

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

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

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ



Відповідальний редактор – професор, д.ф-м.н., Пастернак Я.М.

№48 2022

*м. Луцьк
Видавництво Луцького національного технічного університету*

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

№48 2022р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
професор д.ф.-м.н., Пастернак Я.М.	(м. Луцьк)
Заступники головного редактора:	
проф., д.т.н. Андрушак І.Є.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Пех П.А.	(м. Луцьк)
Відповідальний секретар:	
ст. викл., к.т.н. Христинець Н.А.	(м. Луцьк)
Члени редакційної колегії:	
проф, PhD. Milosz Marek	(Польща, м. Люблін)
проф, PhD. Alison McMillan	(Великобританія)
проф, PhD. Дехтяр Ю.Д.	(Литва, м. Рига)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Мороз Б.І.	(м. Дніпро)
проф., д.т.н. Степанов М.М.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Тарасенко В.П.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Віноградов М.А.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Мельник А.О.	(м. Львів)
проф., д.п.н., Черняшук Н.Л.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н Мельник К.В.	(м. Луцьк)
доц., к.ф.-м.н Мельник В.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Багнюк Н.В.	(м. Луцьк)
доц.,к.т.н. Здолбіцька Н.В.	(м. Луцьк)
доц.,к.т.н. Костючко С.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Лотиш В.В.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Гуменюк Л.О.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Заблоцький В.Ю.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Решетило О.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 №2 засідання від 29.09.2022)

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	
Пістун Є.П., Матіко Г.Ф., Крих Г.Б. Вдосконалення гідродинамічних пристроїв для вимірювання реологічних параметрів рідин.	5
Роман В.І., Матіко Ф.Д., Ялінський Д.Я. Дослідження додаткових складових похибки вимірювання витрати ультразвукових витратомірів методами обчислювальної гідродинаміки.	13
Четверикова Т.Г., Клехо О.В. Системи створення та використання відеоконтенту для реалізації дистанційного навчання.	21
ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Andrushchak I.Ye., Matviiv Yu.Ya., Koshelyuk V.A. Components of viruses and antivirus software in modern information security.	26
Zalialetdzinau K. Theoretical and methodological aspects of assessing the security of cloud it components according to the criteria of existing standards.	31
Адашевська І.Ю., Краєвська О.О. Про вибір оптимальної точки зору при побудові перспективних зображень.	36
Бельмас І.В., Білоус О.І., Танцура Г.І., Сай О.В., Гупало Ю.Ю. Вплив пориву троса на напружений стан гумотросового вантового канату.	42
Гулівата І.О., Радзіховська Л.М., Середницька Л.П. Шляхи цифровізації маркетингових послуг у системі організації вступу до закладів вищої освіти України.	53
Димова Г.О. Побудова моделі «вхід – простір станів – вихід» на основі властивостей лінійних операторів з використанням ганкелевих матриць.	59
Козубцова Л.М., Козубцов І.М., Здобіцька Н.В., Кошелюк В.А. Показники ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.	64
Косенюк Г.В., Розломій І.О. Компетентнісний підхід у викладанні курсу «Теорія ймовірностей та математична статистика» здобувачам вищої освіти в галузі комп'ютерних наук.	70
Кубрак Ю.О., Плечистий Д.Д., Романішин В.В. Принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту.	76
Ломоносов Ю.В. Методи виділення контурів при багатомасштабному аналізі медичних зображень.	83
Недашківський С.М. Комплексна методика відновлення графічних даних на основі морфологічних алгоритмів.	89

Пастернак Р.М. Конструювання релятивістської механіки дискретної матерії в евклідовому 4-просторі.	95
Пех П.А., Лавренчук С.В., Міскевич О.І., Дяченко Р.О. Порівняльний аналіз методів розв'язування диференціальних рівнянь засобами Matlab та Matlab Simulink.	103
Пех П.А., Христинець Н.А., Кучерук О.С. Реалізація алгоритмів сортування елементів послідовних контейнерів засобами C++ бібліотеки стандартних шаблонів STL.	111
Хомутник Д.Ю., Марченко О.І. Високорівневий спосіб опису ресурсів хмарної інфраструктури.	117
Юхта О.А., Ройко О.Ю. Алгоритмічне забезпечення розпізнавання штрих-кодів на базі камери.	124
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА	
Залужний О.В., Радзівілов Г.Д, Козубцова Л.М. Аналіз цифрових методів модуляції та особливостей застосування завадостійких кодів у системах одностороннього радіозв'язку	129
Круліковський Б.Б., Рейнська В.Б. Математичне моделювання комбінаційного суматора в задачах технічної діагностики.	135
Ройко О.Ю., Пугач Т.В. Особливості реалізації програмного забезпечення для визначення показників роботи серця з використанням камери смартфона.	141

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-01>

УДК 681.2.08:532.137

Пістун Євген Павлович, д.т.н., професор,
<https://orcid.org/0000-0002-3120-1978>

Матіко Галина Федорівна, к.т.н., доцент,
<https://orcid.org/0000-0001-5482-2307>

Крих Ганна Бориславівна, к.т.н., доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-6539-400X>

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІДИН

Пістун Є.П., Матіко Г.Ф., Крих Г.Б. Вдосконалення гідродинамічних пристроїв для вимірювання реологічних параметрів рідин. Запропоновано варіанти схем гідродинамічних пристроїв для вимірювання реологічних параметрів псевдопластичних та в'язкопластичних рідин, які працюють в режимі постійної витрати та в режимі постійного перепаду тиску. Наведено математичні залежності для визначення реологічних параметрів рідин, які можна реалізувати на промислових програмованих контролерах. Показано, що запропоновані гідродинамічні пристрої дають змогу суттєво зменшити методичні похибки вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин.

Ключові слова: гідродинамічний реометр, капілярна трубка, неньютонівська рідина, пластична в'язкість, граничне напруження зсуву, індекс потоку, показник консистенції, похибка вимірювання.

Pistun Ye., Matiko H., Krykh H. Improving the hydrodynamic devices for measuring rheological parameters of liquids. Variants of diagrams of hydrodynamic devices for measuring the rheological parameters of pseudoplastic and viscoplastic liquids operating in the constant flow mode and the constant pressure drop mode are proposed. Mathematical dependencies are presented for determining the rheological parameters of liquids, which can be implemented in industrial programmable controllers. It is shown that the proposed hydrodynamic devices make it possible to reduce significantly methodological errors of measurement of the rheological parameters of non-Newtonian liquids.

Keywords: hydrodynamic rheometer, capillary tube, non-Newtonian fluid, plastic viscosity, yield shear stress, flow index, consistency index, measurement error.

Постановка наукової проблеми.

Розроблення та вдосконалення пристроїв для вимірювання фізико-механічних параметрів ньютонівських та неньютонівських рідин є особливо важливим у зв'язку з їх широким застосуванням у різноманітних галузях промисловості, таких як хімічної та нафтохімічної, нафтової та нафтопереробної, харчової та переробної тощо [1, 2]. Властивості рідин впливають на ефективність процесів переміщення, розтікання, перемішування та інших. За реологічними властивостями неньютонівські рідини достатньо різноманітні. Одна і та сама рідина, залежно від її стану і умов навантаження, може виявляти різні реологічні властивості. Під час технологічних операцій рідина може переходити з одного реологічного стану в інший. Тому при розробці пристроїв важливо встановити, в якому діапазоні напружень (зсуву) перебувають неньютонівські рідини в технологічних апаратах та які структурно-механічні властивості матеріалу є основними. Пристрої оперативного контролю реологічних параметрів рідин на стадії їх перероблення можуть бути застосовані для встановлення закономірностей впливу різноманітних збурень на їх властивості.

В багатьох виробництвах якість кінцевої продукції визначають за реологічними параметрами рідин, такими, наприклад, як густина, кінематична та динамічна в'язкість ньютонівських рідин, пластична в'язкість, граничне напруження зсуву, показник консистенції, індекс потоку неньютонівських рідин тощо. Отже, пристрої для неперервного вимірювання реологічних параметрів мають потенціал для підвищення якості продукції та зниження витрат на переробку, і їх розроблення та вдосконалення є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Пристрої вимірювання реологічних параметрів досить різноманітні. Найпоширенішими є капілярні, ротаційні та вібраційні віскозиметри (реометри), теорія яких достатньо обґрунтована для ньютонівських рідин. Кожному з цих типів властиві свої переваги і недоліки [1-4]. До основних недоліків застосування капілярних реометрів відносять різний профіль швидкостей рідини вздовж капіляра, зумовлений кінцевими ефектами, внаслідок чого градієнт тиску по довжині капіляра є змінним. Іншим небажаним явищем для інтерпретації результатів вимірювання капілярними реометрами може бути ефект пристінного ковзання, який особливо ймовірний для дисперсних середовищ. Додатковим джерелом похибки вимірювання реологічних параметрів

© Пістун Є.П., Матіко Г.Ф., Крих Г.Б.

може стати порушення ламінарного режиму руху рідини в трубках капілярного реометра [5]. В ротаційних реометрах похибки можуть виникати для седиментаційно нестійких середовищ, внаслідок розшарування дисперсної фази і дисперсного середовища під час вимірювання. У вібраційних приладах на результат вимірювання в'язкості впливає густина контролюваного середовища, крім того швидкість зсуву не визначена, оскільки вона є функцією не лише характеристик приладу, тобто геометрії зонда, частоти та амплітуди коливань, але й параметрів рідини, тобто густини та в'язкості [1]. Більшість технологічних вимірювань в'язкісних характеристик рідин здійснюють при одному значенні швидкості зсуву. Для онлайн вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин необхідно створювати декілька швидкостей зсуву. Серед вказаних пристроїв реологічного контролю таку можливість мають гідродинамічні (капілярні) реометри, в яких одночасне створення різних швидкостей зсуву легко створити, застосовуючи трубки різного діаметра [6].

Формулювання мети дослідження.

Метою даного дослідження є розроблення схем гідродинамічних пристроїв для вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин з покращеними метрологічними характеристиками та аналіз їх функціональних можливостей.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Гідродинамічний метод вимірювання базується на тому, що контрольовану рідину пропускають через дросельні елементи та вимірюють характеристики потоку, які залежать від властивостей рідини [6, 7]. Для вимірювання реологічних параметрів найбільш поширені дросельні елементи у вигляді циліндричних трубок круглого поперечного перерізу діаметром 1-12 мм, який залежить від діапазону вимірювання параметрів та властивостей середовища. Вибір саме таких дросельних елементів пов'язаний також з тим, що в них можна створити такі деформації зсуву в неньютонівських рідинах, які виникають під час їх переміщення в технологічних трубах. Гідродинамічні реометри можуть працювати в режимі постійної витрати або в режимі постійного тиску (перепаду тиску). В реометрах з постійною витратою в залежності від діапазону вимірювання реологічних параметрів застосовують дозатори малов'язких рідин (до 0,05 Па·с) та середовищ підвищеної в'язкості (0,05 – 0,5 Па·с) малих (0,001 – 0,1 м³/год) та середніх витрат (0,1 – 0,5 м³/год). В гідродинамічних реометрах з постійною витратою похибка дозування безпосередньо впливає на похибку визначення реологічних параметрів, тому в них необхідно застосовувати високоточні дозатори, похибка дозування яких не перевищує 0,5%.

Проаналізуємо деякі способи усунення недоліків гідродинамічних віскозиметрів, які можуть зменшити похибки вимірювання параметрів рідин. Одним із ефективних способів, що дає змогу скомпенсувати втрати тиску, зумовлені кінцевими ефектами капілярних трубок, є побудова гідродинамічних реометрів на базі гідравлічних мостових вимірювальних перетворювачів, що складаються з паралельного з'єднання пар капілярних трубок однакового діаметру. В кожній парі капіляри з'єднані послідовно і відрізняються лише порядком з'єднання довгої і короткої трубок. В мостову схему трубки з'єднані за допомогою входної 7, вихідної 8 і міжтрубних камер 6, до яких під'єднаний перетворювач різниці тисків 5. Постійна витрата рідини забезпечується задавачем витрати 9. Принципова схема мостового гідродинамічного перетворювача показана на рис. 1.

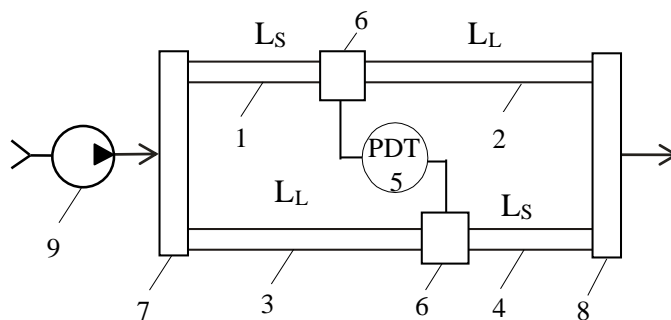


Рис. 1. Мостова вимірювальна схема гідродинамічного перетворювача: 1, 4 – короткі капілярні трубки довжиною L_S ; 2, 3 – довгі капілярні трубки довжиною L_L ; 5 – дифманометричний перетворювач; 6 – міжтрубні камери; 7, 8 – входна та вихідна камери; 9 – задавач постійної витрати

В трубках кінцевої довжини, на яких побудовані мостові перетворювачі, виникають додаткові втрати тиску, що зумовлені формуванням на гідродинамічній початковій ділянці L_e профілю швидкості рідини при її русі вздовж вимірювальної трубки від вхідної камери. В [3] наведені рівняння для визначення довжини вхідної ділянки L_e для неньютонівських рідин, отримані в результаті експериментальних і теоретичних досліджень. Ця довжина залежить від реологічних параметрів рідини, діаметра трубок та модифікованих для неньютонівських рідин чисел Рейнольдса. Якщо довжина коротких трубок в мостовому перетворювачі буде недостатньою для формування стабілізованого руху, то втрати тиску на гідродинамічних початкових ділянках будуть скомпенсовані неповністю, що спричинить похибку вимірювання. Тому довжину L_s коротких капілярних трубок 1 і 4 в мостовому перетворювачі виконують більшою за довжину L_e . Компенсація додаткових втрат тиску у перепаді тиску в міжтрубних камерах 6 мостового перетворювача відбувається завдяки тому, що всі трубки мають однаковий діаметр, а витрата рідини в кожній з них однакова.

