics. In 2020 International Conference on Cyber Warfare and Security (ICWS) (pp. 103-107). Academic Conferences International Limited.

References

1. Xu, X., Xie, L., Huang, L., & Chen, W. (2020). Artificial Intelligence in Military Intelligence: A Literature Review. *IEEE Access*, 8, 132775-132791.
2. Hashemian, M., Sadeghi-Niaraki, A., & Moezi, S. A. (2020). Military applications of deep learning. In 2020 11th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC) (pp. 545-550). IEEE.
3. Krawczyk, P., & Kukla, Ł. (2018). Neural Networks for Cybersecurity and Defense: Reliability, Robustness, and Accountability. *IEEE Access*, 6, 29648-29657.
4. Maksymenko, K., & Maruschak, P. (2020). Integration of artificial intelligence tools for military intelligence analysis. In 2020 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (pp. 687-690). IEEE.
5. Mehdizadeh, M. (2021). Advanced Machine Learning for Cybersecurity and Intelligence Applications. *IEEE Access*, 9, 40137-40151.
6. Yang, Z., He, Y., & Jiao, L. (2021). A new military intelligence analysis method based on deep learning. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e6345.
7. Xu, J., & Song, J. (2021). Application of Artificial Intelligence in Military Decision-making. In 2021 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC) (pp. 291-296). IEEE.
8. Faridani, S., & Ghazanfari, M. (2020). Deep learning and artificial intelligence techniques in military data analytics. In 2020 International Conference on Cyber Warfare and Security (ICWS) (pp. 103-107). Academic Conferences International Limited.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-22>

УДК 621.391

Васильківський Микола Володимирович, к.т.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-6586-2563>**Будаш Михайло Володимирович**, аспірант,**Болдирева Ольга Сергіївна**, аспірант.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ 6G

Васильківський М.В., Будаш М.В., Болдирева О.С. Забезпечення інформаційного захисту в телекомунікаційних мережах 6G. Розглянуто автономну інформаційну безпеку, яка буде однією з ключових функцій створення благонадійної архітектури телекомунікаційної мережі 6G. Визначено особливості захисту систем і кінцевих користувачів від атак зловмисників у міру їх виникнення із використанням запропонованої архітектури мережі та проактивного підходу. Поєднавши автономні технології інформаційної безпеки з архітектурою системи розглянуто можливість створення динамічного інтелектуального захисту із використанням машинного навчання, штучної імунної системи. Розглянуто перспективи широкого поширення технологій на основі штучного інтелекту та машинного навчання для вирішення проблем інформаційної безпеки. Зокрема, здійснено покращення виявлення проблем інформаційної безпеки, запропоновано рекомендації аналітикам, що дозволить скоротити час відгуку на інцидент із сотень годин до секунд та підвищуючи продуктивність роботи аналітиків з одного або двох інцидентів до тисяч на день.

Розглянуто благонадійність процесу передавання інформаційних даних, як визначальний фактор інформаційного захисту з погляду комунікації. Основні наукові докази для формування правильного висновку про те, чи заслуговує на довіру телекомунікаційна мережа 6G базуються на її функціональних параметрах, які свідчать про рівень благонадійності, яку очікуємо від впровадження технологій 6G. В результаті, визначено, що благонадійність телекомунікаційної мережі 6G успадковує чудові функціональні можливості та передовий досвід мереж попереднього покоління, а також враховує різні дисципліни та соціальні проблеми.

Досліджено вплив надійності глибокої нейронної мережі (DNN) на оцінку систем штучного інтелекту із врахуванням, що для навчання штучного інтелекту використовуються масивні набори реальних даних, які можуть призвести до витоку, підробки, крадіжки та неправомірного використання даних через відсутність належного захисту.

Ключові слова: архітектура телекомунікаційної мережі, динамічний інтелектуальний захист, благонадійність процесу передавання інформаційних даних, глибока нейронна мережа, система штучного інтелекту.

Vasylykivskiy M., Budash M., Boldyreva O. Ensuring information security in 6G telecommunication networks.

Autonomous information security, which will be one of the key functions of creating a reliable architecture of the 6G telecommunication network, is considered. Features of system and end-user protection against attacker attacks as they occur using the proposed network architecture and proactive approach are determined. By combining autonomous information security technologies with system architecture, the possibility of creating dynamic intelligent protection using machine learning and an artificial immune system is considered. Prospects for the wide spread of technologies based on artificial intelligence and machine learning for solving information security problems are considered. In particular, the detection of information security problems has been improved, recommendations have been offered to analysts, which will reduce the incident response time from hundreds of hours to seconds and increase the productivity of analysts from one or two incidents to thousands per day.

The reliability of the information data transfer process is considered as a determining factor of information protection from the point of view of communication. The main scientific evidence to form a correct conclusion about whether a 6G telecommunication network is trustworthy is based on its functional parameters, which indicate the level of reliability expected from the implementation of 6G technologies. As a result, it is determined that the reliability of the 6G telecommunication network inherits the excellent functionality and best practices of the previous generation networks, and also takes into account various disciplines and social issues.

The impact of deep neural network (DNN) reliability on the evaluation of artificial intelligence systems is investigated, taking into account that massive real-world data sets are used to train artificial intelligence, which can lead to data leakage, forgery, theft, and misuse due to lack of proper protection.

Keywords: telecommunication network architecture, dynamic intellectual protection, reliability of information data transmission process, deep neural network, artificial intelligence system.

Постановка наукової проблеми. Характеризуючи рівень довіри до чогось, люди найчастіше намагаються описати його за допомогою інженерної мови. В електронній комерції описані чотири загальні індекси довіри: сертифікат конфіденційності від третьої сторони, гарантії конфіденційності, сертифікат безпеки від третьої сторони та функції безпеки [1]. Серед них функції безпеки відіграють найбільшу роль у забезпеченні довіри споживачів до електронної комерції.

Вивчення ризиків почалося після того, як благонадійність почали розглядати як критерій інформаційної безпеки. При аналізі благонадійності будь-якого об'єкта враховують такі три чинники: джерело інформації, саму інформацію та одержувача. Ці три фактори також включають субфактори, наприклад, точність, достовірність. [2].

Результати вищезгаданих досліджень вказують, що благонадійність може бути визначена та виміряна лише за наявності певного сценарію, на який можна спиратися. Навіть за наявності такого сценарію без існування чіткого профілю надійності ставлення до відповідних факторів залежить від окремих осіб. При цьому, «важливість цих факторів може оцінюватися по-різному залежно від людини, яка приймає рішення щодо довіри, а також від ситуації, оскільки така власне суб'єктивна природа довіри» [3].

Зростання важливості благонадійності інфраструктури інформаційних та комунікаційних технологій (ІСТ) зумовлено технологічним розвитком, що супроводжується співіснуванням фізичного та цифрового світів. Вона значною мірою впливає на бажання користувачів підписувати контракти на послуги, що надаються інфраструктурою. Таким чином, усі зацікавлені сторони у сфері ІСТ потребують благонадійності.

Рекомендація ІТУ-Т Х.509 визначила необхідність довіри у сфері ІСТ. «Як правило, можна сказати, що об'єкт "довіряє" другому об'єкту, коли перший об'єкт робить припущення, що другий об'єкт поводитиметься точно так, як очікує перший об'єкт» [4]. Організація ІТУ проводить стандартизацію довіри в телекомунікаційній галузі з 2015 року, особливо в галузі інтернету речей, послідовно публікуючи технічні звіти, документи та стандарти рекомендацій [1–3]. У документах пропонується концепція довіри та її класифікація як з архітектурної, так і з технічної точки зору. Разом із пропозиціями щодо стратегії забезпечення довіри в системі ІСТ були представлені рекомендації щодо аналізу довіри в мережі, кібербезпеки та IoT. Науковою проблемою є необхідність визначення благонадійності телекомунікаційної мережі 6G із врахуванням інформаційного захисту систем доступу та кінцевих користувачів від атак зловмисників.

Метою роботи є: підвищення інформаційної безпеки телекомунікаційних мереж із використанням штучного інтелекту та машинного навчання за рахунок ключових функцій благонадійної архітектури 6G.

Аналіз досліджень. Дослідження благонадійності почалося з інтернету речей, і тепер охоплює всю екосистему зв'язку. Благонадійність кіберфізичної системи визначається як «доказова ймовірність того, що система працюватиме відповідно до заданої поведінки за будь-якого набору умов, що підтверджується її характеристиками, включаючи безпеку, захищеність, конфіденційність» [4].

Всі галузеві дослідження, визначення та довідкові поняття зрештою спрямовані на забезпечення користувачів надійним комунікаційним середовищем, і тому об'єктивні та суб'єктивні фактори неодноразово ставали предметом суперечок. В результаті, продовжуються дослідження, спрямовані на досягнення благонадійності у сфері ІСТ. При цьому розроблено багато моделей, включаючи засновану на онтології методичку, запропоновану для аналізу взаємозалежності і конфліктуючих вимог протягом усього життєвого циклу CPS [5]. Крім того, були проведені дослідження щодо практичного застосування моделі вимірювання довіри на основі теорії ігор, що описує надійність комунікації радарної діаграми, підходу до оцінювання ризиків на основі хмарної моделі та різних інших рішень [6].

Постачальники та інтегратори рішень доклали чимало зусиль для задоволення і навіть перевищення потреб користувачів і постійно коригують вимоги до надійності своїх продуктів, щоб не відставати від запитів користувачів. Наприклад, вимоги споживачів значно розширилися, і тепер недостатньо приділяти увагу довірі лише на етапі розробки, оскільки споживач очікує безперервного впровадження найкращих галузевих практик та стандартів аж до активної участі розробника у створенні здорового екологічного середовища в галузі телекомунікаційних технологій [7].

Визначальним фактором інформаційного захисту є благонадійність процесу передавання даних з погляду комунікації. Основні наукові докази для формування правильного висновку про те, чи заслуговує на довіру телекомунікаційна мережа 6G базуються на її функціональних параметрах, які свідчать про рівень благонадійності, яку очікуємо від впровадження технологій 6G. В результаті, можна скласти уявлення про благонадійність мережі 6G, розглядаючи, як вона успадковує чудові функціональні можливості та передовий досвід мереж попереднього покоління, а також зважаючи на різні дисципліни та соціальні проблеми.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Без сумніву, мобільний зв'язок як найважливіша інфраструктура, що з'єднує фізичний та цифровий світи. Вона продовжує передавати інформацію між людьми, між речами, а також між людьми та речами. З швидким розвитком комунікаційних технологій можливості передачі стають дедалі більш

просунутими та різноманітними. Люди звикли до інформаційного комфорту, який забезпечують комунікаційні мережі: сімейне спілкування, телеконференції, ведення бізнесу та інші справи, які тісно пов'язані з людьми, а також дослідження незвіданого у Всесвіті.

Єдиним адекватним критерієм збільшення зацікавленості благонадійністю мереж зв'язку є думка звичайних користувачів, оскільки вони очікують, що благонадійні мережі будуть надавати стабільні послуги, захищати особисту інформацію та не завдавати фізичних травм. У свою чергу корпоративні клієнти оцінюють благонадійність своїх мереж з точки зору стабільності роботи, високої якості зв'язку, відсутності витоків конфіденційної інформації, відсутності зловмисних вторгнень [1]. Розмірковуючи про благонадійність мережі 6G необхідно враховувати всі ці фактори, оскільки благонадійність системи зв'язку є багатограним поняттям.

До аспектів благонадійності можна віднести використання технологій, дотримання законів та постанов, погодження та спільні дії, а також позитивні переконання користувачів. Кожен із цих аспектів має свою характеристику та особливості. Технологія служить сполучною ланкою для інших показників. Отже, необхідно використовувати всі технології, що сприяють створенню надійної мережі, наприклад, криптографію, аналіз даних, машинне навчання та оцінку безпеки. Закони та постанови, оскільки «правила створюються та дотримуються за допомогою соціальних чи урядових інститутів» [2], закони та постанови постійно впливають на стабільність телекомунікаційного ринку. З того моменту, як технологія 5G почала набирати обертів, різні країни почали активно розвивати та доопрацьовувати свої закони та постанови в галузі кібербезпеки, безпеки зв'язку та захисту конфіденційності. При цьому, в індустрію зв'язку було впроваджено відповідні стратегії та заходи щодо тестування, оцінювання та перевірки телекомунікаційного обладнання, станційних пристроїв та цілих мереж. Постійна розробка цих законів визначає обов'язки зацікавлених сторін, а також поступово готує весь технологічний ланцюжок до створення надійнішої мережі [2–4]. Співпраця організацій, які займаються розробкою глобальних стандартів, є важливою рушійною силою співробітництва. За історичний період між технологіями 2G та 5G мережа зв'язку перейшла від простих телефонних дзвінків та служб коротких повідомлень до надання різних галузевих послуг. Цього було неможливо досягти без співпраці всіх зацікавлених сторін екосистеми. Широко відомі спільноти ITU, 3GPP, асоціація GSM (GSMA) та альянс мобільних мереж наступного покоління (NGM-N) надають зацікавленим сторонам можливість вільно обговорювати технології та бізнес. Спираючись на знання та натхнення, отримані від цих платформ, комунікаційна мережа поступово переходить від закритої структури до відкритої. Завдяки відкритості та доступності мережі починає розвиватися міжгалузева співпраця, і різні галузі промисловості співпрацюють між собою, щоб надавати користувачам індивідуалізовані та високоякісні послуги.