За вихідним сигналом мостового перетворювача, що вимірюється перетворювачем різниці тиску 5, безпосередньо можна визначити лише один реологічний параметр – уявну в'язкість μ_a , яка характеризує властивості неньютонівської рідини при певній швидкості зсуву:

$$\mu_a = \frac{\tau_w}{\Gamma} = \frac{\Delta PR}{2\Delta L} \div \frac{4F}{\pi R^3} = \frac{\pi R^4}{8F\Delta L} \Delta P, \quad (1)$$

де F – об'ємна витрата рідини в трубці; R – радіус трубок; $\Delta L = L_L - L_S$ – різниця між довжинами довгих та коротких капілярних трубок в мостовому перетворювачі; ΔP – перепад тиску в міжтрубних камерах мостового перетворювача; $\Gamma = \frac{4F}{\pi R^3}$ – уявна швидкість зсуву на стінці;

$\tau_w = \frac{\Delta PR}{2\Delta L}$ – дотичне напруження на стінці капілярної трубки.

Найпоширенішими моделями для опису реологічної поведінки в'язкопластичних рідин є модель Бінгама

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}, \quad (2)$$

а псевдопластичних рідин – степенева модель

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (3)$$

де τ – дотичне напруження; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву; τ_0 – граничне напруження зсуву; η – пластична в'язкість; K – показник консистенції; n – показник нелінійності.

Побудова гідродинамічних перетворювачів реологічних параметрів базується на витратних характеристиках вимірювальних трубок – залежностях між витратою та перепадом тиску: для бінгамівської моделі

$$F = \frac{\pi R^3 \tau_w}{4\eta} \cdot \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_w} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\tau_0}{\tau_w} \right)^4 \right], \quad (4)$$

та степеневій моделі

$$F = \frac{n}{3n+1} \cdot \pi R^3 \cdot \left(\frac{\tau_w}{K} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (5)$$

Якщо відношення τ_0/τ_w менше 0,62, то з похибкою меншою 3% рівняння (4) можна спростити:

$$\Delta P = \frac{8LF}{\pi R^4} \eta + \frac{8L}{3R} \tau_0. \quad (6)$$

Рівняння (4), (5) отримані для усталеного ламінарного руху рідини в нескінченно довгих трубках за умови нульової швидкості на внутрішній стінці. Дослідженнями встановлено [5], що режим руху в трубках буде ламінарним, якщо число Рейнольдса $Re_p(K, n)$ для степеневих рідин і числа Рейнольдса $Re_B(\eta, \tau_0)$ і $Re_{Bg}(\eta, \tau_0)$ для бінгамівських рідин менші за їх критичні значення

$$Re_p(K, n) \leq Re_p^{cr}, Re_B(\eta, \tau_0) \leq Re_B^{cr} \text{ або } Re_{Bg}(\eta, \tau_0) \leq Re_{Bg}^{cr}, \quad (7)$$

де Re_p^{cr} – критичне число Рейнольдса для ступеневої рідини; Re_B^{cr}, Re_{Bg}^{cr} – критичні числа Рейнольдса для в'язкопластичної рідини. Умови (7) досягають вибором продуктивності задавача витрати та діаметру трубок мостових перетворювачів і вони мають виконуватись при будь-яких значеннях реологічних параметрів в межах їх вимірювання.

Реологічні моделі (2) і (3) і відповідні їм витратні характеристики (4), (5), (6) містять два параметри, тому для їх вимірювання недостатньо одного значення швидкості зсуву рідини в трубках, необхідно створити деформацію зсуву не менше, як при двох значеннях швидкості. Для неперервного вимірювання важливо створити декілька швидкостей зсуву одночасно. Одним із способів вирішення цієї задачі є застосування у вимірювальній схемі послідовно з'єднаних мостових перетворювачів, які відрізняються діаметрами трубок. На рис. 2 показана функціональна схема реометра, в якому витрата рідини через послідовно з'єднані мостові перетворювачі 1, 2 є однаковою і змінюється частотно керованим приводом дозуючого насосу 7. Перепади тиску у вихідних діагоналях мостових перетворювачів вимірюються дифманометричними перетворювачами 3, 4, вихідні уніфіковані струмові сигнали яких 3 надходять до контролера 6. На контролері реалізована система автоматичної стабілізації перепаду тиску у вихідній діагоналі першого мостового перетворювача. Регулюючою дією в системі регулювання є витрата рідини через мостові перетворювачі, яку вимірюють за допомогою перетворювача витрати 5. Пластичну в'язкість рідини, що описується реологічною моделлю (2), обчислюють за допомогою контролера 6 за формулою

$$\eta = \frac{\Delta P_2 \frac{R_2}{\Delta L_2} - \Delta P_{sp} \frac{R_1}{\Delta L_1}}{8 \left(\frac{1}{R_2^3} - \frac{1}{R_1^3} \right)} \cdot \frac{\pi}{F}, \quad (8)$$

де R_1 та R_2 , $\Delta L_1 = L_{1L} - L_{1S}$ та $\Delta L_2 = L_{2L} - L_{2S}$ – радіуси і різниці довжин довгих і коротких трубок в першому та другому мостовому перетворювачі, відповідно; ΔP_{sp} – задане значення перепаду тиску у вихідній діагоналі першого мостового перетворювача; ΔP_2 – перепад тиску в діагоналі другого мостового перетворювача; $F = F_0/2$ – об'ємна витрата рідини у вимірювальних трубках; F_0 – загальна витрата контрольованої рідини через мостові перетворювачі. Отже, пластичну в'язкість η рідини визначають за вимірними значеннями перепаду тиску у вихідній діагоналі другого мостового перетворювача та витрати рідини в трубках реометра.

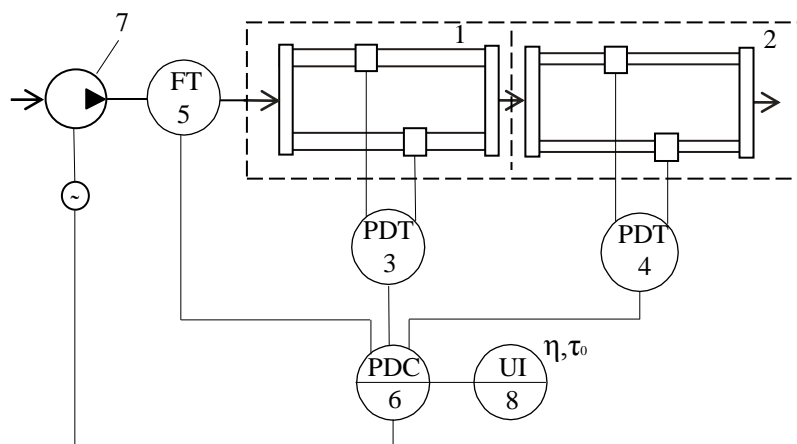


Рис. 2. Функціональна схема гідродинамічного реометра: 1, 2 – мостові гідродинамічні перетворювачі; 3, 4 – дифманометричні перетворювачі; 5 – перетворювач витрати; 6 – контролер; 7 – задавач витрати; 8 – показувальний прилад

Граничне напруження зсуву при середніх і високих швидкостях зсуву бінгамівської рідини з достатньою для практичних вимірювань точністю оцінюють за формулою

$$\tau_0 = a - b\Delta P_2, \quad (9)$$

в якій $a = c \frac{R_1}{\Delta L_1} \Delta P_{sp}$, $b = c \frac{R_2}{\Delta L_2} \frac{R_2^3}{R_1^3}$, $c = \frac{3}{8} \left(1 - \frac{R_2^3}{R_1^3}\right)^{-1}$ – коефіцієнти, що залежать від конструктивних розмірів трубок мостових перетворювачів та заданого значення перепаду тиску ΔP_{sp} .

Схема реометра, показана на рис. 2, може бути застосована і для вимірювання реологічних параметрів псевдопластичної рідини, що описується степеневою моделлю (3). Індекс потоку n визначають за формулою

$$n = d \ln(f\Delta P_2) - \frac{1}{3}, \quad (10)$$

де $d = \frac{1}{3 \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}$ – коефіцієнт, який залежить від радіусів трубок в мостових перетворювачах;

$f = \ln\left(\frac{1}{\Delta P_{sp}} \cdot \frac{\Delta L_1}{\Delta L_2}\right)$ – коефіцієнт, що залежить від відношення різниць довжин трубок в мостових

перетворювачах і заданого значення перепаду тиску ΔP_{sp} в першому мостовому перетворювачі. Показник консистенції K визначають на основі математичної моделі першого мостового перетворювача:

$$K = \frac{\Delta P_{sp} R_1}{2\Delta L_1} \cdot \left(\frac{n}{3n+1} \cdot \pi R_1^3\right)^n \cdot \frac{1}{F^n}. \quad (11)$$

Отже показник консистенції залежить від витрати рідини через мостові перетворювачі, а також від вибраних конструктивних розмірів трубок в перетворювачах і заданого значення ΔP_{sp} .

Варто зауважити, що на основі формули (1) за допомогою реометра можна розрахувати два значення уявної в'язкості μ_{a1} , μ_{a2} неньютонівських рідин при різних швидкостях зсуву. За перепадом тиску на другому мостовому перетворювачі можна вимірювати відношення значень уявної в'язкості при двох різних значеннях уявної швидкості зсуву:

$$\frac{\mu_{a2}}{\mu_{a1}} = k \cdot \Delta P_2, \quad (12)$$

де $k = \frac{1}{\Delta P_{sp}} \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^4 \cdot \frac{\Delta L_1}{\Delta L_2}$ – коефіцієнт перетворення, який залежить від конструктивних характеристик трубок та заданого значення перепаду тиску ΔP_{sp} .

Отже, гідродинамічні перетворювачі для вимірювання реологічних параметрів рідин, що описуються двопараметричними моделями складаються щонайменше з двох послідовно з'єднаних мостових перетворювачів, які відрізняються діаметром трубок. Але навіть і для вказаних рідин (а надто для рідин з трьома реологічними параметрами) доцільно використовувати пристрій з трьома мостовими перетворювачами. Для прикладу на рис. 3 показана принципова схема реометра, який на відміну від розглянутого вище, працює в режимі постійної витрати.

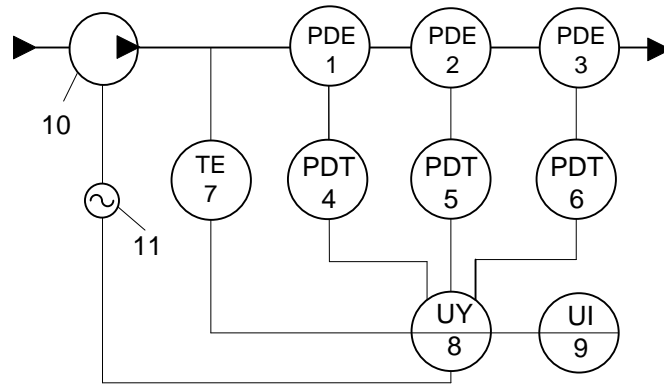


Рис. 3. Функціональна схема гідродинамічного реометра: 1, 2, 3 – гідродинамічні мостові перетворювачі; 4, 5, 6 – дифманометричні перетворювачі; 7 – термоперетворювач; 8 – пристрій керування та обчислювач; 9 – пристрій відображення інформації; 10 – задавач витрати; 11 – електродвигун

Такий прилад також забезпечує компенсацію входових ефектів трубок. Пристрій керування та обчислювач 8 в цій схемі за сигналами дифманометричних перетворювачів 1, 2 і 3 формує значення реологічних параметрів, які відображаються приладом 9. Крім того, за допомогою пристрою керування можна дискретно змінити витрату рідини через мостові перетворювачі, що дає змогу опрацьовувати сигнали дифманометрів при різних значеннях витрати і згідно методики [8] оцінити коефіцієнт ковзання та в разі наявності пристінних ефектів скоригувати їх витратні характеристики і тим самим підвищити точність визначення реологічних параметрів неньютонівських рідин.

Інший спосіб отримання декількох швидкостей зсуву, необхідних для вимірювання реологічних параметрів, полягає у створенні різних об'ємних витрат неньютонівських рідин у вимірювальних трубках. Цей спосіб пропонуємо реалізувати у пристрої для вимірювання параметрів в'язкопластичної рідини, принципова схема якого показана на рис. 4.