Для прикладу можна навести специфікації 3GPP R16, які підтримують два важливі індустріальні сектори (автомобілебудування та промислову автоматизацію). Версія R16 також допомагає «іншим галузям, таким як транспорт (наприклад, майбутня система мобільного зв'язку для залізниць) та ЗМІ (наприклад, ширококутне мовлення в мережі 5G)» [5].

Прагнення спільноти з інформаційної безпеки розвивати співпрацю пов'язано з тим, що сектор інформаційної безпеки може більш адекватно та ефективно протистояти атакам завдяки аналізу загроз та обміну технологіями, а також спільній роботі членів спільноти. У зв'язку з цим девіз всесвітньо відомого заходу інформаційної безпеки RSA Conference звучав так: «ділитися, вчитися і захищати» [6]. Така співпраця дасть людям можливість «здобути вигоду з ідей та взаємин, які можуть сформувати майбутню інформаційну безпеку» [7]. Довіра є найефективнішим фактором, оскільки коли користувачі судять про те, чи заслуговує комунікаційна мережа довіри, їх міркування переважають над усіма іншими показниками. В результаті, виникає необхідність у великих наукових та технічних знаннях, які допоможуть досягти погодження щодо розуміння технології та відповідних методик. Іншими словами, конвергенція більшої кількості розумів і рук більшою мірою сприятиме розвитку вдосконалених комунікаційних інновацій у майбутньому.

Достовірність оцінювання благонадійності характеризується факторами: процесом оцінювання, методом оцінювання та невизначеності або несподіваності події [8].

Благонадійність є життєво важливою, оскільки людське суспільство безперервно змінюється, конотації благонадійності та методи, прийняті для її досягнення, залишаються стійкими, якщо вони безперервно оптимізуються, розвиваються та оновлюються.

В основі благонадійності 6G лежать два принципи: початкової благонадійності та балансу.

Принцип 1 полягає в можливості забезпечення благонадійності різноманітності послуг мережі

6G. В результаті, користувачі очікують отримати від мережі 6G найрізноманітніші послуги, починаючи від скануючої мережі та закінчуючи дистанційною системою охорони здоров'я з тактильним зворотним зв'язком та низькоорбітальними супутниками. При цьому, різноманітна структура мережі 6G, її послуги та вимоги користувачів зроблять телекомунікаційну мережу винятковою у всіх сенсах цього слова. Так само різноманітними повинні бути і втілення благонадійності. Мережа 6G, що охоплює різні технічні та ділові аспекти, може вимагати великого набору можливостей забезпечення благонадійності, які можна використовувати як для суворого та централізованого керування доступом у централізованій частині мережі, так і для розпізнавання користувачів, а також їх авторизації у частині автономної периферії. Благонадійність повинна розвиватися протягом усього життєвого циклу 6G, включаючи її проектування, розробку та експлуатацію. На даний момент можливо визначити вимоги благонадійності лише оцінивши їх характеристики на етапі проектування 6G. Отже, при розробці продуктів 6G написання програмного коду та виробництво обладнання відповідатимуть проектним вимогам попереднього етапу. Тому механізм довіри в середовищі 6G слід експлуатувати та розгортати з регулярними та безперервними поліпшеннями на кожному етапі [1].

Принцип 2 пояснює принцип досягнення благонадійності в мережі 6G, який має враховувати три фактори: початкову довіру до клієнтів, вартість атак та швидкість відновлення діяльності. Якщо розробники технології 6G спочатку мало довіряють клієнтам мережі, то навіть якщо вони сподіваються, що вартість атак для зловмисника буде високою/або відновлення буде швидким, їм доведеться передбачити більше контрзаходів і строгих обмежень. Клієнтами мережі 6G можуть бути програми для операцій з ресурсами в мережі 6G, включаючи доступ до мережі для пристроїв, доступ до бази даних додатками, зв'язок між функціональними модулями, доступ до журналу. Вартість атак вказує, що зловмисники атакують тільки тоді, коли їхня вигода перевищує вартість атаки. Механізми, які використовуються для відновлення нормальної роботи або обслуговування, повинні бути здатні швидко нейтралізувати атаки як динамічно, так і безперервно [2].

На практиці надійні архітектури телекомунікаційної мережі зазвичай розробляються разом з певною початковою довірою до клієнтів, виходячи з чого пропонуються рішення щодо керування доступом на ранніх етапах процесу проектування, що ускладнює процес передбачення вартості атак та можливості відновлення.

У деяких сценаріях роботи сучасних телекомунікаційних мереж пред'являються підвищені вимоги до рівня безпеки під час обміну даними з малою затримкою, а це означає, що зловмисники повинні докласти більше зусиль, щоб досягти успіху, тоді як в інших сценаріях це просто звичайні телефонні дзвінки. Очевидно, що ці сценарії по-різному характеризують інформаційний захист від зловмисників, тому співвідношення вартості атаки і вигоди також відрізняється. Крім того, швидкість, з якою може бути відновлено нормальне обслуговування при атаці, у цих двох сценаріях також різниться. З цих причин збалансована довіра може здатися простою, але насправді відповідати всім вимогам складно.

З технологічної точки зору трьома основними характеристиками благонадійності є безпека, приватність та стійкість до відмов, які реалізуються за допомогою технологій криптографії та захисту. Для наочності, їх називають трьома стовпами благонадійності, які спираються на десять блоків (три аспекти безпеки, два аспекти конфіденційності та п'ять аспектів стійкості), як показано на рис. 1. Три стовпи і десять блоків є фундаментом, на якому побудована благонадійність телекомунікаційної мережі 6G [3].

Досягнення благонадійності мережі 6G вимагає вбудованої архітектури благонадійності, яка відповідає характеристикам безпеки, приватності та стійкості до відмов і заснована на інклюзивній моделі довіри. Така архітектура має охоплювати весь життєвий цикл мережі 6G, не залишаючи прогалин. В результаті, визначено три задачі щодо трьох вищезгаданих стовпів та десяти блоків.

Задача 1 полягає в збалансованій безпеці. Так звана тріада АІС – доступність, чесність та конфіденційність є фундаментальними компонентами безпеки. Баланс – це один із принципів вбудованої благонадійності, тобто для різних активів/власності, що захищаються, може знадобитися різний рівень захисту або різна вага кожного аспекту відповідно до різних сценаріїв.

Задача 2 полягає в постійному захисті конфіденційності, оскільки конфіденційність зазвичай передбачає право людей контролювати або впливати на те, яка інформація, пов'язана з ними, може збиратися і зберігатися, а також ким і кому ця інформація може бути розкрита [4]. Для захищення інформації про особу та поведінку користувачів, у їх розпорядження надаються такі технології, як криптографія, яка забезпечує гарантування, що тільки уповноважені користувачами сторони

можуть інтерпретувати зміст інформації, що передається між ними.

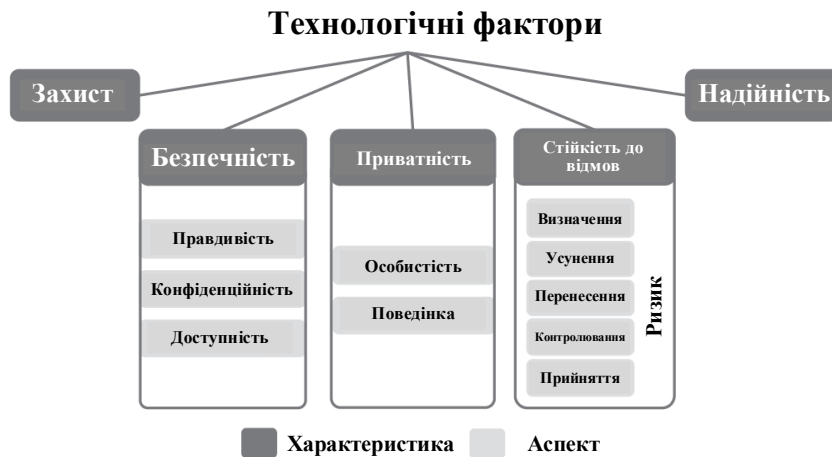


Рис. 1. Технологічні фактори забезпечення благонадійності телекомунікаційної мережі

Задача 3 полягає в розумній стійкості, тобто здатності мережі забезпечувати та підтримувати прийнятний рівень обслуговування перед різними збоями та проблемами, пов'язаними з нормальною роботою. При цьому, аспекти стійкості визначаються набором здібностей та інструментів, що дозволяють визначати та вимірювати ризики. Тому, для виявлення ризиків можуть використовуватися ситуаційна поінформованість та аналітика великих даних, а потім слідує дії, що дозволяють уникнути ризиків. В результаті, можна передавати всі або деякі ризики іншим сторонам, полегшуючи відновлення телекомунікаційної мережі або формувати передумови для мінімізації наслідків. У підсумку, доцільно приймати залишкові ризики, які не завдають шкоди телекомунікаційним мережам [5, 7].

Для підтримання здатності швидкого реагування на загрози та ризики необхідно постійно вимірювати благонадійність телекомунікаційної мережі. Рівень довіри можна виміряти за допомогою кількісного методу, аналогічного тому, що використовується для оцінки якості обслуговування (QoS) або якості досвіду (QoE). Незалежно від підходу, визначення конкретного рівня довіри залежить від зв'язаних служб і додатків. Рівень довіри можна визначити як кількісну оцінку довіри до персони, здібностей, властивостей чи істинності щодо когось чи чогось [8].

Можна здійснювати аналіз ризиків кількісно або якісно. Перший підхід застосовується для присвоєння грошового чи просто числового значення всім елементам процесу аналізу ризиків. Другий використовує рейтингову систему для перегляду різних сценаріїв з різними можливими ризиками та ранжування серйозності загроз та обґрунтованості різних можливих контрзаходів на основі суб'єктивних поглядів людей [3]. За результатами аналізу ризиків можна оцінити ефективність існуючих механізмів безпеки та необхідність вжиття контрзаходів для зниження загального ризику до прийнятного рівня.

Отже, три стовпи та десять блоків є основою архітектури благонадійності мережі 6G і на основі інклюзивної моделі довіри можна розробити вбудовану архітектуру благонадійності. В результаті, почавши зі створення моделі довіри і потім вивчивши відповідні технології, можна побудувати надійну телекомунікаційну мережу 6G.

Довіра користувачів до існуючої мережі формується операторами мобільних мереж (MNO), які купують та розгортають мережне обладнання, що вже пройшло всілякі тести та перевірки. Для керування користувачами оператори мобільних мереж використовують централізовані засоби автентифікації та авторизації. Така модель довіри може зіткнутися з багатьма проблемами на шляху до досягнення трьох задач благонадійності мережі 6G. Наприклад, нелегко забезпечити детальний централізований контроль доступу, який би відповідав як високому рівню безпеки, необхідному для централізованих фінансових сценаріїв, так і полегшеному механізму безпеки для збору локалізованих даних сканування. Крім того, важко встановити миттєву довіру між партнерами, що співпрацюють, і одночасно не вистачає ефективного рішення для керування цифровими ідентифікаційними даними.

Вбудованість різних сервісів мережі 6G визначає перший принцип, пов'язаний з формуванням

благонадійності. У цьому випадку використовується модель багатосторонньої довіри, що відображає різні варіанти довіри, включаючи три режими: міст, погодження та схвалення, як показано на рис. 2.

Основною особливістю моделі є децентралізоване багатостороннє погодження з одночасною централізованою довірою та стороннім схваленням. Режим мосту передбачає встановлення довіреного мосту між об'єктами через структуру авторизації з центральною точкою, такий як центр політики безпеки або керування безпекою профілів користувачів. При цьому, довіра буде отримана з поточної моделі довіри. Погодження передбачає процес створення більш стійких та інтелектуальних систем зв'язку, який зрештою зводиться до довіри між сторонами, які можуть бути компонентами мережі, різними сторонами схеми поставок або ролями промислової екосистеми. У цьому режимі транзакції підтверджуються та відповідальність розподіляється між кількома сторонами. Основними характеристиками даного режиму є висока ефективність та масштабованість, що відповідають гнучким та адаптованим вимогам доступу до мережі 6G. В режимі підтвердження авторитетна третя сторона вимірює та оцінює благонадійність мережі. На рис. 2, показано, що сторона В може запросити третю сторону для визначення, чи заслуговує на довіру сторона А, і третя сторона може підтвердити благонадійність сторони А.

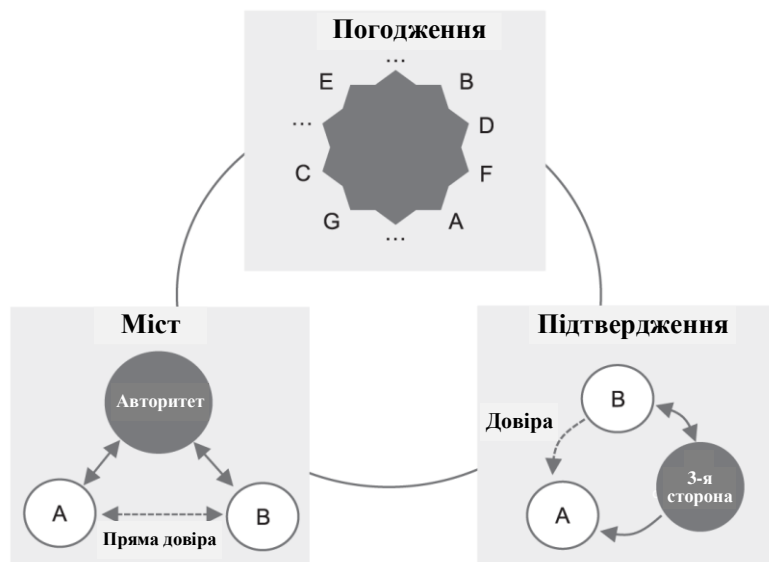


Рис. 2. Модель багатосторонньої довіри до телекомунікаційних технологій

Дані або інформація про транзакцію, які потребують схвалення третьої сторони, можуть бути швидко та справедливо записані та підтвержені у режимі погодження. Крім того, погодження є ключовим доповненням до взаємної довіри у сценаріях граничних автономних послуг.

Три вищезгадані режими взаємопов'язані і можуть спільно використовувати ключові технології, такі як криптографічні алгоритми та протоколи, які адаптовані до нових сценаріїв та архітектури мережі 6G. При цьому, розподіл і повна інтеграція мережевих та обчислювальних ресурсів передбачають гнучку та просту архітектуру безпеки з нульовою довірою, яка застосовується до децентралізованих мереж.

Для кожної сторони розглянутої потрійної моделі (тобто мосту, погодження та схвалення) повинні бути належним чином розв'язані всі завдання (збалансована безпека, постійний захист конфіденційності та інтелектуальна стійкість). Однак нові технології, такі як штучний інтелект та післяквантова криптографія, змінюють глибинні засади благонадійності, побудованої на традиційних механізмах. Тому, для забезпечення благонадійності телекомунікаційної мережі 6G, необхідно використовувати нові методи інформаційного захисту від сучасних кібератак.

В блокчейні із використанням криптографії кожен блок схеми містить криптографічний хеш попереднього блоку, мітку часу та дані транзакції. Розподілений реєстр (distributed ledger) не потребує такої схеми чи доказу роботи, оскільки технологія розподіленого реєстру (DLT) підходить для багатьох сценаріїв, мережевих архітектур та додатків. Дана технологія, по суті, є базою даних активів, яка може використовуватися кількома сайтами, установами або географічними регіонами

[4]. Блокчейн є одним з різновидів розподіленого реєстру, а також існують таблиці розподіленого реєстру, не пов'язані з блокчейном, розподілена криптовалюта та особлива архітектура бази даних [5].

Незважаючи на певні переваги, сучасний блокчейн все ще має обмеження. Недостатня гнучкість зумовленим тим, що блокчейн спочатку спроектований так, щоб бути незмінним, завдяки чому може бути досягнута як висока достовірність доказів несанкціонованого доступу, так і висока стійкість. В багатьох сценаріях ця незмінність забезпечує надійність надання фінансових послуг, однак у численних сценаріях використання зв'язку в реальному часі деякі дані повинні бути зміненими з різних причин, наприклад змінюється або програмований параметр протоколу зв'язку або віртуальної обчислювальної схеми. При цьому, за певних обставин дані вважатимуться дійсними і заноситимуться до розподіленого реєстру блокчейну. Низька швидкодія зумовлена тим, що схема блоків біткоїнів може обробляти лише від трьох до семи транзакцій за секунду на відміну від деяких застарілих систем обробки транзакцій, які можуть обробляти десятки тисяч транзакцій за секунду. Відповідний показник для блокчейну Ethereum [3] складає всього п'ятнадцять транзакцій на секунду, і тому технологія блокчейну не підходить для великомасштабних додатків через її відносно низьку швидкодію.

Неповні моделі безпеки зумовлені тим, що багато сучасних блокчейн-технологій уразливі до різних типів атак. При цьому, деякі проекти покладаються на певні погоджувальні алгоритми (рекурсивні виклики), які, містять уразливості, такі як атаки децентралізованої автономної організації (DAO) у смарт-контракті Ethereum [3]. Іншою проблемою моделі інформаційної безпеки блокчейну є використання квантових обчислень [4], які потенційно можуть зробити вразливими криптографічні механізми та протоколи, що лежать в основі блокчейна.

Погодження може виявитися найважливішим режимом у моделі багатосторонньої довіри, оскільки мережева архітектура 6G матиме тенденцію до розподіленого характеру. В даний час блокчейн-подібна технологія, ймовірно, досягла зрілості, хоча різні нові застосування блокчейну все ще з'являються. Основна проблема полягає в тому, як забезпечити відповідність DLT наступним вимогам технології 6G. Надвисока пропускну здатність та наднизька затримка, оскільки на відміну від традиційного блокчейну, в якому погодження досягається повільно, нові алгоритми та архітектура блокчейна зможуть задовольнити ці вимоги шляхом введення нових погоджувальних та криптографічних алгоритмів. Висока доступність та надійність, оскільки для досягнення високої операційної ефективності мережі 6G потребують простих механізмів керування та функціонування. При цьому показники доступності та надійності не тільки не повинні постраждати, а й мають бути покращені. У зв'язку з цим можна підвищити доступність, запровадивши блокчейн-технологію. Іншими словами, операції мережі 6G повинні бути спроможними витримати певний рівень збоїв або зловмисних атак, не вимагаючи значного втручання людини. Надійний захист конфіденційності та цифровий суверенітет, оскільки коли справа доходить до захисту конфіденційності, необхідно дотримуватись законів та правил захисту персональних даних (наприклад, GDPR), які можуть відрізнятися в різних країнах чи регіонах. Для цього можна використати технологію розподіленого реєстру. Проте більшість законів та правил передбачають право особистості видаляти дані про себе із системи («право на цифрове забуття»), що суперечить обов'язковій незмінності блокчейна [5]. Сучасні структури блокчейнів засновані на схемах хешування, і значення хеш-функції надзвичайно складно змінити після запису транзакції в схему блоків. При цьому, у випадку подальшого внесення змін передбачено запуск хардфорка [2], який створює вразливості в системі інформаційної безпеки. В результаті, хардфорк може вплинути на багато існуючих записаних блоків, і на повторну перевірку транзакції йде багато часу. Тому необхідно дослідити можливість зміни чи редагування транзакцій, не впливаючи на інші блоки.

Квантові комп'ютери можуть ефективно вирішувати складні математичні завдання (наприклад, NP-важкі), тобто цілочисленну факторизацію або дискретне логарифмування, «тим самим роблячи всі криптосистеми з відкритим ключем, що засновані на припущенні складності обчислень, марними» [3].

До появи реальних квантових комп'ютерів необхідно розглянути багато вразливостей традиційних схем. Наприклад, зловмисник може зберегти сьгоднішні повідомлення з обміном ключами та зламати їх у майбутньому. Виходить, що обмін ключами з використанням методу Діфі-Хелмана (DH) вже вразливий. При побудові та використанні великомасштабних квантових комп'ютерів необхідно буде протистояти як квантовим, і класичним комп'ютерним противникам [4]. Національний інститут по стандартизації та технології (NIST) здійснює розробку

квантовобезпечних стандартів криптографії з відкритим ключем, включаючи схеми для шифрування/створення ключів та цифрові підписи [5].

В сфері промисловості основну діяльність у галузі післяквантової криптографії (PQC) здійснюється технологічними гігантами. Наприклад, Google експериментував з реалізацією «нової надії» [6] у версії Canary браузера Chrome протягом кількох місяців, щоб оцінити вплив гібридних схем, а Thales реалізував провідні алгоритми-кандидати та додав їх у популярні криптографічні програми з відкритим вихідним кодом [7].

Крім того, Microsoft реалізує PQC у рамках відкритого VPN для проекту з відкритим вихідним кодом [8], який включає три різні протоколи PQC: Frodo-KEM, SIKE та Picnic.

Згідно з аналітичним звітом RAND Corporation, «використання квантових комп'ютерів, що здатні виконувати криптографічні програми, очікується в середньому приблизно через 10 років – близько в 2033 р. Проте, за оцінками експертів, це може статися як раніше, так і пізніше» [3]. В епоху 6G, коли стануть доступні великомасштабні квантові розрахунки, доведеться використовувати відповідну архітектуру безпеки. Отже, вже сьогодні потрібно проаналізувати характеристики алгоритмів PQC та оцінити можливості їх адаптації до протоколів 6G. Один із можливих способів вирішення цієї проблеми полягає в розробці спеціалізованих алгоритмів PQC, який зможе гарантувати, що вони забезпечують адекватну гнучкість для застосування в мережах 6G і в той же час зможуть застосовуватися в існуючих платформах. При цьому, алгоритми та протоколи PQC мають підтримувати гнучку структуру мережі 6G, таку як гнучкі рівні безпеки, розміри коду та підписи, які можна адаптувати до встановлених протоколів. Ці алгоритми також повинні забезпечувати підвищену гнучкість керування ключами, щоб відповідати різним розмірам ключів для різних протоколів.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Розглянуто автономну інформаційну безпеку, яка буде однією з ключових функцій створення благонадійної архітектури телекомунікаційної мережі 6G. Визначено особливості захисту систем і кінцевих користувачів від атак зловмисників у міру їх виникнення із використанням запропонованої архітектури мережі та проактивного підходу. Поєднавши автономні технології інформаційної безпеки з архітектурою системи розглянуто можливість створення динамічного інтелектуального захисту із використанням машинного навчання, штучної імунної системи. Розглянуто перспективи широкого поширення технологій на основі штучного інтелекту та машинного навчання для вирішення проблем інформаційної безпеки. Зокрема, здійснено покращення виявлення проблем інформаційної безпеки, запропоновано рекомендації аналітикам, що дозволить скоротити час відгуку на інцидент із сотень годин до секунд та підвищуючи продуктивність роботи аналітиків з одного або двох інцидентів до тисяч на день. Після розгортання в змодельованій мережі 6G модель зможе безперервно навчатися з використанням актуальних даних та покращувати свої показники. Крім того, виконуючи імітацію атак, автономні системи безпеки можуть допомогти операторам своєчасно створювати та налаштовувати ефективні політики безпеки.

Досліджено вплив надійності глибокої нейронної мережі (DNN) на оцінку систем штучного інтелекту із врахуванням, що для навчання штучного інтелекту використовуються масивні набори реальних даних, які можуть призвести до витоку, підробки, крадіжки та неправомірного використання даних через відсутність належного захисту.

Враховуючи відсутність стандартного визначення ключових показників ефективності (KPI) благонадійності доцільно зосереджуватись на технічних показниках, які можна використовувати для подальших наукових досліджень для спрощення процесу визначення KPI благонадійності телекомунікаційної мережі 6G. Розглянуті принципи досягнення благонадійності 6G забезпечать надійну інформаційну безпеку сучасних телекомунікаційних мереж.