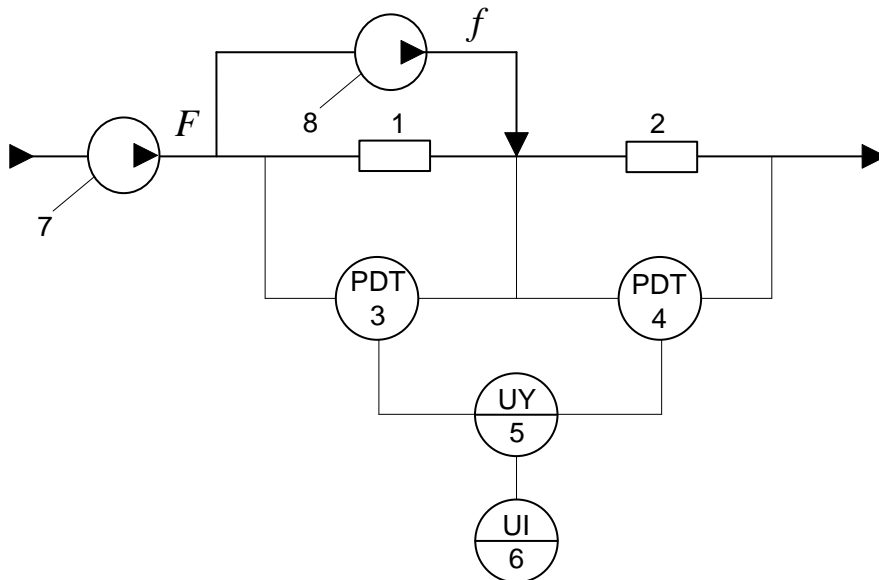


Рис. 4. Принципова схема пристрою для вимірювання параметрів в'язкопластичної рідини: 1, 2 – циліндричні трубки; 3, 4 – дифманометричні перетворювачі; 5 – обчислювач; 6 – пристрій відображення інформації; 7, 8 – задавачі постійної витрати

Пристрій складається з двох послідовно з'єднаних однакових трубок 1 і 2, в яких за допомогою задавачів постійної витрати 7 і 8 створюють різні об'ємні витрати рідини. Із загальної витрати F в'язкопластичної рідини, що створюється задавачем постійної витрати 7, іншим задавачем постійної витрати 8 відбирається потік з витратою $f < 0,5F$, який подається на вхід трубки 2. Завдяки цьому в трубці 1 рідина тече з витратою $F-f$, а в другій – з витратою F . За

допомогою дифманометрів 3 і 4 вимірюють перепади тиску ΔP_1 і ΔP_2 на трубках 1 і 2, які пов'язані з реологічними параметрами залежностями:

$$\Delta P_1 = \frac{8L(F-f)}{\pi R^4} \eta + \frac{8L}{3R} \tau_0; \quad (13)$$

$$\Delta P_2 = \frac{8LF}{\pi R^4} \eta + \frac{8L}{3R} \tau_0. \quad (14)$$

Вихідні сигнали дифманометрів подають до обчислювача 5, який формує значення пластичної в'язкості та граничного напруження зсуву:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8Lf} (\Delta P_2 - \Delta P_1); \quad (15)$$

$$\tau_0 = \frac{3R}{8L} \left(\frac{F}{f} \Delta P_1 - \Delta P_2 \left(\frac{F}{f} - 1 \right) \right). \quad (16)$$

Як було зазначено вище, конструктивні характеристики вимірювальних трубок та витрати задавачів в пристрої мають бути такими, щоб дотримувались умови ламінарного руху рідини.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

В статті запропоновані різні варіанти схем гідродинамічних пристроїв для вимірювання реологічних параметрів псевдопластичних та в'язкопластичних рідин. Такі рідини описують реологічними моделями з двома і більше параметрами. Показано, що вони можуть працювати в режимі постійної витрати та в режимі постійного перепаду тиску. Особливість побудови таких пристроїв полягає в тому, що для вимірювання реологічних параметрів необхідно одночасно створювати в чутливих елементах декілька швидкостей зсуву. Показано, що в гідродинамічних пристроях цього можна досягти, застосовуючи вимірювальні трубки різного діаметра, або створюючи в трубках потоки рідини з різними витратами. Перевагою розглянутих пристроїв є можливість визначення реологічних параметрів за математичними залежностями, які можна реалізувати на промислових програмованих контролерах. Також показано, що запропоновані гідродинамічні пристрої можуть забезпечити вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин з вищою точністю, за рахунок вилучення методичних складових похибки вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин, зумовлених кінцевими ефектами вимірювальних трубок, можливою турбулізацією потоку, а також можливими пристінними ефектами.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення схем гідродинамічних пристроїв для вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин на основі комбінованого способу одночасного створення різних швидкостей зсуву, як вибором різних діаметрів трубок, так і за допомогою додаткових потоків у чутливих елементах, що забезпечить нові можливості для зменшення методичних похибок вимірювання.

Список бібліографічного опису

1. Cullen, P.J., Duffy, A.P., O'Donnell, C.P., and O'Callaghan, D.J. (2000) Process viscometry for the food industry. Trends in Food Science & Technology, 11, P. 451-457.
2. Gang Wang, Chi Tan (2017) A contact resonance viscometer based on the electromechanical impedance of a piezoelectric cantilever, Sensors and A 267, P. 401-408.
3. Alderman, N.J., Heywood, N.I. (1999) Selection of on-line viscometers for slurry applications. 14th International Conference on Slurry Handling and Pipeline Transport (Hydrotransport 14), Maastricht, The Netherlands, P. 373-399.
4. White, J.P., Davidson, V.J., Otten, L. (1993) A capillary viscometer for characterization of fluid foods. Food Research International, 26, P. 109-113.
5. Steffe, J.F. (1996) Rheological Methods in Food Process Engineering, 2nd edition. Freeman Press, East Lansing, MI, USA, 418 p.
6. Древецький, В. В., Воєвода, В. В. (2015) Автоматичний контроль фізико-механічних параметрів рідин для розриву пласта. Вісник Інженерної академії України, 1, С. 37-41.
7. Pistun, Ye.P., Matiko, H.F., Krykh, H.B., Matiko, F.D. (2021) Modeling throttle bridge measuring transducers of physical-mechanical parameters of Newtonian fluids. Mathematical Modeling and Computing, 8(3), P. 515-525.
8. Hanna Krykh, Halyna Matiko, Lyudmyla Sadovska. (2015) Evaluation of Influence of Wall Slip on Measurement of Rheological Parameters by Means of a Hydrodynamic Measuring System. Energy Engineering and Control Systems, 1 (2), P. 139-146.

References

1. Cullen, P.J., Duffy, A.P., O'Donnell, C.P., and O'Callaghan, D.J. (2000) Process viscometry for the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 11, P. 451-457.
2. Gang Wang, Chi Tan (2017) A contact resonance viscometer based on the electromechanical impedance of a piezoelectric cantilever, *Sensors and A* 267, P. 401-408.
3. Alderman, N.J., Heywood, N.I. (1999) Selection of on-line viscometers for slurry applications. 14th International Conference on Slurry Handling and Pipeline Transport (Hydrotransport 14), Maastricht, The Netherlands, P. 373-399.
4. White, J.P., Davidson, V.J., Otten, L. (1993) A capillary viscometer for characterization of fluid foods. *Food Research International*, 26, P. 109-113.
5. Steffe, J.F. (1996) *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd edition. Freeman Press, East Lansing, MI, USA, 418 p.
6. Drevetskyi, V.V., Voievoda, V.V. (2015) Automatic control of physical and mechanical parameters of fracturing fluids. *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 1, P. 37-41.
7. Pistun, Ye.P., Matiko, H.F., Krykh, H.B., Matiko, F.D. (2021) Modeling throttle bridge measuring transducers of physical-mechanical parameters of Newtonian fluids. *Mathematical Modeling and Computing*, 8(3), P. 515-525.
8. Hanna Krykh, Halyna Matiko, Lyudmyla Sadovska. (2015) Evaluation of Influence of Wall Slip on Measurement of Rheological Parameters by Means of a Hydrodynamic Measuring System. *Energy Engineering and Control Systems*, 1 (2), P. 139-146.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-02>

УДК 681.121.89.082.4

Роман Віталій Іванович, доцент, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-8546-6752>

Матіко Федір Дмитрович, професор, д.т.н.

<https://orcid.org/0000-0001-6569-2587>

Ялінський Дмитро Ярославович, магістр

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ МЕТОДАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ

Роман В.І., Матіко Ф.Д., Ялінський Д.Я. Дослідження додаткових складових похибки вимірювання витрати ультразвукових витратомірів методами обчислювальної гідродинаміки. На базі методів обчислювальної гідродинаміки розроблено методику дослідження додаткових складових похибки вимірювання витрати ультразвукових витратомірів. Застосовуючи розроблену методику, проведено дослідження трьох складових похибки вимірювання витрати ультразвукових витратомірів й запропоновано рекомендації щодо їх усунення.

Ключові слова: ультразвуковий витратомір, похибка вимірювання, обчислювальна гідродинаміка, місцевий опір, спотворення структури потоку, шорсткість поверхні, калібрування.

Roman V., Matiko F., Yalinsky D. Investigation of additional components of flow rate measurement error of ultrasonic flowmeters by methods of computational fluid dynamics. On the basis of computational fluid dynamics, the method of investigation of additional components of flow rate measurement error of ultrasonic flowmeters is developed. Applying the developed method, the study of three components of flow rate measurement error of ultrasonic flowmeters and recommendations for their elimination are proposed.

Keywords: ultrasonic flowmeter, measurement error, computational fluid dynamics, local fittings, distortion of flow structure, surface roughness, calibration.

Проблематика питання. Точність, з якою відбувається вимірювання витрати та кількості дороговартісних плинних енергоносіїв (таких як природний газ), має важливе значення для всієї промисловості України, зокрема в умовах війни. При постійному удорожчанні та дефіциті цінних енергоносіїв на вітчизняному та світовому ринках, застосування високоточних засобів обліку стає запорукою стабільності існування як споживачів газу, так і генеруючих компаній. Це зумовлює постійний розвиток засобів вимірювання витрати та кількості газу, зокрема методів вимірювання, які працюють із застосуванням ультразвуку.

Як свідчать наукові та технічні джерела, застосування ультразвукових витратомірів (УЗВ) має ряд переваг [1-3]: 1) мінімальний контакт елементів УЗВ з газом, що збільшує довговічність приладу та стабільність гідродинамічної структури потоку; 2) діапазон вимірювання, що майже не залежить від діаметра трубопроводу (якщо не робити прив'язку до корпусу УЗВ та фланців); 3) можливість застосування як для чистих так і для забруднених потоків та інші. Попри переваги, науковців та розробників УЗВ вперше чергу цікавлять їх недоліки, які вони можуть спробувати усунути. Основний недолік УЗВ – це його висока чутливість до відхилень умов потоку під час експлуатації від умов його калібрування (особливо лабораторного) [1-3]. Тобто при встановленні відкаліброваного УЗВ по місцю експлуатації, з'являються додаткові складові похибки вимірювання витрати, зумовлені специфікою робочих умов та ефектів монтажу, які відрізняються від умов по місцю калібрування. Інколи їх ще називають зовнішніми факторами впливу, які не стосуються самого УЗВ, але відносяться до умов, де він працює [3]: 1) вплив спотворень гідродинамічної структури потоку на вході УЗВ; 2) вплив нашарувань на внутрішній поверхні стінок вимірювального трубопроводу (ВТ) на вході УЗВ; 3) вплив зміни типу вимірювального середовища (перехід з повітря на природний газ).

Мета роботи. Зважаючи на описану проблематику, авторами поставлено за мету дослідити додаткові складові похибки вимірювання витрати двоканальних хордових УЗВ із використанням методів обчислювальної гідродинаміки (CFD-моделювання). Отримані результати дозволять розробити рекомендації щодо правильної експлуатації УЗВ в умовах згаданих вище зовнішніх факторів впливу.

Аналіз публікацій. Дослідження похибок вимірювання витрати УЗВ присвячено безліч наукових праць [1-2], деякі результати із яких формують теоретичний зміст основного міжнародного стандарту в галузі ультразвукової витратометрії ISO 17089-1 [3]. У сучасних

дослідницьких роботах, науковці враховують бурхливий розвиток комп'ютерних технологій, і, відповідно, часто застосовують для дослідження похибок вимірювання витрати методи CFD-моделювання [4-6]. У поєднанні із результатами експериментальних досліджень, результати такого моделювання дозволяють розробляти досконалі комп'ютерні моделі (в парі з 3D-макетами) ділянок вимірювального трубопроводу (ВТ) з УЗВ. Наявність таких моделей дає можливість досліджувати конфігурації ВТ, конструкцію УЗВ та різноманітні умови, не охоплені у повній мірі експериментальними дослідженнями.

Проаналізувавши наявні наукові праці за проблематикою статті, можна з впевненістю сказати, що достатньо дослідженим є тільки вплив спотворення гідродинамічної структури потоку на вході УЗВ на похибку вимірювання витрати. За результатами цих досліджень встановлено, що УЗВ потребують встановлення прямолінійних ділянок ВТ достатньої довжини між ними і місцевими опорами (МО), особливо тими, що створюють асиметричні спотворення (МО виду «90° коліно»). Якою саме має бути відстань між УЗВ і МО – потрібно визначати індивідуально [3] для кожного МО та відповідної конструкції УЗВ. Вплив інших зовнішніх факторів досліджено не так добре. Зокрема, мало досліджено додаткову похибку зумовлену забрудненням внутрішньої поверхні ВТ, а також похибку, що виникає внаслідок застосування УЗВ для вимірювання витрати середовища, відмінного від середовища калібрування. Проте, відомо, що похибка, зумовлена нашаруванням на внутрішній поверхні стінок ВТ, залежить від коефіцієнта гідравлічного опору, числа Рейнольдса та значень відносної шорсткості [7]. Натомість, похибка, зумовлена зміною типу вимірювального середовища, може бути незначною, якщо дотримуватись принципу подібності (однакових значень числа Рейнольдса) [8]. Як змінюватиметься похибка УЗВ, за наявності комбінації цих зовнішніх факторів впливу, в інших роботах не досліджено.

Викладення основного матеріалу. Рівняння об'ємної витрати (q_v) багатоканального хордового УЗВ, за швидкісним принципом вимірювання витрати, можна записати наступним чином [2, 9]:

$$q_v = \frac{\pi D^2}{4} \sum_{i=1}^N \left(\frac{2\sqrt{R^2 - x(i)^2}}{\pi R} w(i)v(i) \right). \quad (1)$$

Щоб рівняння (1) остаточно залежало тільки від значень швидкостей потоку $v(i)$ виміряних вздовж акустичних каналів (АК) УЗВ кількістю N та конструктивних характеристик витратоміра (діаметр секції УЗВ або ВТ – D або радіус $R = D/2$), необхідно знати значення координат розташування $x(i)$ та вагових коефіцієнтів АК УЗВ $w(i)$.