Список бібліографічного опису

1. ITU-T, Draft Recommendation X.5Gsec-t, Security framework based on trust relationship for 5G ecosystem, 2019.
2. M. Balduccini, E. Griffor, M. Huth, C. Vishik, M. Burns, and D. Wollman, Ontology based reasoning about the trustworthiness of cyber-physical systems, IET Journal of IoT, June 2018.
3. M. Grieves, Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication, White paper, vol. 1, pp. 1–7, 2014.
4. M. J. Vermeer and E. D. Peet, Securing communications in the quantum computing age: Managing the risks to encryption, RAND Corporation, 2020. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR3102.html.
5. Васильківський, М., Нікітович, Д., & Болдирева, О. (2022). Керування доступом до інформаційних даних в інтелектуальних інфокомунікаційних мережах. Measuring and computing devices in technological processes, (4), 5–17. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-1>

6. Васильківський, М., Варгатюк, Г., & Болдирева, О. (2022). Дослідження архітектури штучного інтелекту для інфокомунікаційних мереж 6G. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 62–70. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-7>
7. Васильківський, М., Коломієць, А., & Грабчак, Н. (2022). Дослідження функціональних параметрів інфокомунікаційних мереж 6G. *Вісник Хмельницького національного університету*, (6), 46–52. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-46-52>
8. Васильківський, М., Коломієць, А., & Будаш, М. (2022). Оцінювання параметрів радіотрактів інфокомунікаційних систем 5G/6G. *Вісник Хмельницького національного університету*, (6), 53–60. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-53-60>

References

1. ITU-T, Draft Recommendation X.5Gsec-t, Security framework based on trust relationship for 5G ecosystem, 2019.
2. M. Balduccini, E. Griffor, M. Huth, C. Vishik, M. Burns, and D. Wollman, *Ontology based reasoning about the trustworthiness of cyber-physical systems*, IET Journal of IoT, June 2018.
3. M. Grieves, *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*, White paper, vol. 1, pp. 1–7, 2014.
4. M. J. Vermeer and E. D. Peet, *Securing communications in the quantum computing age: Managing the risks to encryption*, RAND Corporation, 2020. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR3102.html.
5. Vasykivskiy M., Nikitovych, D., & Boldyreva, O. (2022). Keruvannya dostupom do informatsiynykh danykh v intelektual'nykh infokomunikatsiynykh merezhakh. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 5–17. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-1>
6. Vasykivskiy M., Varhatiuk, H., & Boldyreva, O. (2022). Doslidzhennya arkhitektury shtuchoho intelektu dlya infokomunikatsiynykh merezh 6G. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 62–70. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-7>
7. Vasykivskiy M., Kolomiets, A., & Hrabchak, N. (2022). Doslidzhennya funktsional'nykh parametriv infokomunikatsiynykh merezh 6G. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*, (6), 46–52. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-46-52>
8. Vasykivskiy, M., Kolomiets, A., & Budash, M. (2022). Otsinyuvannya parametriv radiotraktiv infokomunikatsiynykh system 5G/6G. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*, (6), 53–60. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-53-60>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-23>

УДК 621.39

Мороз Сергій Анатолійович, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>

Якимчук Наталія Миколаївна, асистент,

<https://orcid.org/0000-0002-8173-449X>

Селепина Йосип Романович, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-2421-1844>

Євсюк Микола Миколайович, к.т.н., доцент.

<https://orcid.org/0000-0002-3768-8959>

Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, Україна

МЕТОДИ ОЦІНКИ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ВТРАТ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

Мороз С.А., Якимчук Н.М., Селепина Й.Р., Євсюк М.М. Методи оцінки навантаження та втрат в телекомунікаційних мережах зв'язку. В статті проведений аналіз методів оцінки навантаження та втрат в телекомунікаційних мережах зв'язку. Розглянуті різні способи для визначення різних видів навантаження в мережах та їх зв'язку між собою. Розглянуті можливості прикладних програм для комп'ютерного моделювання параметрів телекомунікаційних мережах зв'язку. Зроблені висновки по проведеному аналізу

Ключові слова: телекомунікаційна мережа зв'язку, навантаження мережі, втрати у мережі.

Moroz S.A., Yakymchuk N.M., Selepin Y.R., Yevsyuk M.M. Methods of estimating load and losses in telecommunication communication networks. The article analyzes load and loss estimation methods in telecommunication communication networks. Different methods for determining different types of load in networks and their interconnection are considered. The possibilities of application programs for computer modeling of parameters of telecommunication communication networks are considered. Conclusions are drawn based on the analysis

Key words: telecommunication communication network, network load, network losses.

Постановка проблеми.

Для сучасної телекомунікаційної сфери важливим завданням є дослідження процесу формування навантаження в різних телефонних мережах та їх обслуговування. Тільки за наявності повноцінного правильного прогнозу розвитку телекомунікаційної мережі можливе їх раціональне проектування та побудова. Підтвердженням цього є різні проблеми зв'язку, які супроводжують інтенсивний розвиток телекомунікаційної сфери. Одним із таких проблем є вирішення завдання оцінки та розподілу навантаження у телефонних мережах.

Закономірності виникнення потоків телефонного навантаження зазвичай виявляють шляхом здійснення спостережень на функціонуючих мережах. Дослідження закономірностей формування різних параметрів потоків навантаження здійснювати досить складно тому, що параметри мережі протягом вибраного часу не залишаються сталими, зокрема складові частини телекомунікаційної мережі відрізняються ємністю та структурними складовими задіяних абонентів.

Як відомо для вивчення змінюваності телефонного навантаження використовується науковий напрям «Теорія масового обслуговування» (ТМО), яка розглядає широке коло питань кількісної та якісної оцінки процесів масового обслуговування до яких і відносяться телекомунікаційні мережі. Для систем розподілу інформації важливим є дослідження характеристик пропускну здатності телекомунікаційних систем, методів оцінки характеристик якості обслуговування.

Аналіз останніх публікацій та мета дослідження

В ТМО основним об'єктом дослідження є системи масового обслуговування (СМО) до яких відносять телекомунікаційні мережі та системи. Для реальних телефонних СМО характерними є деякі втрати в мережі. Як відомо [1-8] для телекомунікаційних мережах зв'язку (ТМЗ) важливою характеристикою є поняття «навантаження» (traffic). Навантаження поділяється на різні види, які виникають та розраховуються в залежності від типу телекомунікаційної системи. На рисунку 1 показана типова ТМЗ з втратами. В даній системі на вхід подається потік викликів, що створює вхідне навантаження L (навантаження, що надходить до системи – offered traffic). Значна частина вхідного навантаження системи Y обслуговується (обслуговане навантаження системи – carried traffic), але деяка частина викликів створює перевантаження для системи R (надлишкове

навантаження системи – rejected traffic), при цьому частина викликів, для яких не виконуються процедури обслуговування, залишають ТМЗ.

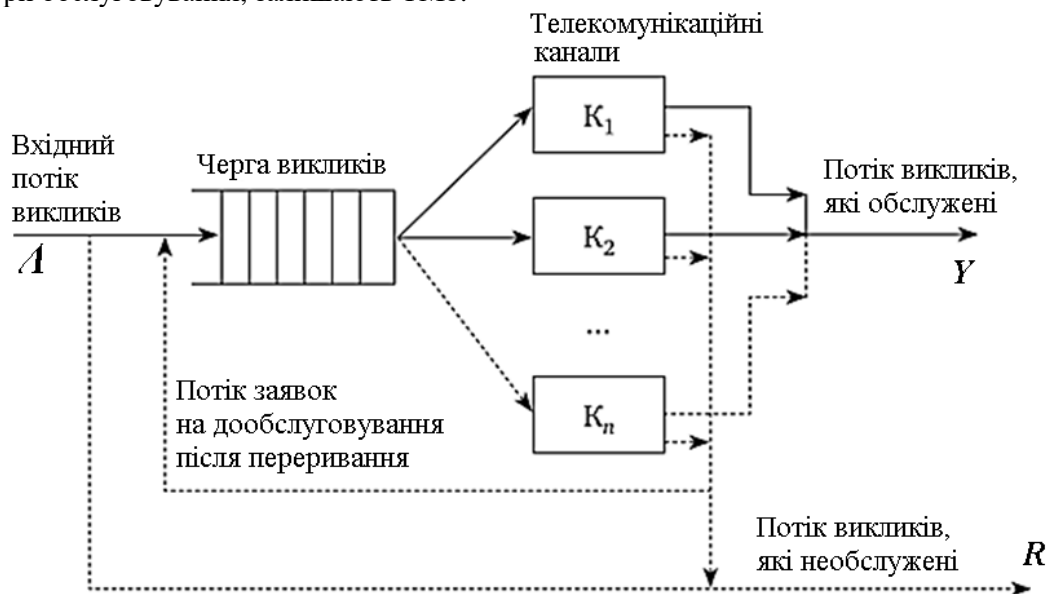


Рис. 1. Основні види навантаження для ТМЗ з втратами

Основним при розрахунках є навантаження, яке обслужене. Навантаження, що обслуговується в момент t , - це число $i(t)$ зайнятих каналів зв'язку (або величина одночасно обслуговуваних викликів) в момент t . Таке навантаження це випадкова величина, тому під час розрахунку використовують математичне очікування та дисперсію навантаження. Зокрема, математичне очікування прийнято називати інтенсивністю навантаження в момент t :

$$Y(t) = M [i(t)] = \sum_{i=1}^v iP_i(t) \quad (1)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність зайняття i ліній v – каналної ТМЗ. Якщо прийнята постійна ймовірність P_i у межах деякого інтервалу часу формула (1) перетворюється на:

$$Y(t) = \text{const} \quad (2)$$

На практиці, коли хочуть визначити навантаження певної ТМЗ, підраховують середнє число зайнятих ліній за інтервал (t_1, t_2) і вважають це йнтенсивністю навантаження $Y(t_1, t_2)$. Як відомо [1-3], навантаження вимірюється в Ерл (ерлангах). Навантаження величиною 1 Ерл створюється 1-ю безперервно зайнятою лінією.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо приклад аналізу функціонування 5-лінійного каналу в інтервалі (t_1, t_2) , для цього на рис. 2 показано ступеневу функція $i(t)$ навантаження, яке обслужене, інтенсивність обслуженого за інтервал (t_1, t_2) навантаження $Y(t_1, t_2)$ та тривалість зайняття кожної з 5 ліній τ_j ($j = 1 \dots 5$).

Інтеграл функції $i(t)$ в діапазоні (t_1, t_2) описує роботу з передачі викликів (повідомлень), виконану ТМЗ за цей час. Як видно з рис. 2, робота є площею фігури, яка обмежена осями координат і функцією навантаження $i(t)$. Вона кількісно дорівнює сумарному часу зайняття усіх ліній системи за інтервал (t_1, t_2) :

$$\hat{Y}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt = \sum \tau_j(t_1, t_2) \quad (3)$$

де $\tau_j(t_1, t_2)$ – сумарний час зайняття i лінії за інтервал (t_1, t_2) .

Також можна скористатись виразом для чисельного інтегрування та вирахувати площу ламаної фігури:

$$\hat{Y}(t_1, t_2) = Y(t_1, t_2) * (t_2 - t_1) \quad (4)$$

де $Y(t_1, t_2)$ – середнього значення інтенсивності навантаження, $(t_2 - t_1)$ – довжина інтервалу.

Звідки

$$Y(t_1, t_2) = \hat{Y}(t_1, t_2) / (t_2 - t_1) \quad (5)$$

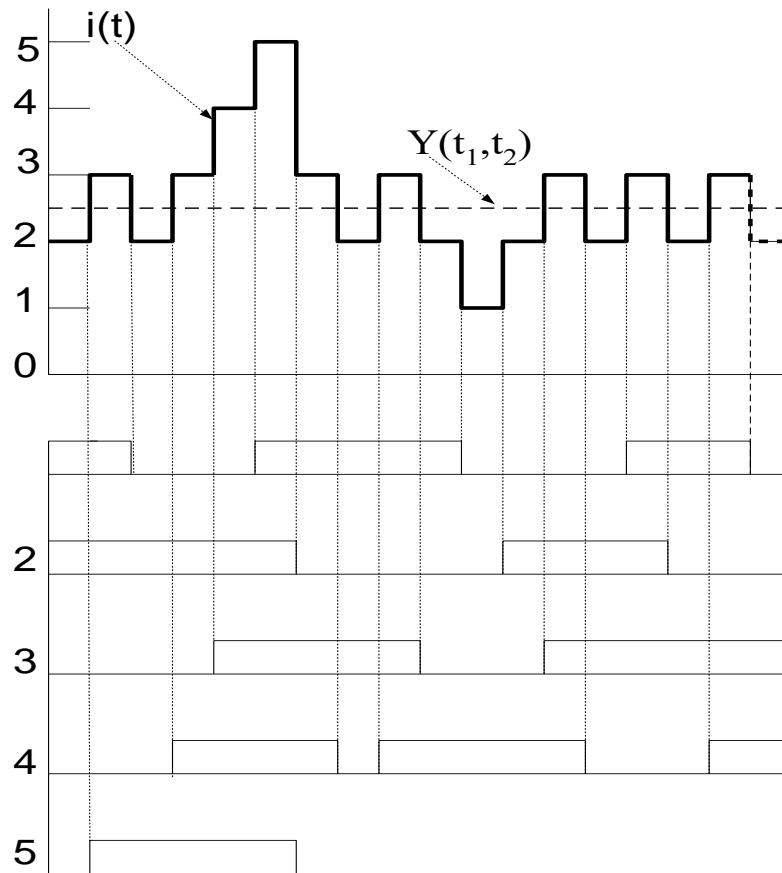


Рис. 2. Зайняття ліній зв'язку в 5-лінійному каналі

Для аналізу та дослідження ТМЗ рекомендується використовувати наступні види навантаження та роботи [1-5]: 1) « Потенційне навантаження (інтенсивність потенційного навантаження A) – розраховані для ідеальної системи, в якій кожному виклику надається негайне обслуговування ». Потенційне навантаження, як правило, забезпечує система $M_i/M/N/LL/$, де кількість каналів обслуговування рівне кількості джерел, що мають можливість генерувати виклики. При цьому за кожним джерелом закріплюється свій канал обслуговування (КО). 2) « Втрачене навантаження (інтенсивність втраченого навантаження $Y_{em} = A - Y$) – різниця між потенційним та обслугованим навантаженням ». 3) « Робота, що надходить в ТМЗ, – сумарний час обслуговування всіх викликів, що надійшли в розглянутому інтервалі часу ». 4) « Навантаження, що надходить в ТМЗ, - похідна за часом від роботи, що надходить ». Дане навантаження кількісно дорівнює добутку миттєвої інтенсивності потоку викликів в заданий момент часу на середній час обслуговування одного виклику. Потрібно пам'ятати, вхідне навантаження це інтегральна характеристика, яка описує як потік викликів, що надходить в ТМЗ, так і можливість системи його обслужити. 5) « Надлишкове навантаження дорівнює різниці між навантаженням, що надходить, та обслугованим навантаженням (інтенсивності надлишкового навантаження $R = A - Y$) ».

Потрібно врахувати співвідношення між A і A , Y_{em} і R для різних потоків викликів. Для найпростішого потоку справедливим є $A = A$; $Y_{em} = R$. Для примітивного потоку, що надходить в ТМЗ з явними втратами ($M_i/M/V/L$) величина інтенсивності потенційного навантаження перевищує величину інтенсивності навантаження, що надходить в ТМЗ $A > A$, оскільки джерело виклику, що отримало відмову, стає вільним і здійснює нові виклики, внаслідок чого збільшується A порівняно з A . У випадку коли примітивний потік поступає в систему з очікуванням ($M_i/M/V/W$) маємо цілком протилежний випадок: виклик, що знаходиться в черзі, уповільнює поступлення нових викликів від цього джерела, тобто $A < A$.

На практиці у формулу (1) потрібно внести окремі уточнення, зокрема якщо на інтервалі часу T відомий загальний час t_i , протягом якого в ТМЗ було зайнято кількість ліній i , то відношення t_i/T вказує на статистичну оцінку імовірності $P_i(T)$:

$$Y(T) = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^v i * t_i \quad (6)$$

де i – кількість каналів, які одночасно зайняті в ТМЗ, v – загальна кількість каналів в ТМЗ, t_i – загальний час, протягом якого було зайнято кількість ліній, яка рівна i .

Формулу (6) раціонально застосовувати для оцінки надлишкового навантаження, однак замість зайнятих ліній i потрібно використовувати кількість викликів r , які отримали відмову, а замість t_i – загальний час t_r , протягом якого не здійснено обслуговування рівно r викликів:

$$R(T) = \frac{1}{T} \sum_{r=0}^{\infty} r * t_r \quad (7)$$

У випадку, коли в системі виклики не отримують відмову:

$$Y(T) = A = \lambda * h \quad (8)$$

де λ - характеристика потоку викликів; h - середній час обслуговування потоку викликів.

Викладена вище методика використовується для аналітичного дослідження різноманітних телекомунікаційних систем зв'язку з втратами. Однак з розвитком комп'ютерної техніки та інженерії програмного забезпечення з'явилася можливість досліджувати навантаження та втрати в системі за допомогою різноманітних прикладних програм як на професійному так і навчальному рівні.

Зокрема для побудови дослідних моделей ТМЗ в середовищі «MATLAB+SIMULINK» передбачена бібліотека «SIMEVENTS», за використання якої дозволяє проектувати та моделювати та досліджувати різноманітні динамічні телекомунікаційні системи з неперервними та дискретними компонентами, які можуть генерувати дискретні події та дискретний час (рис. 3).

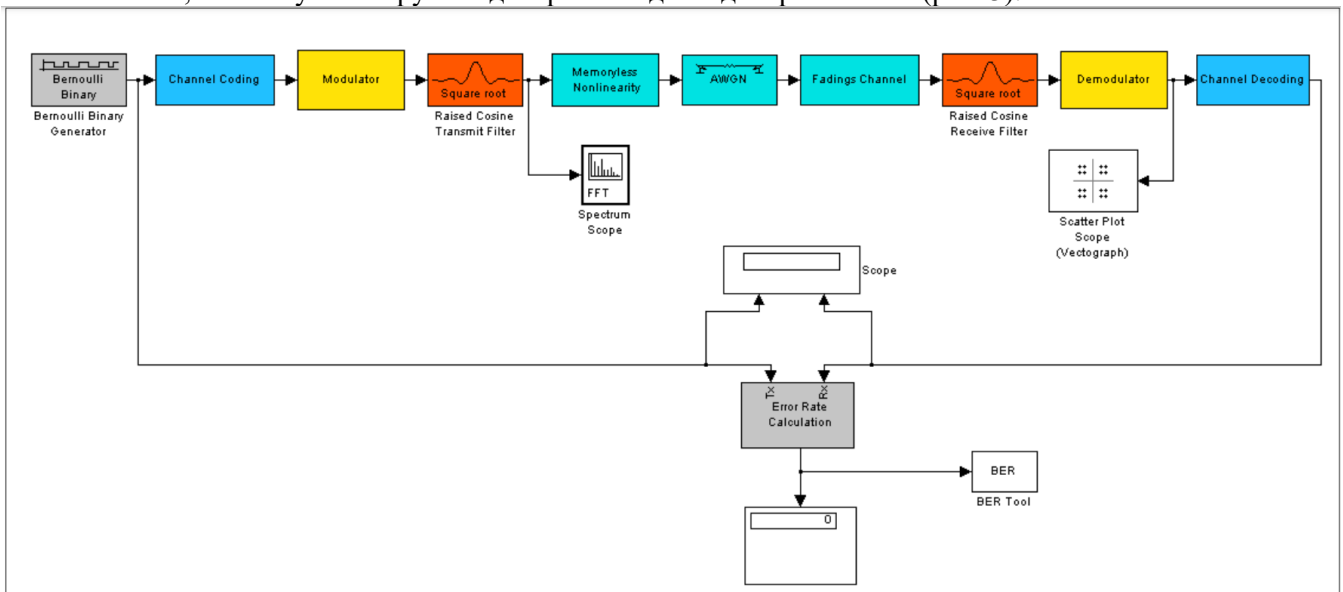


Рис. 3. Приклад побудови моделі для дослідження в «MATLAB+SIMULINK»

Для побудови складних моделей використовують також різні основні бібліотеки графічної мови «SIMULINK», такі як «MATH OPERATIONS» (математичні операції), «SIGNALS» (сигнали), «PORTS & SUBSYSTEMS» (порти та підсистеми) тощо.

Для навчальних цілей використовуються різні спеціалізовані прикладні програми, які розроблюються для вирішення окремих завдань (рис. 4).

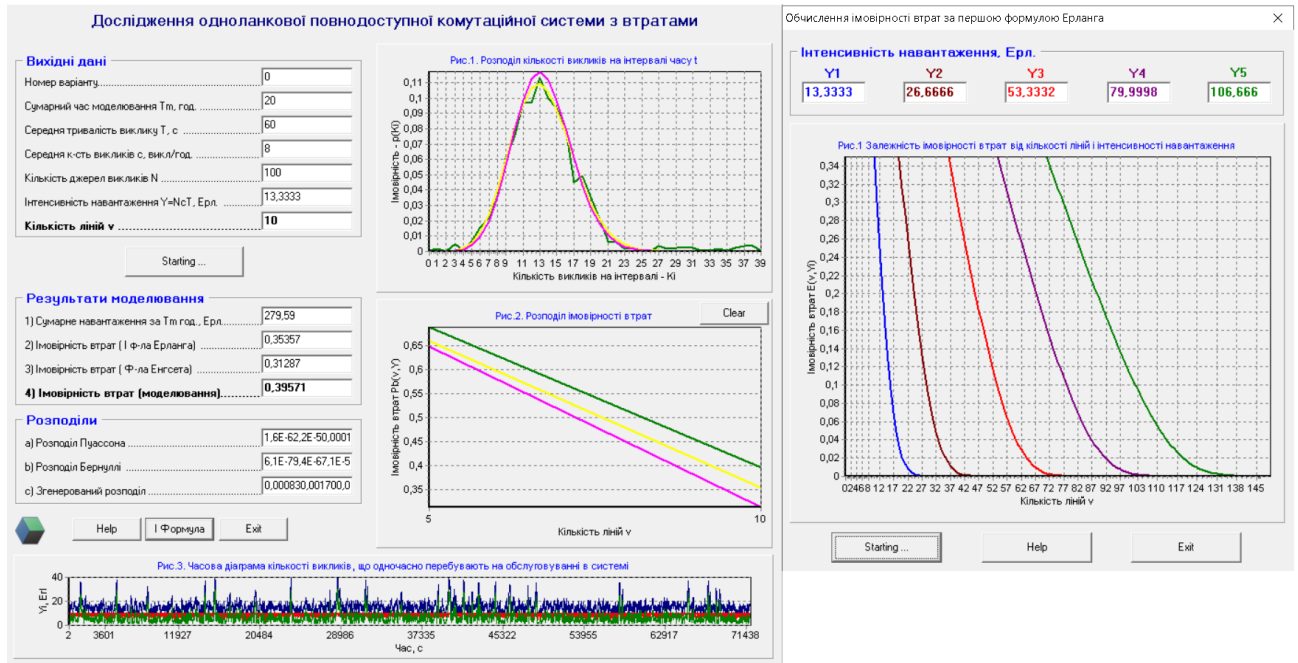


Рис. 4. Приклад прикладної програми для дослідження ТМЗ з втратами.

На рисунку поданий приклад прикладної програми, яка дозволяє здійснити дослідження одноланкової повнодоступної комутаційної системи з втратами. Зокрема змодельовані розподіли кількості викликів на заданому інтервалі часу, ймовірності втрат в системі, часова діаграма кількості викликів, що одночасно перебувають на обслуговуванні в системі. В програмі є можливість за допомогою зміни інтенсивності навантаження спостерігати за залежністю ймовірності втрат від кількості ліній.

Висновки

Отже для дослідження навантаження та витрат використовується аналітичні методи та методи комп'ютерного моделювання. Для аналітичних методів практична оцінка втрат проводиться на основі даних, які отриманні в процесі вимірювання параметрів ТМЗ. Зокрема, ймовірність втрат за викликами визначається як відношення кількості викликів, що були втрачені за розглянутий інтервал часу, та викликів, що надійшли за цей же інтервал; ймовірність втрат за часом визначається за виразом: відношення кількості суми тривалості кожного виклику в кожному каналі ТМЗ до загальної тривалості; ймовірність втрат за навантаженням визначається як відношення надлишкового навантаження ТМЗ до вхідного навантаження ТМЗ.

Для методів комп'ютерного моделювання (рисунок 4) є можливість отримати залежності втрат у ТМЗ на основі першої формули Ерланга, формули Енгсета та за результатами моделювання реального процесу здійснення викликів. Однак такі прикладні програми мають окремі недоліки, зокрема сумарний час моделювання для якого здійснюється дослідження є обмеженим. Також під час написання комп'ютерних програм для моделювання можуть бути не враховані окремі величини, що впливають на параметри ТМЗ та допущені окремі спрощення. Однак у навчальних цілях можливостей таких програм для дослідження навантаження та втрат у ТМЗ цілком достатньо.

Список бібліографічного опису

1. Ложковський А.Г. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях / А.Г. Ложковський. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 112 с.
2. Ложковський А.Г. Розрахунок якості обслуговування в пакетній мережі при необмеженій довжині накопичувального буфера. – К.: Зв'язок. – 2009. – №2. – С. 54–58.
3. Ложковський А.Г. Нова методика оцінювання ймовірності втрат викликів, наближена до реальних умов. – К.: Зв'язок. – 2004. – №3. – С. 52–53.
4. Воропаєва В.Я., В.І. Бессараб, В.В. Турупалов, В.В. Червинський. Теорія телерадіографіки. Навчальний посібник для студентів напрямку підготовки «телекомунікації». – Львів: Видавництво:Магнолія ДВНЗ «ДонНТУ». – 2011. – 203 с.
5. Janevski T. Traffic analysis and design of wireless IP networks. - Boston Artech House, 2003. -238 p.