Згідно [3], вагові коефіцієнти АК УЗВ можуть бути постійними або змінними. При цьому постійні визначаються на підставі відомих числових методів інтегрування (ЧМІ) (до прикладу, метод Гауса, Гауса-Якобі, Гауса-Чебишева [9]), а змінні – за виміряними параметрами потоку (наприклад, швидкість потоку) [3]. В даній роботі досліджено похибку вимірювання витрати двоканального хордового УЗВ, для якого рівняння (1) матиме такий вигляд:

$$q_v = \frac{\pi D^2}{4} \frac{(v_1 + v_2)}{2}. \quad (2)$$

Рівняння (2) отримане для УЗВ з хордовим розміщенням АК на відстані $R/2$ від осі ВТ, а сумарне значення швидкості потоку отримуємо знаходженням середнього арифметичного двох швидкостей (v_1 та v_2). Це викликано наступними міркуваннями:

- у цій роботі нас цікавлять в першу чергу закономірності зміни значень і знаку тих похибок, які не залежать від обраного рівняння розрахунку об'ємної витрати;

- незважаючи на обраний ЧМІ, кількість АК та схему їх просторового розташування (діаметральна, хордова чи дельта-схема), в реальних УЗВ до формули (1) або (2) вводять калібрувальний коефіцієнт (k_{cal}) для внесення поправок на різні відхилення, що виникли в результаті виробничих допусків та невідповідності прийнятих припущень [3] умовам застосування витратоміра.

Тобто рівняння (2) модифікують до такого вигляду:

$$q_v = k_{cal} \frac{\pi D^2}{4} \frac{(v_1 + v_2)}{2}. \quad (3)$$

Правила та допуски щодо впровадження змін (виправлень) та лінеаризації за допомогою калібрувального коефіцієнта описані у підрозділах 5,8 та 6.3.3 стандарту ISO 17089-1 [3].

Відповідно до рівняння (3), похибка вимірювання витрати УЗВ залежить від окремих похибок у всіх його складових. Існує чотири основні джерела похибок [3]:

- 1) похибка калібрувального коефіцієнта k_{cal} ;
- 2) похибка в геометрії корпусу УЗВ;
- 3) похибка визначення вагових коефіцієнтів;

4) похибка вимірювання часу та різниці часу проходження ультразвукових коливань за та проти потоку.

Після калібрування та регулювання, похибки у витраті, що відображатиметься УЗВ, спричинені наведеними вище чотирма факторами, компенсуються шляхом множення правої сторони формули (3) на калібрувальний коефіцієнт. Єдина залишкова невизначеність по місцю калібрування – невизначеність калібрувального коефіцієнта. Як було зазначено раніше, при встановленні УЗВ по місцю експлуатації з'являються додаткові складові похибки вимірювання витрати, зумовлені специфікою робочих умов та ефектів монтажу по місцю роботи, які відрізняються від умов по місцю калібрування:

1) додаткова складова похибки вимірювання об'ємної витрати УЗВ зумовлена спотворенням структури потоку (як джерело спотворень виступають типові місцеві опори) – $\delta_{D(CSP)}$;

2) додаткова складова похибки вимірювання об'ємної витрати УЗВ зумовлена відмінністю середовища вимірювання від середовища калібрування (перехід з повітря на метан) – $\delta_{D(BCB)}$;

3) додаткова складова похибки вимірювання об'ємної витрати УЗВ зумовлена відмінністю стану внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу від стану під час калібрування (наявність шорсткості внутрішніх стінок ВТ або корпусу УЗВ) – $\delta_{D(CBP)}$.

З метою дослідження зазначених складових похибки вимірювання витрати багатоканальних хордових УЗВ та розробки рекомендацій щодо їх зменшення (або повного усунення), авторами розроблено відповідну методику із застосуванням комп'ютерних методів обчислювальної гідродинаміки (Computational fluid dynamics, CFD-моделювання). Опишемо етапи цієї методики:

1. Вибір конструкції УЗВ (кількість та схема розташування АК, методи сумування швидкостей потоку вздовж АК – середнє арифметичне або ЧМІ).

2. Побудова 3D-макету обраної конструкції УЗВ (включає ділянки ВТ до і після витратоміра, засоби вимірювання тиску та температури) у САПР-середовищі, яке має пакет для CFD-моделювання. В даній роботі використано САПР SolidWorks з CFD-пакетом Flow Simulations [10].

3. Калібрування УЗВ. Комп'ютерне CFD-моделювання дозволяє визначити швидкість потоку вздовж траєкторії руху звукових коливань (довжина АК) 3D-макету УЗВ за результатами числового розв'язку рівняння Нав'є-Стокса (методом скінчених об'ємів) [10]. При цьому, в кожній точці розрахункової сітки, можуть виникати неточності відтворення методами CFD-моделювання ефектів турбулентності потоку та похибки дискретизації розрахункової сітки. З метою усунення вказаних неточностей, як і для УЗВ при реальному калібруванні, авторами запропоновано визначати k_{cal} в рівнянні (3) за результатами комп'ютерного «калібрування». Значення k_{cal} пропонується визначати за такою формулою [2-3]:

$$k_{cal} = \frac{q_{m.et}}{q_m}, \quad (4)$$

де $q_{m.et}$ – еталонна масова витрати газу, яке задається на вході 3D-макету як один із початкових параметрів для CFD-моделювання, q_m – масова витрата УЗВ за результатами CFD-моделювання, формулу якої отримують з рівняння (3): $q_m = q_v \cdot \rho$, де ρ – це усереднене значення густини потоку в поперечному перерізі ВТ (середина 3D-корпусу) УЗВ. Швидкості потоку v_1 та v_2 з рівняння (3) також є усередненими значеннями швидкості потоку вздовж АК 3D-макету УЗВ після CFD-моделювання.

Слід зазначити, що еталонне значення витрати $q_{m.et}$ може бути вибране наступним чином:

1) з діапазону вимірювання для конкретної моделі та типорозміру УЗВ за умови моделювання відомої конструкції УЗВ;

2) приймається рівним показам еталонного витратоміра, застосованого під час експерименту (якщо порівнюється реальні дані з результатами CFD-моделювання).

Важливо наголосити, що калібрування УЗВ відбувається:

- для умов відсутності спотворень структури потоку – перед та після 3D-макету УЗВ встановлені тільки прямолінійні ділянки ВТ;

- для параметрів потоку (тип середовища, витрата, тиск, температура, шорсткість внутрішніх стінок ВТ), які будуть обрані для дослідження зазначених складових похибки вимірювання витрати УЗВ.

4. Дослідження складових похибки вимірювання витрати УЗВ. Для цього відбувається «монтаж» на вході 3D-макету УЗВ 3D-макету одного із типових МО на певній мінімальній відстані $l = 0...100D$ (відносна відстань між входом УЗВ і виходом МО). Під час моделювання фіксується конкретна відстань. Опісля відбувається CFD-моделювання (див.рис.2,б), і отримання масивів даних (швидкість потоку вздовж АК УЗВ) для аналізу додаткових складових похибки вимірювання об'ємної витрати УЗВ. Отримані масиви даних обробляємо з використанням формул (3-4) та рівняння відносної похибки [2]:

$$\delta_d = \frac{k_{cal}q_m - q_{m.et}}{q_{m.et}} 100. \quad (5)$$

5. Аналіз отриманих результатів і розробка рекомендацій.

Дослідження УЗВ виконано за розробленою методикою для поданих нижче значень параметрів налаштування. За результатами досліджень отримано такі результати.

1. Калібрування УЗВ: довжина прямолінійної ділянки ВТ 3D-макету для калібрування УЗВ рівна 11 м; статичний тиск рівний 101 325 Па; температура потоку рівна 293,2 К (20 С°); шорсткість внутрішньої поверхні ВТ рівна 0 мкм (мікрон); повітря, як тип середовища калібрування; структура профілю потоку на вході 3D-макету повністю розвинена та неспотворена; використано k - ϵ моделі турбулентності [10]; еталонні масові витрати (низька та висока) взяті з діапазону реального двоканального УЗВ газу, що становлять відповідно $q_{m(low)} = 0,0013$ кг/с та $q_{m(high)} = 0,2175$ кг/с. Для вказаних значень характеристик УЗВ та параметрів моделювання отримано наступні калібрувальні коефіцієнти: $k_{cal(low)} = 1,1408$ та $k_{cal(high)} = 1,0395$.

2. Дослідження додаткової складової похибки вимірювання об'ємної витрати УЗВ, зумовленої спотворенням структури потоку. Як джерело спотворень обрано два поширені типові МО:

- МО1 «90° коліно» (див.рис.1,а);
- МО2 «два коліна в різних площинах ($l \leq 5D$)».

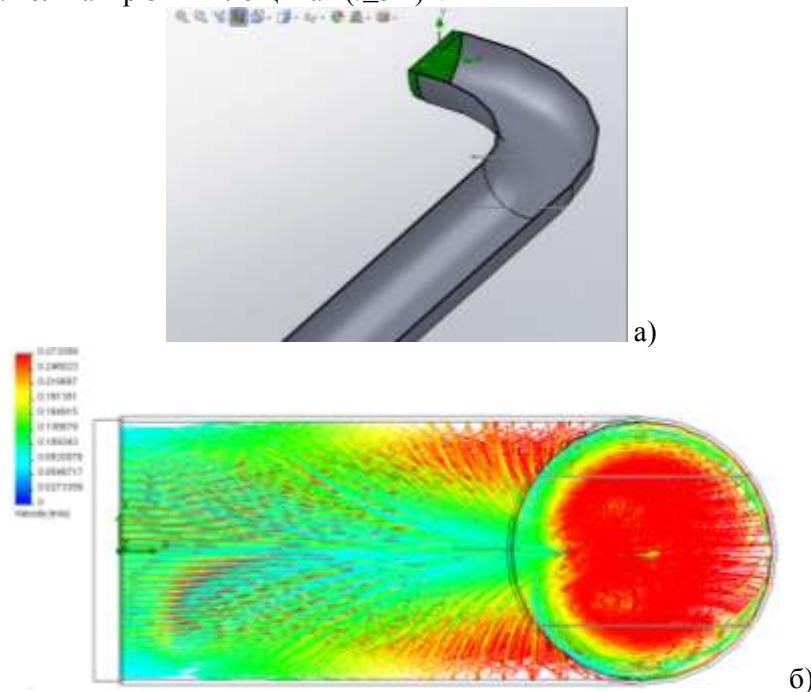
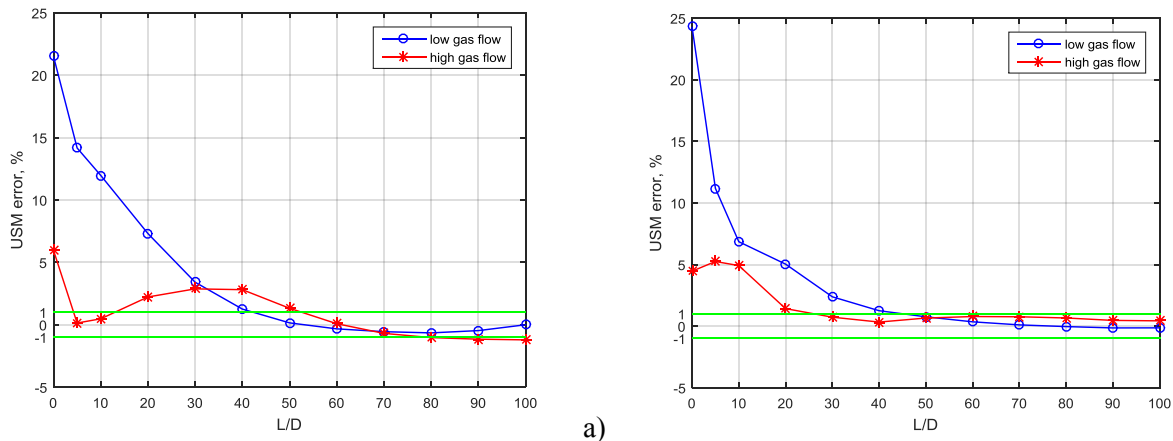


Рис.1. 3D-макет МО1 «90° коліно» в САПР SolidWorks:
а) вигляд; б) результат CFD-моделювання (швидкісні лінії потоку)



б)

Рис.2. Залежність похибки $\delta_{D(CCP)}$ від відстані УЗВ до МО1 (а) та МО2 (б)

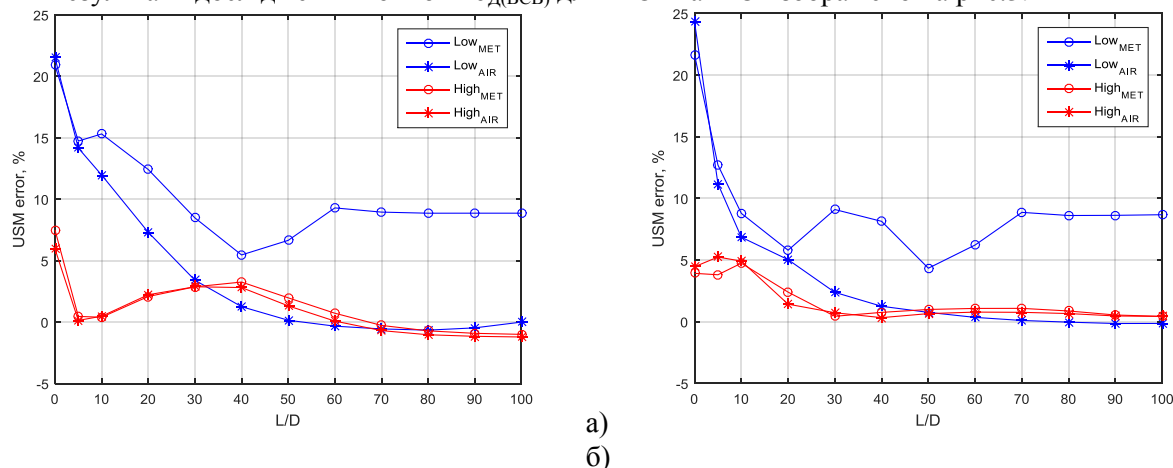
Провівши аналіз ринку двоканальних УЗВ газу, встановлено, що їх максимальні похибки не перевищують $\pm 2\%$. Тому в роботі було прийнято рішення прийняти допустимі межі $\delta_{D(CCP)} = \pm 1\%$ (що зображено зеленими лініями на рис.2). Це означає, що як тільки графік $\delta_{D(CCP)}$ перетинатиме ці межі, ми фіксуватимемо значення відстані l_{min} на якій потрібно встановлювати УЗВ після МО. Така відстань дозволить говорити, що похибка $\delta_{D(CCP)}$ не впливає на результат вимірювання УЗВ. Результат визначення мінімальних відстаней для розглянутих МО наведено в табл.1.

Таблиця 1. Мінімальні відстані для монтажу УЗВ після МО

№	l_{min}		Рекомендована
	$q_{m(low)} = 0,0013 \text{ кг/с}$	$q_{m(high)} = 0,2175 \text{ кг/с}$	
МО1	42D	52D	52D
МО2	45D	25D	45D

3. Дослідження додаткової складової похибки вимірювання об'ємної витрати УЗВ, зумовленої відмінністю середовища вимірювання від середовища калібрування. В даному дослідженні нами змінено тип плинного середовища з повітря на метан. Дослідження УЗВ що вимірює витрату метану також виконано за методикою поданою вище.

Результати дослідження похибки $\delta_{D(BCB)}$ для МО1 та МО2 зображено на рис.3.



а)
б)

Рис.3. Залежність похибки $\delta_{D(BCB)}$ від відстані УЗВ до МО1 (а) та МО2 (б)

Як видно з рис.3, ефекти похибки $\delta_{D(BCB)}$ на МО1 повторюються і на МО2 – зміна середовища значно впливає на значення похибки тільки при низькій витраті. Ймовірно, це зумовлено зміною значення числа Рейнольдса для іншого середовища. Для удосконалення процесу вимірювання витрати УЗВ при зміні типу вимірювального середовища, авторами рекомендовано обов'язкове повторне калібрування витратоміра на вимірювальному середовищі при низьких витратах.

4. Дослідження додаткової складової похибки вимірювання об'ємної витрати УЗВ зумовленої відмінністю стану внутрішньої поверхні ВТ від стану під час калібрування. В даному

© Роман В.І., Матіко Ф.Д, Ялінський Д.Я.

випадку йде мова про наявність ненульової шорсткості внутрішніх стінок ВТ або корпусу УЗВ. Для наочності, авторами обрано три значення шорсткості, які відповідають стану поверхні стінки ВТ у реальних умовах експлуатації (див.табл.2).

Таблиця 2. Значення еквівалентної шорсткості

Вид труб і матеріал	Стан поверхні стінки ВТ і умови експлуатації	$R_{ш}$, мкм
Сталеві труби	Із незначним нальотом іржі	150
	Іржава	250
	Покрита накипом	1250

Змінюючи тільки шорсткість внутрішньої стінки ВТ, всі решта етапів методики залишаються незмінними, і є аналогічні попереднім дослідженням на повітрі. Результати досліджень впливу шорсткості на результат вимірювання витрати УЗВ представлено на рис.4.

Аналізуючи результати, представлені на рис.4, можна стверджувати, що при мінімальній витраті, вплив шорсткості на похибку $\delta_{д(СВП)}$ є мінімальним, і зменшується зі збільшенням відстані між МО і УЗВ. При максимальній витраті, похибка $\delta_{д(СВП)}$ суттєво залежить від шорсткості внутрішніх стінок ВТ. Після 20D (рис.4,б) чим більша шорсткість, тим похибка $\delta_{д(СВП)}$ стає меншою, що пояснюється гальмівним ефектом все більш шорсткої стінки ВТ на спотворений потік [7]. Що цікаво, до 10D цей ефект протилежний. А на проміжку 10-20D виникає своєрідна перехідна зона.

В певній мірі поведінка похибки $\delta_{д(СВП)}$ при високій витраті на МО1 повторюється і на МО2 (рис.4,г). Проте тут перехідна зона значно ширша (25-55D) і має інший характер – деякі результати в ній перевищують результати на гладкій трубі. Результати поза перехідною зоною, можна пояснити складнішою структурою потоку, яка виникає після складнішого за природою МО. Потіку після МО2 за будь-якої шорсткості треба більше часу щоб «заспокоїтись», аніж після простішого МО1.

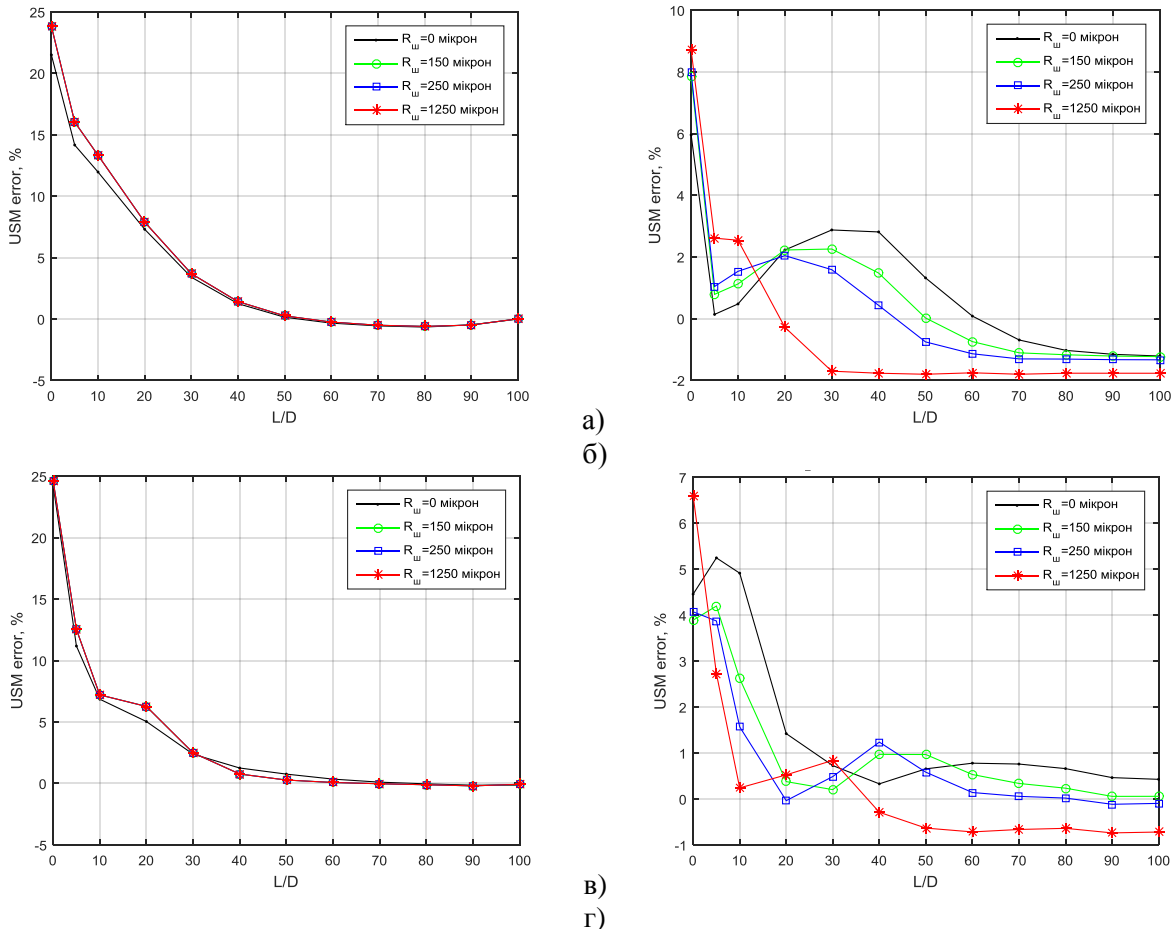


Рис.4. Графік похибок $\delta_{д(СВП)}$ для МО1 і МО2 при низькій (а, в) та високій (б, г) витратах

Для зменшення похибки вимірювання витрати при зміні шорсткості внутрішньої поверхні ВТ, авторами рекомендовано проводити періодичну механічну очистку стану трубопроводу. Якщо цього не робити, рекомендується проводити додаткове калібрування УЗВ із врахуванням шорсткості внутрішньої стінки ВТ тільки в тому випадку, коли витратомір працюватиме на високих швидкостях згідно своїх паспортних даних.

Отримані результати, частково викладені у магістерській кваліфікаційній роботі Ялінського Д.Я. [11], науковим керівником якого був Роман В.І.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У статті запропоновано методику дослідження додаткових складових похибки вимірювання витрати УЗВ із застосуванням комп'ютерних методів обчислювальної гідродинаміки (CFD-моделювання). Використовуючи розроблену методику, авторами проведено ряд досліджень, результати яких можна виразити наступним чином:

1) для усунення додаткової складової похибки вимірювання витрати УЗВ, зумовленої спотворенням структури потоку, рекомендується знаходити необхідну довжину прямолінійної ділянки ВТ між УЗВ та конкретним типом МО із обов'язковим урахуванням кількості АК витратоміра;

2) для усунення додаткової складової похибки вимірювання витрати УЗВ, зумовленої відмінністю середовища вимірювання від середовища калібрування, рекомендується виконувати калібрування УЗВ на вимірюваному середовищі;

3) для усунення додаткової складової похибки вимірювання витрати УЗВ, зумовленої відмінністю стану внутрішньої поверхні ВТ від стану під час калібрування, рекомендується проводити додаткове калібрування УЗВ із врахуванням шорсткості внутрішньої стінки ВТ тільки в тому випадку, коли витратомір працюватиме на високих швидкостях.

Застосування методики дозволяє досліджувати не тільки існуючі УЗВ, а й проводити комп'ютерну симуляцію впливу таких умов експлуатації, які або складно відтворити в лабораторних умовах, або які ще тільки проєктуються. Поєднання отриманих за такою методикою даних з результатами експериментальних досліджень УЗВ, дозволяє розробляти чіткі рекомендації (для впровадження у нормативні документи) щодо зменшення похибки вимірювання витрати у різних технологічних умовах.

Список бібліографічного опису

1. American Gas Association. (2007). *AGA Transmission Measurement Committee Report No.9: Measurement of gas by multipath ultrasonic meters (2nd ed.)*. Washington, DC: AGA.
2. The European Gas Research Group. (2000). *GERG Technical Monograph No.11: Project on Ultrasonic Gas Flow Meters, Phase II*. Brussels, Belgium: GERG.
3. 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.
4. Chen, W., Wu, J., and Li, C. (2021). The Investigation on the Flow Distortion Effect of Header to Guarantee the Measurement Accuracy of the Ultrasonic Gas Flowmeter. *Appl. Sci.*, 11, 36-56. <https://doi.org/10.3390/app11083656>.
5. Mousavi, S.F., Hashemabadi, S.H., and Jamalic, J. (2020). Calculation of geometric flow profile correction factor for ultrasonic flow meter using semi-3D simulation technique. *Ultrasonics*, 106, 106-165. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106165>
6. Ruppel, C., and Peters, F. (2004). Effects of upstream installations on the reading of an ultrasonic flowmeter. *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 167-177. <https://doi:10.1016/j.flowmeasinst.2003.12.004>
7. Лобачев, П.В., та Мясников, В.И. (1980). Влияние шероховатости подводящих трубопроводов на показания ультразвуковых расходомеров. *Измерительная техника*, 12, 53-54.
8. Андріюшин, М.П., Чернищенко, О.М., та Едель, А.В. (2015). Особливості застосування газодинамічної теорії подібності в процесі калібрування та перевірки лічильників природного газу. *Нафтогазова галузь України*, 6, 33-36.
9. Tresch, T., Gruber, P., & Staubli, T. (2006, July 30 – August 1). *Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurements*. Paper presented at the Proceedings of the 6th International Conference on IGHEM, Portland Oregon, USA.
10. Matsson, J. (2010). *An introduction to SolidWorks Flow Simulation 2010*. Mission, Kansas : SDC Publications. – 297 pages.
11. Ялінський Д.Я., Роман В.І. (керівник). (2022). Дослідження метрологічних характеристик двоканального ультразвукового витратоміра методами обчислювальної гідродинаміки. Магістерська кваліфікаційна робота. Національний університет «Львівська політехніка», Львів. – 52 с.

References

1. American Gas Association. (2007). *AGA Transmission Measurement Committee Report No.9: Measurement of gas by multipath ultrasonic meters (2nd ed.)*. Washington, DC: AGA.
2. The European Gas Research Group. (2000). *GERG Technical Monograph No.11: Project on Ultrasonic Gas Flow*

Meters, Phase II. Brussels, Belgium: GERG.