6. Teletraffic engineering handbook. ITU-D SG 2/16 & ITC. Draft 2001-06-20 www.itu.int/ITU-D/studygroups. 308 p.
7. Меліков О.З., Пономаренко Л.А., Паладюк В.В. Телетрафік: Моделі, методи, оптимізація. -К.: ІПК «Політехніка», 2007. – 256 с
8. Raveendranathan K.C. Communication Systems Modeling and Simulation using MATLAB and Simulink.- Universities Press/). 2011. 448 p

References

1. A.H. Lozhkovskiy Theory of mass service in telecommunications / A.H. Lozhkovsky. – Odesa: ONAZ named after O.S. Popova, 2010. – 112 p.
2. A.H. Lozhkovskiy Calculation of the quality of service in a packet network with an unlimited storage buffer length. - K.: Communication. – 2009. – No. 2. - pp. 54–58.
3. A.H. Lozhkovskiy A new technique for estimating the probability of call loss, close to real conditions. - K.: Communication. – 2004. – No. 3. – pp. 52–53.
4. Voropayeva V.Ya., V.I. Bessarab, V.V. Turupalov, V.V. Chervinskiy Theory of teletraffic. Study guide for students of the field of "telecommunications" training. - Lviv: Publishing House: Magnolia DVNZ "DonNTU". - 2011. - 203 p.
5. Janevski T. Traffic analysis and design of wireless IP networks. - Boston Artech House, 2003. -238 p.
6. Teletraffic engineering handbook. ITU-D SG 2/16 & ITC. Draft 2001-06-20 www.itu.int/ITU-D/studygroups. 308 p.
7. Melikov O.Z., Ponomarenko L.A., Paladyuk V.V. Teletraffic: Models, methods, optimization. -К.: ІПК "Polytechnic", 2007. - 256 p
8. Raveendranathan K.C. Communication Systems Modeling and Simulation using MATLAB and Simulink.- Universities Press). 2011. 448 p

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-24>

УДК 681.121.89.082.4

Роман Віталій Іванович, доцент, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-8546-6752>

Ілючок Віктор Олександрович, студент бакалаврату

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ РОЗТАШУВАННЯ ТА ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ АКУСТИЧНИХ КАНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ

Роман В.І., Ілючок В.О. Удосконалення комп'ютерної програми для розрахунку координат розташування та вагових коефіцієнтів акустичних каналів ультразвукових витратомірів. На базі нових числових методів інтегрування удосконалено комп'ютерну програму, яка дозволяє розрахувати координати розташування та вагові коефіцієнти акустичних каналів багатоканальних хордових ультразвукових витратомірів. Програма дозволяє спростити процес проектування нових конструкцій багатоканальних хордових ультразвукових витратомірів.

Ключові слова: комп'ютерна програма, ультразвуковий витратомір, акустичні канали, хордова схема, числові методи інтегрування.

Roman V., Iliuchok V. Improving of the software for calculating the location coordinates and weighting coefficients of acoustic paths of ultrasonic flow meters. Based on new numerical integration method, a software is improved, which allows you to calculate the location coordinates and weighting coefficients of acoustic paths of multipath chordal ultrasonic flow meters. The software makes it possible to simplify the process of designing new designs of multipath chordal ultrasonic flow meters.

Keywords: software, ultrasonic flow meter, acoustic paths, chordal scheme, numerical integration methods.

Проблематика питання. Оскільки ультразвукові витратоміри (УЗВ) працюють за швидкісним принципом вимірювання витрати [1], розрахунок витрати виконується за вимірними значенням швидкості потоку. При цьому, якщо УЗВ є хордовим і багатоканальним, то витрату розраховують за вимірними значеннями швидкості потоку вздовж усіх його акустичних каналів (АК). Значення цих швидкостей підсумовують із застосуванням вагових коефіцієнтів АК. Згідно основного стандарту щодо ультразвукової витратометрії газу ISO17089-1 [1], вагові коефіцієнти АК УЗВ можуть бути постійними або змінними. При цьому, змінні вагові коефіцієнти визначають за вимірними параметрами потоку (до прикладу, швидкість потоку), а постійні вагові коефіцієнти визначаються на підставі відомих числових методів інтегрування (ЧМІ) [2-5]. Також слід зауважити, що ЧМІ використовуватись для розрахунку координат розташування хордових АК УЗВ відносно осі вимірювального трубопроводу (ВТ) [1].

В роботі [6] нами було обґрунтовано розробку комп'ютерної програми *NumericalMethods* (версія 1.0), яка б у зручній формі дозволяла користувачу швидко та миттєво отримувати координати розташування та вагові коефіцієнти АК УЗВ на базі класичних ЧМІ. Розроблена програма базується на таких ЧМІ: Гауса-Лежандра, Гауса-Чебишева та Гауса-Якобі. Проте, логічно припустити, що класичні ЧМІ для задач ультразвукової витратометрії, рано чи пізно, повинні були породити нові методи на їх основі або піддатись удосконаленню. В даній роботі поставлено за мету дослідити такі ЧМІ та доповнити ними комп'ютерну програму *NumericalMethods*. При цьому основним критерієм при відборі ЧМІ має бути той факт, що цей метод використовується науковцями/розробниками задля проектування нових УЗВ, або дослідження існуючих витратомірів. Також нами сформовано другорядну мету роботи – удосконалити комп'ютерну програму *NumericalMethods* з позиції взаємодії з користувачем, адже в існуючій (версія 1.0) при введенні неправильних значень, користувачу не надається жодних повідомлення про подальші дії.

Аналіз публікацій. Аналізуючи наукову літературу в галузі ультразвукової витратометрії [2-4], нами було відібрано два ЧМІ, які будуть додані до удосконаленої програми *NumericalMethods* (версія 2.0). Розглянемо детальніше ці ЧМІ.

В науковій праці [2] зазначено, що в найрізноманітніших ситуаціях застосування класичних ЧМІ (так звана стандартна квадратура Гауса [5], яку ще називають ЧМІ Гауса-Лежандра; квадратура на базі полінома Чебишева другого порядку [5], яка є базою для класичного ЧМІ Гауса-Якобі) для визначення усередненої швидкості потоку багатоканального хордового УЗВ за швидкостям вздовж його АК, не завжди дає хороші результати. Натомість, С.Г. Harris та W.A.V. Evans пропонують свій метод («tailored to velocity profiles method»), детально описаний в [7] (в цій роботі він буде мати назву ЧМІ Гарріса-Еванса), і згідно якого, знаючи заздалегідь функціональну форму профіля швидкості потоку, можна розрахувати оптимальні координати розташування та вагові коефіцієнти АК УЗВ. Згідно ЧМІ Гарріса-Еванса, вагові коефіцієнти та координати розташування АК УЗВ в певному сенсі «приспосовуються» до функціональної

форми профілю швидкості [7]. Провівши дослідження, викладені в [7], автори показали, що ЧМІ Гарріса-Еванса дозволяє спроекувати багатоканальний хордовий УЗВ, що дає менші похибки вимірювання витрати для заданої кількості АК у порівнянні з ЧМІ Гауса-Лежандра і ЧМІ Гауса-Якобі: для двоканальних УЗВ (в діапазоні числа Рейнольдса $Re = 10^3 \dots 10^7$) ЧМІ Гауса-Лежандра призводить до пікової похибки приблизно в -7,5 %, ЧМІ Гауса-Якобі майже 4 %, а ЧМІ Гарріса-Еванса призводять до найменшої пікової похибки в 2 % в кінці діапазону; при цьому похибка вимірювання витрати один раз дорівнює нулю при $Re \approx 10^4$ для ЧМІ Гарріса-Еванса; для три-, чотири- і п'ятиканальних УЗВ пікова похибка вимірювання витрати (в діапазоні $Re = 10^3 \dots 10^7$) за ЧМІ Гауса-Якобі показує гірші результати за ті, які отримані за ЧМІ Гауса-Лежандра; у всіх випадках ЧМІ Гарріса-Еванса створює менший та рівномірний розподіл похибки, для понад чотирьох порядків числа Re , що становить 0,1 % або ще менше, для чотири- і п'ятиканальних УЗВ.

Що стосується другого відібраного методу, то про нього детально описано в науковій праці [3]. В ній Voser пропонує дещо модифікувати ЧМІ Гауса-Якобі для інтегрування швидкостей потоку УЗВ – визначати координати розташування та вагові коефіцієнти АК на базі зміненої вагової функції поліному Якобі. Тим самим, Voser пропонує відмовитись від ідеї застосування рівномірного розподілу швидкостей (ступінь вагової функції поліному Якобі $k = 0,5$) на користь нерівномірного (турбулентного) розподілу швидкостей (ступінь вагової функції поліному Якобі $k = 0,6$) [3, 4]. Це дозволяє отримати підінтегральну функцію ЧМІ максимально ідентичному реальному турбулентному профілю потоку (враховується нульова пристінна швидкості). Цей ЧМІ отримав назву OWICS (Optimized Weighted Integration Method for Circular Sections) і дозволяє зменшити похибку інтегрування швидкості потоку на 0,1...0,2 % відносно класичного ЧМІ Гауса-Якобі. Крім того, Voser включив у свій метод фактичні, виміряні координати розташування АК УЗВ, чим виключив похибку позиціонування. Даний ЧМІ був включений до стандарту CEI/IEC 60041 як один із таких, що використовується при акустичному вимірюванні водостоків гідроелектростанцій (Acoustic Discharge Measurement, ADM) [8].

Викладення основного матеріалу. Удосконалення ЧМІ для задач ультразвукової витратометрії, в першу чергу стосуються того, щоб мінімізувати похибку вимірювання витрати спроектованого УЗВ в реальних умовах експлуатації. І тут виникають два напрямки дослідження: 1) ЧМІ для УЗВ, які даватимуть найменшу похибку вимірювання витрати в умовах неспотвореної структури потоку; 2) ЧМІ для УЗВ, які даватимуть найменшу похибку вимірювання витрати в умовах спотвореної структури потоку (під впливом місцевих опорів, регуляторів тиску, фільтрів та іншого технічного обладнання, що інстальоване у вимірювальний трубопровід).

Для першого напрямку досліджень, у випадку комерційного обліку, обійтись без калібрування спроектованого УЗВ перед його запуском в експлуатацію, не вийде. Завдяки множенню вимірюваного значення витрати УЗВ на калібрувальний коефіцієнт, вдається отримати задовільний результат не зважаючи на те, яким чином отримані координати розташування та вагові коефіцієнти АК УЗВ – тобто тип ЧМІ не є важливим. Слід зауважити, що можуть існувати випадки, коли ЧМІ зовсім не застосовують. При цьому АК УЗВ розміщують рівномірно і пропорційно до їх кількості, це стосується і визначення вагових коефіцієнтів. В такому випадку калібрування нового УЗВ вкрай необхідне [1].

Для другого напрямку, застосування класичних ЧМІ та процесу калібрування УЗВ, на нашу думку, не завжди даватиме бажані результати вимірювання без додаткового калібрування по місцю. Це викликано тим, що дотепер не існує вичерпного списку стандартизованих рекомендацій щодо розміщення відкаліброваного УЗВ відносно джерел спотворення структури потоку [1]. Цьому є кілька логічних причин: велика варіативність конструкцій розташування АК УЗВ (хордові, Δ -схема, комбіновані); велика варіативність застосування АК УЗВ (2, 3, 4, 5, 6 та їх комбінації; перехрещування); велика варіативність джерел спотворення структури потоку, зокрема типових місцевих опорів та їх комбінації; непередбачуваність режиму течії вимірюваного середовища (значення числа Рейнольдса), на який впливає стан внутрішньої поверхні стінок ВТ та засмічення потоку. Також існує випадок, коли необхідної довжини прямолінійної ділянки між УЗВ і джерелом спотворення просто не вистачає із-за особливостей технологічної площадки. В такому випадку калібрування по місцю дозволяє мінімізувати похибку вимірювання витрати [1].

Як у першому, такі особливо і у другому дослідженні, існує один фактор, який спонукає науковців до удосконалення класичних ЧМІ – вони несуть в собі долю похибки. Це викликано тим, що математичний апарат класичних ЧМІ (до прикладу, вагова функція ортогонального поліному Якобі в класичному ЧМІ Гауса-Якобі), не враховує напряму природи потоку [2-3]. Оскільки дана проблема відома, науковці намагаються удосконалювати класичні ЧМІ для визначення координат розташування та вагових коефіцієнтів АК УЗВ із врахуванням теорії розподілу швидкості потоку (застосовують закони

розподілу швидкості потоку в поперечному перерізі ВТ). Проте навіть у цьому випадку емпірично-виведені закони розподілу швидкості потоку функціонально залежать від числа Рейнольдса та шорсткості внутрішніх стінок ВТ. В цьому випадку точність проєктованого УЗВ залежатиме від того, яку функціональну залежність і як саме, застосує науковець [2-3]. Тому поява нових ЧМІ для проєктування УЗВ неминуча.