3. 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.
4. Chen, W., Wu, J., and Li, C. (2021). The Investigation on the Flow Distortion Effect of Header to Guarantee the Measurement Accuracy of the Ultrasonic Gas Flowmeter. *Appl. Sci.*, 11, 36-56. <https://doi.org/10.3390/app11083656>.
5. Mousavi, S.F., Hashemabadi, S.H., and Jamalic, J. (2020). Calculation of geometric flow profile correction factor for ultrasonic flow meter using semi-3D simulation technique. *Ultrasonics*, 106, 106-165. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106165>
6. Ruppel, C., and Peters, F. (2004). Effects of upstream installations on the reading of an ultrasonic flowmeter. *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 167-177. <https://doi:10.1016/j.flowmeasinst.2003.12.004>
7. Lobachev, P.V., and Myasnikov, V.I. (1980). The impact of roughness of the supply pipelines on the indications of ultrasound flow meters. *Measuring technique*, 12, 53-54.
8. Andriyshyn, MP, Chernyshenko, OM, and Edel, A.V. (2015). Features of the use of gas-dynamic theory of similarity in the process of calibration and verification of natural gas meters. *Oil and gas industry of Ukraine*, 6, 33-36.
9. Tresch, T., Gruber, P., & Staubli, T. (2006, July 30 – August 1). *Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurements.* Paper presented at the Proceedings of the 6th International Conference on IGHEM, Portland Oregon, USA. doi: <http://www.ighem.org>.
10. Matsson, J. (2010). *An introduction to SolidWorks Flow Simulation 2010.* Mission, Kansas : SDC Publications. – 297 pages.
11. Yalinsky D.Ya., Roman V.I. (head). (2022). Investigation of metrological characteristics of dual-channel ultrasonic flowmeter by computational fluid dynamics methods. Master's qualification work. Lviv Polytechnic National University, Lviv. – 52 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-03>

УДК 004.032.6:37.018.43

Четверикова Тетяна Георгіївна, викладач

<https://orcid.org/0000-0002-2318-635X>

Клехо Олена Веніамінівна, викладач

<https://orcid.org/0000-0002-2270-0898>

Комунальний заклад вищої освіти «Луцький педагогічний коледж» Волинської обласної ради, м. Луцьк, Україна

СИСТЕМИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВІДЕОКОНТЕНТУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Четверикова Т. Г., Клехо О. В. Системи створення та використання відеоконтенту для реалізації дистанційного навчання. Проаналізовано основні переваги використання навчальних відео для ефективної організації освітнього процесу. Розглянуто окремі ресурси, які можна використовувати для запису відео з екрану (скрінкасту) та проаналізовано їх можливості. Досліджено особливості вибору платформи для розміщення та впорядкування вчителем власних створених відеоматеріалів та проаналізовано можливості використання сервісу You Tube для вчителя, що дозволяють забезпечити потреби синхронного та асинхронного навчання. Розроблено практичні завдання для виконання студентами під час вивчення дисципліни «Методика навчання інформатики» та запропоновано методику формування готовності майбутніх учителів до використання систем створення та упорядкування відеоконтенту.

Ключові слова: відеоконтент, навчальне відео, онлайн сервіс, дистанційне навчання, освітній процес, онлайн ресурс, відеохостинг, You Tube, скрінкаст.

Chetverykova T., Kleho O. Systems of creation and use of video content for the distance learning implementation. The main advantages of using educational videos for effective organization of the educational process have been analyzed. Separate resources that can be used to record video from the screen (screencast) have been studied and their capabilities have been analyzed. Peculiarities of choosing a platform for placing and organizing the teacher's own video materials have been studied, and the possibilities of using YouTube for teachers, which allow meeting the needs of synchronous and asynchronous learning, have been analyzed. Practical tasks to be performed by students during the study of the discipline "Methodology of teaching computer science" have been developed, and a method of shaping readiness of teachers-to-be to use systems for creating and organizing video content has been proposed.

Keywords: video content, educational video, online service, distance learning, educational process, online resource, video hosting, You Tube, screencast.

Постановка наукової проблеми. Виклики останніх років спричинили зміни в особливостях реалізації освітнього процесу як в Україні, так і закордоном. Це спричинило потребу у трансформуванні методів викладання в сторону більш широкого використання цифрових технологій як засобів реалізації очного, дистанційного та змішаного навчання. Сучасний учитель постійно перебуває у пошуку таких технологій, які могли б забезпечити можливість учневі опрацювати інформацію як у синхронному, так і в асинхронному режимі. У цьому випадку доцільно звернути увагу на використання систем створення та використання візуального контенту, що забезпечать для вчителя можливість оптимальної подачі матеріалу залежно від специфіки навчального предмету, а для учнів – можливість опрацювання матеріалу у зручний час та у найбільш зручному для розуміння вигляді.

Аналіз досліджень. Актуальність теоретичних, методологічних та методичних проблем дистанційного навчання знайшла відображення у дослідженнях багатьох сучасних українських науковців. Зокрема, у працях Сисоевої С. О., Осадчої К. П., Шпагіної О. В. значна увага приділена стану, технологіям та перспективам дистанційного навчання у вищій освіті України [1]; цікавими є результати дослідження проблем підготовки фахівців у ЗВО в умовах дистанційного навчання у працях Кучая О. В. [2]; у роботі Джеваги Г. В. схарактеризовано можливості відеоматеріалів мережі Інтернет для забезпечення освітніх цілей та виокремлені типи освітнього відео-контенту [3].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Особливо актуальним на даний час є практичний аспект використання освітніх технологій для дистанційного та змішаного навчання. Зокрема, онлайн платформи «На урок» та «Всеосвіта» пропонують для вчителів вебінари практичного спрямування, які дозволяють вивчити особливості та інструменти для організації дистанційного навчання учнів з використанням спеціальних онлайн ресурсів та програмного забезпечення. Результатом співпраці Міністерства освіти та науки з компанією Google Україна стала серія онлайн тренінгів для покращення цифрових навичок

вчителів та викладачів закладів вищої освіти, зокрема і для організації синхронного та асинхронного навчання.

Проте хотілося б проаналізувати особливості формування готовності майбутніх учителів початкової школи до використання онлайн ресурсів створення відеоконтенту для супроводу освітнього процесу в умовах змішаного та дистанційного навчання.

Мета дослідження – розглянути окремі сервіси створення відеоматеріалів для супроводу навчання онлайн та запропонувати методику формування готовності майбутніх учителів до їх використання в освітньому процесі початкової школи.

Розглянемо основні переваги використання навчальних відео для організації освітнього процесу:

- урізноманітнення навчального матеріалу, можливість використовувати аудіо та візуальні елементи для пояснення;
- забезпечення доступу для перегляду матеріалів у зручний час, у будь-якому місці;
- опрацювання матеріалу в зручному темпі та автономному режимі;
- можливість зупинити пояснення для осмислення навчального матеріалу, прогорнути на початок для повторного перегляду;
- для викладача можливість самостійно скомпонувати зміст навчального матеріалу згідно освітньої мети заняття.

Вчителі для організації змішаного навчання можуть використовувати готовий відеоконтент, який створений згідно навчальних програм і структурований на порталі Академії Хана та Youtube-каналів для підтримки дистанційного навчання: Всеукраїнська школа онлайн (Канал МОН України), «Нова школа» – канал повноцінних мультимедійних підручників по кожному предмету з 1 по 11 клас, відеоуроки каналу «Osvita. Academy» (відео з біології, хімії, географії, математики), Школа_інфо – найбільший освітній ресурс України з онлайн уроками, новинами та навчальними лайфхаками, відкриті відеоуроки від проєкту EdEra (англійська мова, математика, біологія, історія, українська мова та література), розробки занять від онлайн школи проєкту «На урок», FIZMAT Профіль – відеоуроки з математики та фізики, YouTube-платформа «Навчання» з освітнім контентом для навчання учнів віком від 13 до 17 років (особливий акцент зроблено на українську літературу та мовознавство, фізику, біологію, хімію та математику тощо).

Проте інколи у вчителя виникає потреба створити та використовувати власний відеоконтент. Залежно від форми подання та візуального наповнення це може бути відеолекція, знята на камеру чи вебкамеру (можна використовувати сервіси Zoom, Google Meet) або пояснення навчального матеріалу у форматі скрінкасту (відео з екрану) з використанням демонстрування особливостей роботи у конкретному середовищі (наприклад, текстовий редактор, середовище програмування або ін.), слайдів презентації, діаграм чи інших графічних елементів (Screenrecording, Screenity, OBS – студію).

Формування у студентів – майбутніх учителів умінь створювати навчальний відеоконтент передбачає наявність таких аспектів: теоретичного (ознайомлення зі структурою навчального відео, основними рекомендаціями до створення), демонстраційного (використання викладачем власних відеороликів для навчання студентів), виконання практичних завдань, які передбачають формування умінь працювати з певними сервісами для створення, упорядкування та зберігання навчальних відео.

Структура навчального відео передбачає наявність таких елементів: вступ, основна частина, завдання (запитання для роздумів), висновки. Зважаючи на особливості сприйняття мультимедійної інформації, можна виокремити такі загальні рекомендації по створенні відеоматеріалів: загальна тривалість відео до 6 хвилин; наявність у відео візуальних ефектів зі звуковим поясненням; бажана присутність викладача в кадрі; позитивний настрій лектора та неформальна подача матеріалу [5].

Розглянемо окремі ресурси, які можна використовувати для запису відео з екрану (скрінкасту). Такі програми в основному передбачають можливість обрання області для записування (наприклад, вкладка, вікно чи область екрану), керувати процесом запису (призупинити його, записувати частинами, накладати фрагменти та ін.) та додавати текст, фігури та стрілки до запису на екрані; окремі з них дозволяють використовувати камеру для візуальної присутності лектора на екрані під час запису пояснення; зазвичай такі програми дозволяють зберігати відео у загальноживаних відео форматах для відтворення за допомогою мультимедійного програвача (mp4, gif, webm, wmv) та більшість з них передбачає безоплатне

використання основних функціональних можливостей ресурсу. Найбільш зручними і простими у використанні є онлайн редактори, які дають можливість запису відео одним уривком: Screenity (розширення для браузера Google Chrome, яке можна встановити з Chrome Web Store), Screencast-O-Matic (онлайн сервіс для запису відео з екрану, з яким користувачі працюють безпосередньо у браузері), більш функціональними є програми Screencastify, Icescream Screen Recorder, Camtasia Studio 9 (спеціалізоване професійне програмне забезпечення для створення навчальних відео, яке містить вбудований багатофункціональний відеоредактор), OBS-студію (дозволяє створити більш якісний, професійний контент з використанням великої кількості сцен).

Вибір платформи для розміщення та впорядкування вчителем власних створених відеоматеріалів передбачає врахування таких аспектів: наявність інструментів для відтворення відео, можливість керування доступами для інших користувачів (учнів, колег) та великий об'єм дискового простору, який пропонується для зберігання. Одним із ефективних інструментів для забезпечення освітніх цілей роботи з відео контентом є You Tube – відеохостинг, який сприяє комунікації у межах навчального курсу, дозволяє студентові здійснювати активний пошук матеріалу, створювати списки відтворення та упорядковувати власні відео матеріали, проявляти креативність у налаштуванні власного каналу, спонукає до розвитку навичок аналізу, оскільки вміння опрацьовувати дані та виокремлювати з них найважливіші допомагає подолати інформаційну перевантаженість сучасного світу [4, с. 46]. У своїй праці дослідники Ю. Серов та А. Соломон зазначають, що «використання відео You Tube як частини курсу навчання заохочує аудиторію розвивати навички ефективної самостійної роботи з матеріалом, адже студент має працювати з відео (переглядати кілька разів, зупинятися на важливих моментах тощо), доки повністю не зрозуміє його сутність і головні аспекти; відеохостинг сприяє кращому розумінню і засвоєнню складних концепцій. Застосування You Tube як віртуальної бібліотеки для супроводу електронного навчання дає змогу краще ілюструвати складний матеріал, оскільки відео ідеально підходить для покрокової демонстрації та допомагає легко отримувати й зберігати знання» [4, с. 47].

Розглянемо переваги використання сервісу YouTube для вчителя (викладача), що дозволяють забезпечити потреби синхронного та асинхронного навчання:

- You Tube є частиною сервісів Google, тому є можливість легкого доступу для зареєстрованих користувачів та швидкої інтеграції з іншими додатками Google;
- можливість зручного налаштування власного каналу, персоналізація кабінету, який дає можливість бачити пропозиції, зведення, інформування, власний контент та списки відтворення;
- завантаження власних відео та використання в YouTube Studio можливостей конструктора для їх редагування та зміни параметрів відображення;
- керування доступом інших користувачів до власних навчальних відео, поширення та популяризація власного досвіду;
- створення списків відтворення з навчальними відео з інших ресурсів для власного використання та рекомендацій для перегляду студентам;
- можливість запису короткого відео безпосередньо з мобільного пристрою (YouTube Shorts);
- можливість відтворення відео You Tube у найвищій якості на багатьох різних пристроях і переглядачах;
- відео You Tube легко вбудувати в електронний курс, розміщений у системі онлайнного навчання Google Classroom, Moodle та ін.;
- безлімітне та безкоштовне збереження відеоматеріалів.

Формування умінь студентів – майбутніх вчителів інформатики у початковій школі працювати з системами створення та зберігання відеоконтенту доцільно здійснювати під час виконання практичних робіт при вивченні дисципліни «Методика навчання інформатики». При цьому завдання практичної роботи слід розробити таким чином, щоб їх виконання, окрім формування умінь працювати з певним ресурсом для створення відеоконтенту, сприяло розвитку умінь студентів працювати зі змістом Державного стандарту початкової освіти, типових освітніх програм, опрацьовувати матеріал підручників та методичних рекомендацій до викладання дисципліни. Пропонуємо приклади таких розробок практичних робіт, які виконували студенти 2 курсу відділення Початкової та дошкільної освіти, які навчаються за освітньо-професійним ступенем «фаховий молодший бакалавр» у комунальному закладі вищої освіти «Луцький педагогічний коледж» Волинської обласної ради.

Тема заняття: *Створення навчального відео.*

Хід виконання:

1. Ознайомтесь з навчальними матеріалами про можливості та правила використання ресурсів для запису відео:

– онлайн-платформа Zoom (посилання для доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=EA8j8nF7k>);

– програма для створення скрінкастів Freescreenrecording (посилання для доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=M0sCZuhlju0>);

– розширення для браузера Google Chrome Screenity (посилання для доступу: <https://youtu.be/fW5Sxls3yZs?t=3336>).

2. Оберіть тему з інформатики (наприклад, «Графічний редактор», «Алгоритми та виконавці», «Циклічні алгоритми» або ін.), використовуючи типову освітню програму Савченко О. Я. та календарне планування з інформатики для 3-4 класу НУШ.

3. Використовуючи зміст підручників з інформатики Морзе Н. В. та Корнієнко М. М., опрацюйте навчальний матеріал згідно обраної теми. Підберіть ілюстративний матеріал та необхідне програмне забезпечення для виконання практичної роботи, підготуйте презентацію та продумайте зміст звукового супроводу та пояснення.

4. Запишіть навчальне відео тривалістю 4-6 хвилин згідно обраної теми такої структури:

– оголошення теми, мети. У цій частині необхідно зацікавити учнів, привернути їх увагу;

– короткі теоретичні відомості, можливості (прикладі проектів, малюнків);

– демонстраційний приклад – пояснення роботи в середовищі (наприклад, графічному редакторі, Scratch або ін.);

– підсумки, загальний висновок.

5. Розмістіть відео на власному диску Google, відкрийте доступ до нього та посилання прикріпіть до завдання в Google Classroom.

Тема заняття: *Створення YouTube-каналу педагога.*

Хід виконання:

1. Перегляньте вебінар про правила створення власного youtube-каналу за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=j9fnJu6Y4mU> та матеріали тренінгу «Можливості YouTube для освіти» за посиланням <https://www.youtube.com/watch?v=fW5Sxls3yZs>.

2. Ознайомтесь з основними етапами організації роботи в You Tube та з прикладом youtube-каналу вчителя за QR-кодом:



3. Розгляньте основні етапи, які передбачають створення YouTube-каналу педагога:

1) Реєстрація YouTube-каналу.

2) Дизайн власного каналу.

3) Завантаження відео на канал.

4) Робота в творчій студії YouTube.

5) Просування каналу.

4. Ознайомтесь з новими поняттями:

– Прев'ю – заставка для відео.

– Інтро – невелике відео, яке ставлять на початку показу.

– Seo-оптимізація – комплекс дій для підняття позицій каналу.

– Клікбейт – маніпулятивний заголовок.

– Творча студія – сторінка для керування каналом.

5. Зареєструйтесь на сервісі youtube.com та створіть власний канал – студента педагогічного коледжу (вчителя початкової школи).

6. Оберіть вкладку *Персоналізувати канал* і здійсніть загальні налаштування каналу. Дайте назву каналу та додайте зображення – аватар.

7. Перейдіть в меню *Персоналізація каналу* та перегляньте можливості оформлення макету.

8. Створіть список відтворення Інформатика 4 клас НУШ, у який додайте декілька відео з різних Youtube-каналів для підтримки дистанційного навчання.

9. Оберіть налаштування приватності. Якщо ви хочете, щоб усі побачили ваш відеоматеріал, то оберіть доступ «Для всіх», якщо ні – то доступ за посиланням («Не для всіх») або приватно.

10. Заповніть пункт *Основна інформація* (відомості), де додайте короткий опис каналу.

11. Додайте власне відео (з попередньої практичної роботи) і зробіть до нього прев'ю. У меню *Фірмове оформлення* оберіть фото, розробіть і додайте банер – зображення, яке відображатиметься як обкладинка відео (на обкладинці можна написати ту ж інформацію, що й у назві відео) та водяний знак відео. Для створення використовуйте графічний редактор або редактор інфографіки (наприклад, Crello, VistaCreate або ін.).

12. Скопіюйте посилання на ваш YouTube-канал, згенеруйте для нього QR-код та зображення прикріпіть до практичної роботи в Класрумі.

Цікавим є те, що 82% здобувачів освіти для виконання практичної роботи використовували запис скрінкастів без запису відео власної особи. Це, на нашу думку, пояснюється наявністю певного психологічного бар'єру у студентів, недостатністю досвіду та практичних навичок, які потребують подальшого формування.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Отже, питання формування готовності студентів – майбутніх учителів до створення, упорядкування та використання власного відеоконтенту є актуальним і потребує подальшого дослідження та методичного супроводу. Окрім того, ефективність використання саме відеоконтенту для дистанційного та змішаного навчання зумовлює постійний розвиток технологій у цій сфері, тому завжди є потреба в ознайомленні здобувачів освіти з новими можливостями та у формуванні практичних навичок їх використання. Це доцільно робити через демонстрування власного досвіду викладачем (під час організації змішаного навчання у ЗВО) та через виконання доцільно підібраних завдань при вивченні дисципліни «Методика навчання інформатики».

Список бібліографічного опису

1. Сисоева С. О., Осадча К. П. Стан, технології та перспективи дистанційного навчання у вищій освіті України. Інформаційні технології і засоби навчання. 2019. Т. 70, № 2. С. 271-284.
2. Кучай О. В. Підготовка фахівців у ВНЗ в умовах дистанційного навчання. Наукові записки [Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка]. Серія: Педагогічні науки. 2018. Вип. 166. С. 126-129.
3. Джевага Г. В. Створення відеолекції для дистанційного навчання. Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. 2016. Вип. 137. С. 19-23.
4. Серов Ю., Соломон А. Специфіка використання YouTube-каналів як бази знань для ефективного вивчення іноземної мови. Вісник Книжкової палати. 2018. № 6. С. 46-48.
5. Навчальне відео: створюємо, редагуємо, розміщуємо. URL: <https://ceit.ucu.edu.ua/navchalne-video-stvoruyemo-redaguyemo-rozmishhuyemo/> (Дата звернення 27.08.2022).
6. 15 найкращих безкоштовних програм для запису екрану для ПК з Windows. URL: <https://uk.csstricks.net/8226109-15-best-free-screen-recorder-software-for-windows-pc> (Дата звернення 25.08.2022).
7. Онлайн-тренінг «Можливості YouTube для освіти». URL: <https://sites.google.com/view/2906-2022> (Дата звернення 25.07.2022).
8. YouTube-канал: Ліана Корнієнко. Природничий вернісаж. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCDb6RgNWkx36S0TUIL87UiQ> (Дата звернення 12.06.2022).

References

1. Sysoeva S. O., Osadcha K. P. (2019) Status, technologies and perspectives of distance learning in higher education of Ukraine. Information technologies and teaching aids. V. 170, No 2. P. 271-284.
2. Kuchai O. V. (2018) Training of specialists in universities in the conditions of distance learning. Scientific notes [of Volodymyr Vinnichenko Central Ukrainian State Pedagogical University]. Series: Pedagogical sciences. Issue 166. P. 126-129.
3. Dzhhevaga G. V. (2016) Creating a video lecture for distance learning. Bulletin of the Chernihiv National Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences. Issue 137. P. 19-23.
4. Syerov Y., Solomon A. (2018) The specifics of using YouTube channels as a knowledge base for effective foreign language learning. Bulletin of the Book Chamber. No 6. P. 46-48.
5. Educational video: we create, edit, post. [Electronic resource] – Access mode: <https://ceit.ucu.edu.ua/navchalne-video-stvoruyemo-redaguyemo-rozmishhuyemo/>
6. 15 Best Free Screen Recorders for Windows PC. [Electronic resource] – Access mode: <https://uk.csstricks.net/8226109-15-best-free-screen-recorder-software-for-windows-pc>
7. Online training "Possibilities of YouTube for education". [Electronic resource] – Access mode: <https://sites.google.com/view/2906-2022>
8. YouTube channel: Liana Kornienko. Natural vernissage. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.youtube.com/channel/UCDb6RgNWkx36S0TUIL87UiQ>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-04>

UDC 004.05(075.8)

Andrushchak Igor Yevhenovich, Ph.D., Professor,

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

Matviiv Yurii Yaroslavovich, Ph.D., Professor,

<https://orcid.org/0000-0003-4872-7949>

Koshelyuk Viktor Andriyovych, candidate of technical sciences, associate professor,

<https://orcid.org/0000-0002-4136-5087>

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

COMPONENTS OF VIRUSES AND ANTIVIRUS SOFTWARE IN MODERN INFORMATION SECURITY

Andrushchak I., Matviiv Yu., Koshelyuk V. Components of viruses and antivirus software in modern information security. In fact, in today's conditions of continuous innovative development of technologies, in the field of programming, computer networks and the Internet, the dark side of progress continues to grow at great rates: virus software. As a result, in this article we will try to focus on all aspects of the fight against viruses: prevention of infection, methods of detecting malicious programs, their destruction, as well as elimination of consequences. To do this, we conducted research and study of the main scientific sources on this topic and statistical data. As a result, this article focuses on different types of viruses and analyzes the methods of their classification, detection and destruction.

Keywords: information security, software, cyber security, viruses, antivirus, software product, global networks.

Андрушак І.С., Матвій Ю.Я., Кошелюк В.А. Компоненти вірусів та антивірусного програмного забезпечення в сучасній інформаційній безпеці. Власне, у сучасних умовах безперервного інноваційного розвитку технологій, у галузі програмування, комп'ютерних мереж та мережі Інтернет великими темпами не перестає зростати і темна сторона прогресу: вірусне програмне забезпечення. Як наслідок, у данній статті спробуємо акцентувати увагу на всі аспекти боротьби з вірусами: запобігання зараженню, методам виявлення шкідливих програм, їх знищення, а також ліквідації наслідків. Для цього ми провели дослідження та вивчення основних наукових джерел з цієї тематики та статистичних даних. Як результат, у цій статті, акцентується увага на різних видах вірусів та проводиться аналіз методів їх класифікації, виявлення та знищення.

Ключові слова: інформаційна безпека, програмне забезпечення, кібербезпека, віруси, антивіруси, програмний продукт, глобальні мережі.

Formulation of the problem. From the time of the appearance of the first computers to today, many types of viruses are undoubtedly one of the main reasons for the appearance of certain negative problems in the work of modern computers, leaks of information, including confidential, financial and state information. At the same time, during this time, computer viruses managed to evolve and acquire numerous new types and forms. Now, it costs nothing for any software developer to create a certain virus program according to a developed template, so new malware appears almost every second.

However, there is no doubt that the evolution of antivirus software products is constantly improving. Methods for detecting and preventing malicious activity also continue to evolve significantly. In most cases, there are paid versions of most programs that provide wider functionality in addition to working with viruses: for example, a firewall, VPN. Despite all the advantages, modern security software is far from perfect and has many of its shortcomings. As a result, the actual issue of combating virus programs remains open.

Analysis of research. The concept and basic idea of a mechanical structure capable of self-reproduction, activation, capture and mutation was derived long ago by the American scientist L. Penrose. Certainly the problem of computer viruses may not have arisen, since computers themselves were originally only owned by large and powerful corporations, state government organizations, and similar entities, since the complexity of computers made them an extremely expensive pleasure for ordinary citizens, until Apple released the first available an Apple II personal computer. After many users got a personal computer at their disposal, a virus as a type of program appeared that which in itself enables its existence: a potential habitat and distribution [1].

Since then, many programs have been written to spread and combat various types of viruses. Many of them became a kind of legends. As mentioned earlier, the evolution in the world of information technologies does not stand still and various types of malicious programs have become much more, as a result of which there was a need for a systematic classification of these programs.

Classifying the entire range of programs is quite difficult and not an easy task in connection with various aspects, but it is possible to give a certain basic classification according to key features and

concepts. Specifics such as the affected operating system and features (such as user tracking, data destruction, data theft) can also be added.

Presentation of the main material and the justification of the results. First of all, in the fight against the virus and subsequently the restoration of computer information, there is, of course, the detection of this harmful proprietary product or tool. In certain cases, this is a simple task: the user can independently understand that his computer or laptop has been infected. For example, the Internet browser cannot access certain websites as usual, the home page changes regularly, or the browser itself usually runs slower than usual. Also, users often notice the following signs:

- slow operation or freezing of the computer.
- constantly pop-up notifications on the work browser or desktop.
- unexpected reboots of the computer system.
- error message that system files are damaged.
- lack of access to the command line of the task manager and other system programs.

But there are usually cases when errors in the operation of the operating system or browser are not so obvious and the user calmly performs certain necessary work, but there are viruses on the computer. That is why you should periodically scan all content with antivirus programs that use their own methods of detecting virus software. They can be divided into two main groups:

- *detection of viruses by "dictionary"* - then the antivirus simply scans all files and programs and compares them with the dictionary where existing viruses are entered. If there is a match, the antivirus will delete or quarantine the malware. Of course, in order for this method to cope with its task, it is necessary to update the dictionary and introduce new malicious programs into it. Since there are quite a lot of them these days, most likely, the antivirus dictionary will not contain all the necessary viruses. But most often this is almost enough, because most antiviruses use the dictionary method for detection.

- *detection of viruses on the behavior of programs* - certain antiviruses that work according to this principle monitor how programs behave and what actions they perform. Basically, all the suspicious activity of the programs was reduced to writing new data to the executable file, but now ordinary programs often do the same. As a result, the user receives many false warnings when the antivirus again mistakes an innocent file for a malicious one. It is not surprising that this method is used less and less [2].

Of course, the method of detection based on the behavior of the program can also include the principle of operation of antiviruses that imitate a small part of the code of the program that is launched or imitate the operating system, and only then execute the program on it. It is not difficult to guess that such a check can take a significant part of time, which is why it is used by professionals, and not by ordinary computer users. Instead, it is really effective and can detect all the viruses occupying the laptop. Speaking about certain methods of detecting viruses, we have already mentioned that, of course, the main means of combating pests is antivirus programs. They combine everything the user needs: they find the virus, eliminate it and its consequences, if damage was caused to these or other programs [3].

Analyzing the listed methods of detecting certain types of viruses, we have already mentioned that, usually, the main means of pest control are antivirus programs. They clearly combine everything necessary and necessary for the user: they find the virus itself, eliminate it and its negative consequences, if damage was caused to information or other software products [4].