Як відомо, обчислення об'ємної витрати багатоканальних хордових УЗВ (q_v) може відбуватись із застосуванням наступної формули [3-4]:

$$q_v = \frac{\pi D^2}{4} \sum_{i=1}^N \left(\frac{2\sqrt{R^2 - x(i)^2}}{\pi R} w(i)v(i) \right), \quad (1)$$

де $D = 2R$ – внутрішній діаметр ВТ (або корпусу УЗВ); R – внутрішній радіус ВТ; $x(i)$, $w(i)$ – координата розташування та ваговий коефіцієнт i -го АК; $v(i)$ – усереднена вздовж i -го хордового АК швидкість потоку; N – кількість АК УЗВ. Для реалізації формули (1) необхідно мати значення $x(i)$ та $w(i)$, а також значення середньої швидкості потоку $v(i)$ вздовж кожного хордового АК.

Як зазначено в стандарті ISO17089-1 та звітах Американської газової асоціації (AGA Report No.7) та Європейської групи по дослідженню газу (GERG Technical Monograph No.11), значення $x(i)$ та $w(i)$ можуть бути розраховані із застосуванням ЧМІ. Як вже було зазначено, в роботі [6] нами розглянуто класичні ЧМІ, які найчастіше зустрічаються в наукових працях по ультразвуковій витратометрії, і на їх основі розроблено комп'ютерну програму (консольний калькулятор) для зручного їх використання.

Зважаючи на результати виконаного аналізу наукових праць, значення координат розташування та вагових коефіцієнтів АК УЗВ (для $N = 2, 3$ та 4) за ЧМІ Гарріса-Еванса та ЧМІ OWICS зведено в таблицю 1. Саме ці дані будуть додані до оновленої комп'ютерної програми *NumericalMethods* (версія 2.0) для проєктування багатоканальних хордових УЗВ.

Таблиця 1. Координати розташування та вагові коефіцієнти АК УЗВ

N	ЧМІ Гарріса-Еванса [2]		ЧМІ OWICS [3]	
	$x(i)$	$w(i)$	$x(i)$	$w(i)$
2	$\pm 0,4782$	0,8695	$\pm 0,4879$	0,8908
3	$\pm 0,7794$	0,5035	$\pm 0,6956$	0,5537
	0	0,9304	0	0,7687
4	$\pm 0,8893$	0,2273	$\pm 0,7996$	0,3719
	$\pm 0,4067$	0,7441	$\pm 0,3038$	0,5882

Удосконалена комп'ютерна програма *NumericalMethods 2.0*, як і попередня її версія, в режимі консольного спілкування запитує від користувача інформацію про внутрішній радіус ВТ (r), кількість АК УЗВ (N) та тип ЧМІ (M). На додачу, якщо користувач обирає ЧМІ Гауса-Якобі, програма запитує значення k . На виході програма видає:

- 1) масив значень відносних координат розташування АК УЗВ $x(i)$;
- 2) масив значень реальних координат розташування АК УЗВ $X(i)$;
- 3) масив значень вагових коефіцієнтів АК УЗВ $w(i)$.

Спрощена блок-схема удосконаленої програми наведено на рис.1. Комп'ютерна програма *NumericalMethods 2.0* розроблена в середовищі розробки Visual Studio Community 2019 із використанням мови програмування C#.

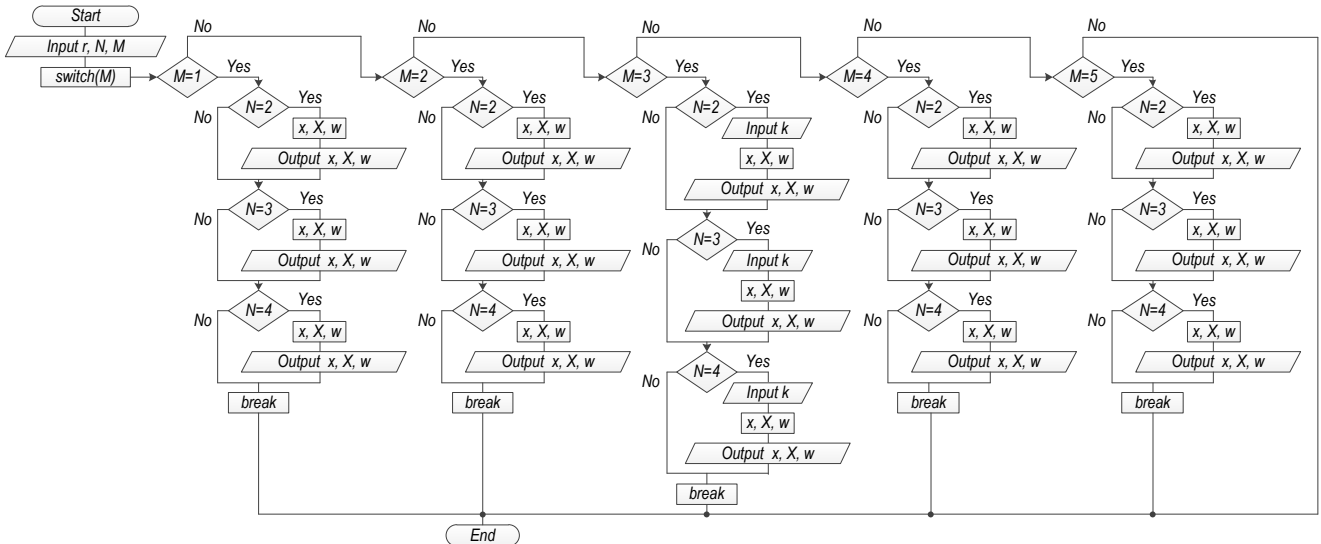


Рис.1. Спрощена блок-схема «логіки» програми *NumericalMethods 2.0*

У випадку $M = 1$ та $M = 2$, значення координат розташування (x) та вагових коефіцієнтів (w) АК УЗВ отримано за табличними (довідковими) даними [2, 3, 5], а для $M = 4$ та $M = 5$ за даними з таблиці 1 – ЧМІ Гарріса-Еванса та ЧМІ OWICS відповідно. Значення реальних координат розташування (X) АК УЗВ отримано множенням x на внутрішній радіус ВТ. Для складнішого випадку, коли значення $M = 3$, де користувач додатково повинен увести значення степеня вагової функції поліному Якобі (k), координати розташування (x) та вагові коефіцієнти (w) АК УЗВ отримано за відповідними поліноміальними аналітичними залежностями $x = f(k)$ та $w = f(k)$ [6]. Опісля, значення реальних координат розташування (X) АК УЗВ так само отримано множенням x на внутрішній радіус ВТ.

На рис.2 зображено консольне вікно програми *NumericalMethods 2.0* в режимі «запиту».

```

*****
                NumericalMethods 2.0
* The program for calculating the coordinates of the location (x) *
* and the weighing coefficients (w) of the acoustic paths of *
* chordal ultrasonic flow meters (USM). Out of user choice, *
* the calculation is performed by one of the three numerical *
* methods of integration (NMI) - Gauss-Legendre, Gauss-Chebyshev, *
* Gauss-Jacobi, Harris-Evans and OWICS.
*
* -----
* Lviv Polytechnic National University, 2023
*****

1. Enter the internal radius of the measuring pipeline (r) in mm: 100
2. Enter the number of acoustic paths USM (N = 2, 3 or 4): 2
3. Choose a NMI (enter the number):
    1 - Gauss-Legendre
    2 - Gauss-Chebyshev
    3 - Gauss-Jacobi
    4 - Harris-Evans
    5 - OWICS
5
    
```

Рис.2. Вікно програми *NumericalMethods 2.0* в режимі «запиту»

На рис.3 зображено консольне вікно програми *NumericalMethods 2.0* в режимі «відповіді».

```

r: 100 mm
N: 2
NMI: OWICS
x: 0,4879 -0,4879
X: 48,7900 -48,7900 (mm)
w: 0,8908 0,8908

To repeat - enter 1. To exit - enter 0 and then any key: _
    
```

Рис.3. Вікно програми *NumericalMethods 2.0* в режимі «відповіді»

З метою удосконалення комп'ютерної програми *NumericalMethods 2.0* з позиції взаємодії з користувачем, передбачено вивід попереджувальних повідомлень і прохання повторного введення коректних даних для таких ситуацій:

- 1) якщо значення внутрішнього радіуса ВТ має від'ємне значення або рівне нулю;
- 2) якщо невірно введено номер ЧМІ (ціле число M);
- 3) якщо невірно введено кількість АК УЗВ (ціле число N).

Приклад таких попереджувальних повідомлень показано на рис.4.

```
1. Enter the internal radius of the measuring pipeline (r) in mm: -100
Wrong! The value of the internal radius is negative or zero. Enter the correct value
1. Enter the internal radius of the measuring pipeline (r) in mm: 100
2. Enter the number of acoustic paths USM (N = 2, 3 or 4): 1
Wrong! Enter the correct number of acoustic paths
2. Enter the number of acoustic paths USM (N = 2, 3 or 4): 2
3. Choose a NMI (enter the number):
    1 - Gauss-Legendre
    2 - Gauss-Chebyshev
    3 - Gauss-Jacobi
    4 - Harris-Evans
    5 - OWICS
6
Wrong! Enter the number of the available method
3. Choose a NMI (enter the number):
    1 - Gauss-Legendre
    2 - Gauss-Chebyshev
    3 - Gauss-Jacobi
    4 - Harris-Evans
    5 - OWICS
```

Рис.4. Вікно програми *NumericalMethods 2.0* в режимі виводу попереджувальних повідомлень

На останок, коли програма завершила вивід результатів на екран, передбачено дві ситуації для продовження – завершення програми (вихід з програми), або початок нового розрахунку (повторення розрахунків). Дана опція супроводжується візуальним попередженням користувачу (рис.3).

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Після теоретичного обґрунтування потреби, авторами удосконалено розроблену ними комп'ютерну програму-калькулятор *NumericalMethods 2.0*, яка в консольному режимі розраховує значення координат розташування та вагових коефіцієнтів АК багатоканальних УЗВ. Користувач для успішного її застосування, вводить три (або чотири, у випадку ЧМІ Гауса-Якобі) вхідні параметри: 1) внутрішній діаметр вимірювального трубопроводу; 2) кількість АК УЗВ; 3) тип ЧМІ; 4) степінь вагової функції поліному Якобі, якщо був обраний ЧМІ Гауса-Якобі. Розроблений алгоритм програми базується як на табличних даних (з математичних довідників), так і на розроблених авторами аналітичних залежностях $x = f(k)$ та $w = f(k)$. Отримання результату відбувається миттєво, що дозволить автоматизувати роботу розробникам, проектантам, науковцям і студентам, які теоретично досліджують майбутній вплив геометричних характеристик УЗВ на їх метрологічну точність в різноманітних умовах експлуатації.

Подальші плани в цьому напрямку стосуються розробки повноцінної програми, з підтриманням візуального інтерфейсу користувача та розширенням функціоналу – можливість розрахунку калібрувального коефіцієнта й витрати УЗВ на базі відомих аналітичних законів розподілу швидкості потоку в трубопроводі.

Список бібліографічного опису

1. International Organization for Standardization. (2010). ISO 17089-1: Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement. Geneva, Switzerland: ISO.
2. Pannel, C.N., Evans, C.N., and Jackson, D.A. (1990). A new integration technique for flowmeters with chordal paths. *Flow Measurement Instrumentation*, 1, 216-224. [https://doi.org/10.1016/0955-5986\(90\)90016-Z](https://doi.org/10.1016/0955-5986(90)90016-Z)
3. Voser, A. (1999). Analysis and error optimization of multipath strength acoustic flow measurement in water turbines. Unpublished master's doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, Switzerland.
4. Tresch, T., Gruber, P., and Staubli, T. (2006, July 30 – August 1). Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurements. Paper presented at the Proceedings of VI International Conference on IGHM, Portland Oregon, USA. <https://www.ighem.org/Paper2006/d6.pdf>
5. Abramovitz, M., and Stegun, I. (1964). *Handbook of mathematical function*. New York, NY: NBS.

6. Roman, V., Matiko, F., and Kutsan, A. (2022). Software for calculating the location coordinates and weighting coefficients of acoustic paths of ultrasonic flow meters. *Journal of Energy Engineering and Control Systems*, 8(2), 98-103. <https://doi.org/10.23939/jeecs2022.02.098>
7. Harris, C.G., and Evans, W.A.B. (1977). Extension of numerical quadrature formulae to cater for end point singular behaviours over finite intervals. *International Journal of Computer Mathematics*, 6(3), 219-227, <https://doi.org/10.1080/00207167708803139>
8. International Electrotechnical Commission. (1991). CEI/IEC 60041: Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines. Storage, pumps and pump turbines.

References

1. International Organization for Standardization. (2010). ISO 17089-1: Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement. Geneva, Switzerland: ISO.
2. Pannel, C.N., Evans, C.N., and Jackson, D.A. (1990). A new integration technique for flowmeters with chordal paths. *Flow Measurement Instrumentation*, 1, 216-224. [https://doi.org/10.1016/0955-5986\(90\)90016-Z](https://doi.org/10.1016/0955-5986(90)90016-Z)
3. Voser, A. (1999). Analysis and error optimization of multipath strength acoustic flow measurement in water turbines. Unpublished master's doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, Switzerland.
4. Tresch, T., Gruber, P., and Staubli, T. (2006, July 30 – August 1). Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurements. Paper presented at the Proceedings of VI International Conference on IGHEM, Portland Oregon, USA. <https://www.ighem.org/Paper2006/d6.pdf>
5. Abramovitz, M., and Stegun, I. (1964). Handbook of mathematical function. New York, NY: NBS.
6. Roman, V., Matiko, F., and Kutsan, A. (2022). Software for calculating the location coordinates and weighting coefficients of acoustic paths of ultrasonic flow meters. *Journal of Energy Engineering and Control Systems*, 8(2), 98-103. <https://doi.org/10.23939/jeecs2022.02.098>
7. Harris, C.G., and Evans, W.A.B. (1977). Extension of numerical quadrature formulae to cater for end point singular behaviours over finite intervals. *International Journal of Computer Mathematics*, 6(3), 219-227, <https://doi.org/10.1080/00207167708803139>
8. International Electrotechnical Commission. (1991). CEI/IEC 60041: Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines. Storage, pumps and pump turbines.

CONTENTS

AUTOMATION AND MANAGEMENT	
Kovivchak Ya., Dubuk V., Bertash D. Development of an automated system for monitoring indicators of a child's physiological state.	5
Kuzavkov V.V., Polyak I.E. Analysis of the transport base for the installation of a stabilized platform of an atypical artillery system.	15
Siromakha A.G., Piatykop O.Y., Kotykhova L.D. Issues of developing software for automating the conduct and verification of dictations.	21
Shvachych G.G., Mamuzich I., Moroz B.I., Aleksieiev O.M., Khar A.T., Myronenko M.A. Prognostication of production processes based on polynomial regression analysis.	27
INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE	
Vasytkivskiy M., Boldyreva O., Onyshchuk D., Hnatenko Yur. Dynamic information network with built-in artificial intelligence.	36
Hulivata I.O., Radzichovska L.M. Application of case technologies in the implementation of mathematical modeling of economic processes.	46
Dobryshyn Yu., Bondarenko I., Sydorenko S. Cyberattack impacted software diagnostics technological process formalization.	52
Kasianchuk D.P., Marchenko O.I. Modified method of static code analysis for solving problem of folding of string constants	57
Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rechun O.Yu. Components and key features of the analysis symmetric cryptocircuit.	65
Medvinskyi S. The user authorization in computer system by tracking the image of choriocapillaris.	71
Melnychuk Yu.Ye. The principles of building educational information systems.	77
Miskevich O.I. Analysis of the operation of network utilities in the Windows command window	84
Pasternak R. M. Relativistic equations of motion in a potential force field.	90

Poplavska G. Study of the impact of digital tools on the quality of education.	95
Pronina O.I., Paliy I.D. Use of augmented reality for teaching children early literacy.	100
Romaniuk P. Cloud technologies: analysis, perspectives, implementations.	108
Salanda I.P., Furman O.A., Babii N.V., Galagan I.M., Klak D.S. Development of a model of key STEM competencies for participants in the modern educational process.	114
Sakhniuk P., Zamurujeva O., Fedosov S. Using TYPO3 as a content management system in the corporate sphere.	120
TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING	
Romaniuk V., Bieliakov R. control functions of FANET communication nodes of land-air network.	125
Borisov O.V., Borisov I.V. The use of drones to improve the efficiency of communication in combat conditions.	131
Borisov O.V. The role of neural networks in military intelligence and combat operations.	136
Vasykivskyi M., Budash M., Boldyreva O. Ensuring information security in 6G telecommunication networks.	142
Moroz S.A., Yakymchuk N.M., Selepina Y.R., Yevsyuk M.M. Methods of estimating load and losses in telecommunication communication networks.	151
Roman V., Iliuchok V. Improving of the software for calculating the location coordinates and weighting coefficients of acoustic paths of ultrasonic flow meters.	157

ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ТА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ СТАТЕЙ

➤ **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:**

- 1) **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
 - 2) **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
 - 3) **виділення невіршених раніше частин загальної проблеми**, котрим присвячується означена стаття;
 - 4) **формулювання мети дослідження** (постановка завдання);
 - 5) **виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження, у тому числі з науковою новизною і
 - 6) **перспективи подальших досліджень** у даному напрямку.
- Статтю можна подавати українською, російською або англійською мовами. Вона повинна бути набрана у текстовому редакторі MS WORD 03/07/10 і надрукована на лазерному або струменевому принтері на білих листах формату А4 (297×210 мм). **Нумерацію сторінок** не виконувати. **Обсяг статті** 5-10 сторінок (не менше).
 - **Параметри сторінки**. Верхнє, нижнє та праве поле –1,5 см, лівє – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
 - **Шапка статті**. УДК, ORCID (якщо є), автори (ім'я та прізвище повністю), місце роботи кожного автора. Назва організації та назва статті набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Суг розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується через один рядок нижче назви організації (розмір шрифту 11 пт з напівжирним виділенням та вирівнюванням по центру).
 - **Анотації** (українською, російською та англійською мовами) повинні містити прізвища та ініціали авторів, назву статті та короткий її зміст і розміщуються через один рядок нижче назви статті та набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Суг розміром 9 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині. Нижче анотацій обов'язково вказуються **ключові слова**.
 - **Основний текст** розміщується на через один рядок нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюється по ширині.
 - **Формули** набираються у редакторі формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Суг; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
 - **Ілюстрації**, що присутні у статті, необхідно розташовувати у тексті по центру, вирівнюючи підписи по центру (Рис. 1. Назва). Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
 - **Таблиці** потрібно розташовувати у тексті по центру, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею ставиться її порядковий номер і назва (Таблиця 1. Назва) та вирівнюється по центру.
 - **Посилання** на ту чи іншу роботу повинні позначатися в тексті у квадратних дужках за порядковим номером у списку літератури в кінці статті; посилання на джерела статистичних даних обов'язкові; посилання на публікації дослідників обов'язкові; посилання на підручники, навчальні посібники, газети і ненаукові журнали – небажані; посилання на власні публікації допускаються тільки у випадку крайньої необхідності; роботи авторів, на прізвища яких є посилання в тексті, мають бути в списку літератури до цієї статті.
 - **Список бібліографічного опису та References**. Список літератури («References») потрібно приводити повністю окремим блоком, повторюючи список літератури, який подається українською / російською мовою, незалежно від того, є в ньому іноземні джерела чи ні. Тобто, після статті подається 2 списки: «Список бібліографічного опису» (звичайний список літератури) і «References» (список для міжнародних БД). Необхідно в опис джерела вносити всіх авторів, не скорочуючи їх до трьох, як це рекомендовано діючими у нас державними стандартами. References - повинен бути укладений англійською мовою або транслітерований. Оформлювати згідно з одним із найбільш уживаних у світі стандартів: APA – American Psychological Association; CBE – Council of Biology Editors, Citation-Sequence; Chicago (Author-Date System); Harvard; Harvard – British Standard; MLA (Modern Language Association) – Single Spaced Reference List; NLM – National Library of Medicine; Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. У жодному з перелічених стандартів не використовуються розділові знаки: «//», «-». Назва джерела та вихідні дані відокремлюються від авторів і заголовка статті типом шрифту, найчастіше, курсивом (*italics*), крапкою або комою. Існує багато безкоштовних програм для створення бібліографічних описів у романській абетці, що дають можливість автоматично створювати посилання за одним із світових стандартів наприклад: <http://www.easybib.com/>, <http://www.bibme.org/>, <http://www.sourceaid.com/>, <https://vak.in.ua/>.
 - **Рецензування статей**. Просимо вказати двох рецензентів (ПІБ, електронні адреси та звання) для подальшого рецензування Вашої статті. Адміністратор реєструє поданих рецензентів на сайті журналу, тоді на їхню електронну адресу надсилається форма для рецензування. Редакція залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію та відхиляти їх в разі відсутності рецензій.
 - Стаття обов'язково подається на електронну адресу: cit@lntu.edu.ua.
 - Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.
 - **Усі рукописи проходять перевірку на плагіат!**

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ
(поля верхнє, нижнє -1.5 см, ліве та праве 2см. дзеркальні поля)

ЗРАЗОК

УДК 621.391

Мороз Борис Іванович, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Антіпов Олександр Андрійович, аспірант,

Журавльов Володимир Сергійович, аспірант.

<https://orcid.org/0000-0002-7366-9552>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ МЕДИКАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (МУЛЬТИКОПТЕРІВ) ЗА ЗАПИТОМ СПОЖИВАЧА

Мороз Б. І., Антіпов О.А., Журавльов В. С. Автоматизована система доставки медик
безпілотних літальних апаратів (мультикоптерів) за запитом споживача. Представлено концепт системи доставки
медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Запропоновано архітектуру системи автоматичної
диспетчеризації замовлень від споживача, зберігання замовлень, та планування доставки дронами. Також було розглянуто
юридичні обмеження роботи запропонованої системи.

Ключові слова: мультикоптер, дрон, доставка, клієнт-серверна архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Мороз Б. И., Антипов А.А., Журавлев В. С. Автоматизированная система доставки медикаментов с
помощью беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров) по запросу потребителя. Представлен концепт
системы доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Предложена архитектура системы
автоматической диспетчеризации заказов от потребителя, хранения заказов, и планирование доставки дронами. Также были
рассмотрены юридические ограничения работы предложенной системы.

Ключевые слова: мультикоптер, дрон, доставка, клиент-серверная архитектура, RSA, APM, HTTPS, Mission
Planner.

Moroz B., Antipov A., Zhuravlev V. Automated system for the delivery of medical supplies using unmanned aerial
vehicles (multicopter) at the request of the consumer. The concept of medical supplies delivery system using unmanned aerial
vehicles is presented. The architecture of the system of automatic dispatching orders from the consumer, storage of orders, and
scheduling delivery by drones are proposed. The legal limitations of the proposed system were also considered.

Keywords: multicopter, drone, delivery, client-server architecture, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Постановка наукової проблеми.

.....

Аналіз досліджень.

.....

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

.....

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

.....

Список бібліографічного опису

1. Сін Лю, Ціньян Сяо, Віджай Гопалакришнан, Маттео Варвелло (2017) Досліджен
панорамного відеопотоку, С. 50-55. ACM.
2. Б. Хань, Ф., Цянь, Л. Джі та В. Гопалакришнан. (2017) MP-DASH: Адаптивна відео-трансляція через перевагу,
орієнтовану на багатфункціональність. У матеріалах 12-ї Міжнародної конференції з нових мережевих
експериментів та технологій, С. 129-143. ACM.

References

1. Xing Liu, Qingyang Xiao, Vijay Gopalakrishnan, Matteo Varvello (2017) Research 360° Innovations for Panoramic Video
Streaming, P. 50-55. ACM.
2. Han, B., Qian, F., Ji, L. & Gopalakrishnan, V. (2017) MP-DASH: Adaptive Video Streaming Over Preference-Aware
Multipath. In Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies,
P. 129-143. ACM.

Стаття надійшла 14.05.2019 р.

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» можна отримати у відповідального секретаря – Свиридюк Катерини Анатоліївни за тел. (0332) 74-61-15, або (063)-940-69-42.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 141

Автор статті отримує 1 примірник збірника у форматі *pdf.

Вартість однієї сторінки становить 40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ЗВО.

Окремо, кожній статті, буде присвоєний DOI (digital object identifier) - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату 60 грн.(ціна з 2021 року).

**Реквізити для зарахування коштів
(за публікацію наукових праць, участь у наукових заходах)**

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

код в ЄДРПОУ 05477296

UA16 820172 0 3132 5 1 002 3 02 017820

в ДКСУ у м. Київ МФО 820172

Україна, Волинська область,

43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

Колектив авторів

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

Науковий журнал

Підп. до друку 28.03.2023. Формат А4. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15.25 Обл. – вид. арк. 15.75
Тираж 20 прим. Зам. № 14/22

Комп'ютерний набір та верстка:

Н.А. Христинець

Друк Відділ іміджу та промоції ЛНТУ
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК №4123 від 28.07.2011 р.
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, тел.: (0332) 74-61-02
e-mail: rvv_intu@ukr.net