At the same time, modern antivirus software can be divided into several types, in which the functionality itself is somewhat different:

- *detectors* are the same as the antiviruses described above. They find an existing problem and "cure" it using the dictionary method. They include the banal and well-known antivirus of Kaspersky, Doctor Web.

- *filters* - monitor the disk. When any program tries to register on the filter, the user will be notified about this and will be asked for permission to perform the operation. You can also fight against new unknown viruses, if they interact with the disk and not with the BIOS.

- *vaccinators* - is used only to fight against specific known malware, because the vaccinator needs to take the signs of the virus. It then writes them to the user's secure program, and the virus thinks it is already infected.

- *auditors* - store information about the status of programs and files, and during repeated scanning use them to compare and analyze changes. Many factors are checked: from the size of the files and the time of their creation to the state of the BOOT sector. However, the antivirus itself does not determine whether the file is harmful to it or not. It transmits all data about the changes to the user, who must decide

for himself what caused them. If it is, according to the person, a virus, then the auditor deletes the dangerous data or quarantines it.

Despite the fact that there are many types of antiviruses with different functionalities and principles of operation, as well as a large register of developers of this software product or tool, there are unfortunately also many disadvantages of antiviruses [5].

But no specific antivirus program can unequivocally guarantee one hundred percent protection against any virus. It can be a new unknown virus that is not yet listed in dictionaries, or a strongly encrypted virus. Then you will need a powerful packer, which, of course, is not available in many antiviruses. Moreover, antiviruses like to find threats in safe files. Therefore, ordinary users themselves miss certain warnings about viruses and malicious files, which makes this protection less reliable.

Table. 1 Classification of different types of viruses

Harmfulness	<ul style="list-style-type: none"> - harmless - programs that can spread in the network, moving from one computer to another, but at the same time do not perform any destructive functions in relation to the system. - safe - malicious programs capable of overloading the memory, generating sound signals, computer images. - dangerous - programs capable of harming the system. - extremely dangerous - viruses capable of destroying data located in various segments and sectors of memory, leading to the breakdown of mechanical parts of the computer.
Habitat	<ul style="list-style-type: none"> - file - damage to executable files, the habitat of which is respectively COM and EXE files. - bootable - damage to boot sectors (Boot sectors) of hard drives or system boot sectors. - network - damage to computer networks and systems. - macro - damage to Microsoft Office files.
Method of infection	<ul style="list-style-type: none"> - resident viruses - remain in RAM after the execution of a certain infected program. - non-resident viruses - do not occupy the RAM of the device and are executed only once during the execution of a certain virus program
Features of the work algorithm	<ul style="list-style-type: none"> - companion viruses - damage to EXE files, in which a duplicate of the COM file is created, after which the file with the virus is first executed, then the file of the program itself. - worms-viruses - spread in the network by calculating the addresses of other devices connected to this network and sending their own copies to these devices. - viruses-parasites - change the contents of files and memory segments of infected devices. - stealth viruses - intercept the access of the disk operating system (DOS) to the affected areas of the disk and substitute uninfected memory segments. - polymorph viruses - do not have parts of the code, therefore such viruses are very difficult to detect. - macro viruses - infect macros in file editors such as Microsoft Word and Microsoft Excel. - viruses capable of self-encryption - change their program code. - viruses with a non-standard algorithm - have their own signatures and structural algorithms, which greatly complicate the detection of the virus

Network interception is a specific process that is carried out using a "man-in-the-middle attack". Special software redirects the user's encrypted connection to any requested site and succeeds. The interceptor then opens a new connection to the source web resource and passes data through itself between the two connections. Because an interceptor has access to most of the data within the connection, they can assume, modify, and block any content transmitted or received by the client. This can be used for both good (blocking malicious sites) and bad purposes (fraud, hacking devices). Programmers of Google, Mozilla, Cloudflare and several companies sharply criticized the processes of interception of HTTPS traffic by antiviruses and network filters [6].

Thanks to the work performed, it was found that the network interception of HTTPS traffic by antivirus programs can threaten the safety of users and their connection to the World Wide Web. Therefore, this software cannot gain specific access to HTTPS packets, but antivirus companies have found a way to analyze the data that goes over encrypted connections: they have started to install their own root certificates on the device, which significantly reduces the security of the connection.

Moreover, the analysis shows that the traffic scanners presented in some antiviruses have even greater vulnerability due to their shortcomings. Intercepted connections use weak cryptographic algorithms and cracked ciphers that can allow attacks on the device and decryption of the connection. Thus, at least about 10% of traffic is intercepted not only by antiviruses, but also by third-party software that uses it, easily deciphers and analyzes it for its own purposes. That is why antivirus companies should think about a new way of collecting information.

However, the actual interception of HTTPS packets significantly reduces the security of the user and his data on the network. Another existing problem is how common network interception is [7].

Measuring the number of existing interceptions is clearly not an easy task, so an improved version of the TLS fingerprinting technology is used to detect the interception. This will determine who is making the connection: the interceptor or the browser. The technology actually evaluates the construction of the client's TLS package (mainly cipher suites and TLS options) and compares it to an existing database that was already known.

Actually, the work processes of the online store, the Cloudflare site and the Firefox update servers were evaluated. However, we looked at exactly how much browser traffic they intercept. And the results, in turn, showed that from 4 to 10% of traffic is intercepted, while 4% are Firefox servers, and 10% are Cloudflare. This is quite a lot, but it should be remembered that some of the interceptions are not carried out by criminals [8].

If you break down the existing intercepted HTTPS packets by operating systems, it turns out that Windows is definitely intercepted much more often than Linux and MacOS. And the traffic itself from mobile devices (IOS or Android) is intercepted less often than from the OS for a personal computer, but not in the case of existing Firefox servers. Oddly enough, however, most of the interception is done by mobile providers. This may be due to the fact that the desktop version of Firefox uses its own separate store for root SSL certificates, thereby reducing the chance of data being intercepted. At the moment, this is one of the main maneuvers that can be a temporary solution to the existing problem of HTTPS traffic interception. But the main disadvantage of the maneuver is that it is provided by the owner of the server and the requested Internet resource, and not the antivirus, which is undoubtedly the initiator of the interception [9].

Thus, we can only determine for sure the main extent of damage caused to the user by network interceptors and only slightly eliminate it, because everything depends on a significant number of factors: the software used and the connection, the requested specific site, the user's device and the operating system itself system on it. But at the same time, it is absolutely impossible to avoid this, until the antivirus manufacturers themselves evolve to a less vulnerable way of controlling HTTPS traffic [10].

Conclusion and prospects for further research

It's impossible not to respect how large a number of different types of viruses exist and are created in the modern world, and also how badly stench it's right to set up coristuvachi computers and Internet. Prote, use a lot of anti-virus programs, even though they don't have a general agreement, but they can save bad or eliminate negative consequences. It is unambiguously necessary for those koristuvachs themselves to learn how to correctly hack as modern antiviruses, so even if they don't know the files that are sent - to that, be it mitigated stench, they can appear shkidlivimi.

Moreover, the distributors of anti-virus software products and services can also do something about it. The methodology for detecting and reducing viruses on a computer is far from ideal, which can change both on the butts of the state, and on a special certificate. Those creators of shkidlivih programs zasobiv do not sit on the job, gradually improving their code and encryption. Itself in such stages of the efficiency of viruses and anti-viruses of the modern coristuvach is unequivocally learned for the help of various software tools and security, various operating systems to secure their own security and the security of their personal laptops.

References

1. Bay H., Ess A., and Tuytelaars T. SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision and Image Understanding (CVIU). 2008. V. 110. No. 3. P. 346-359.

2. Dukhan E.I., Sinadsky N.I., Khorkov D.A. Software and hardware protection of computer information. Ekaterinburg: USU; 2008. 240 p.
3. Ivanov V.Yu., Zhigalov K.Yu. A technique for detecting traces of malicious software in RAM dumps. cloud science. 2018;5(2):2–5.
4. Kiyayev V.I. Security of information systems. M.: Open University "INTUIT"; 2016. 192 p. Ginodman V.A., Obelets N.V., Pavlov A.A. From the first viruses to targeted attacks. M.: MEPhI; 2014. 96 p.
5. Martseniuk V. Features of multifunctional Backdoor technology. Scientific journal "Computer-integrated technologies: Education, science, production" / V. Martseniuk, A. Sverstiuk, I. Andrushchak, O. Sivakovska, M. Poteichuk // Issue №40, Lutsk. - 2020 - p. 123-127.
6. Martsenyuk V.P. On Application of Latticed Differential Equations with a Delay for Immunosensor Modeling / V.P. Martsenyuk, I.Ye. Andrushchak, P.N. Zinko, A.S. Sverstiuk // Journal of Automation and Information Sciences (Begell House / New York) – 2018. – Volume 50 issue 1. – pp. 55-65.
7. Panov S.S. The five best antiviruses to protect your smartphone. Science and education today. 2018;(3):18–21.
8. Rudnichenko A.K., Shakhanova M.V. Actual ways of introducing computer viruses into information systems. Young scientist. 2016;(11):221–223.
9. Spitsyn V.G. Information security of computer technology. Tomsk: El Content; 2011.148 p.
10. Vlasov D.V., Minaev A.S. Methods for counteracting the analysis of executable files in information systems. Information and security. 2014;17(2):308–311.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-05>

UDC 004[657+005]338.4

Zalialetdzinau Kanstantsin

<https://orcid.org/0000000319380122>

software engineer Brimit LLC

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING THE SECURITY OF CLOUD IT COMPONENTS ACCORDING TO THE CRITERIA OF EXISTING STANDARDS

Zalialetdzinau K. Theoretical and methodological aspects of assessing the security of cloud it components according to the criteria of existing standards. Purpose of the study. Computing of clouds provide the admittance to the collection of computational possessions like storage of network and services. These possessions can be resealed and prompt with the minor efforts of the management because they have a scalable and dynamic environment. As a service the cloud computing offers the computing infrastructure, development of the stage as well as software and web applications like the model of pay as you go for the customers. Services are measured as the infrastructures as services (IAAS), Platform as a Service (PAAS), and the service software (SAAS) in diligence. In the research, we deliberate the Assessing the Security of Cloud It Components according to the criterion of obtainable principles. **Methodology.** In the advancement of the cloud computing metrics hierarchy, we covenant with the cloud computing management security with the GQM methodology. The main intention of the hierarchy proposed is to develop index for the security which entirely explained the security level in an estimate computing cloud environment. On the stride of the index for the security, we compute the index for the security to compute the allocation index. This allocation index will help in the management of the priorities set with a strong security prejudice. In this, we elucidate the slant for computingcloud management by use of security as a standard. **Scientific review.** The most enviable prerequisite of the computing of the cloud is to shun waste the underused possessions and mount the point of the response rate in the shortage of resources. In the latest literature in the administration field prioritization provision of the resources, we noticed that algorithm is preferred for the energy proficient management of the computing cloud environments. The metrics for the security use as instrument to provide the status about the information of security. **Conclusion.** In this editorial, we projected a management method for the computingcloud by using the criteria for the security. We accessible the 2 approaches to resource management. These strategies pact with the granularity and scalability in the computing cloud system. The security index covey the level of the security in the cloud computing environment in the modeled with metrics hierarchy. The biggest gain of using this approach is that it ropes the hierarchical decomposition that makes the model more scalable and disseminated.

Key words: computing of clouds, system administrator, computing cloud system, computing cloud environments, cloud computing management security.

Залілетдзінов К. Теоретико-методологічні аспекти оцінки безпеки хмарних іт компонентів за критеріями існуючих стандартів. Мета дослідження. Обчислення в хмарах забезпечують доступ до колекції обчислювальних ресурсів, таких як зберігання мережі та послуг. Ці володіння можна повторно запечатати та негайно за допомогою незначних зусиль керівництва, оскільки вони мають масштабоване та динамічне середовище. Як послуга, хмарні обчислення пропонують обчислювальну інфраструктуру, розробку сцени, а також програмне забезпечення та веб-додатки, як модель оплати по ходу роботи для клієнтів. Послуги оцінюються як інфраструктура як послуга (IAAS), платформа як послуга (PAAS) і сервісне програмне забезпечення (SAAS). У дослідженні ми розглядаємо оцінку безпеки компонентів Cloud It за критерієм доступних принципів. **Методологія.** Удосконалюючи ієрархію показників хмарних обчислень, ми дотримуємося умов безпеки керування хмарними обчисленнями за допомогою методології GQM. Основним призначенням запропонованої ієрархії є розробка індексу для безпеки, який повністю пояснює рівень безпеки в оцінюваному обчислювальному хмарному середовищі. По ходу індексу для цінних паперів ми обчислюємо індекс для цінних паперів, щоб обчислити індекс розподілу. Цей індекс розподілу допоможе в управлінні встановленими пріоритетами з серйозним упередженням щодо безпеки. Тут ми пояснюємо напрямок керування обчислювальними хмарами за допомогою безпеки як стандарту. **Наукова рецензія.** Найбільш завидною передумовою обчислень хмари є уникати марнування недовикористаних речей і підвищувати точку відповіді на дефіцит ресурсів. В останній літературі в галузі адміністрування пріоритетів надання ресурсів, ми помітили, що алгоритм є кращим для енергоефективних керування обчислювальними хмарними середовищами. Метрики безпеки використовуються як інструмент для надання статусу інформації про безпеку. **Висновок.** У цій статті ми спроектували метод керування обчислювальною хмарою за допомогою критеріїв безпеки. Нам доступні 2 підходи до управління ресурсами. Ці стратегії узгоджуються з деталізацією та масштабованістю обчислювальної хмарної системи. Індекс безпеки відображає рівень безпеки в середовищі хмарних обчислень у змодельованій ієрархії метрик. Найбільша перевага використання цього підходу полягає в тому, що він використовує ієрархічну декомпозицію, яка робить модель більш масштабованою та поширеною. Ключові слова: обчислення хмар, системний адміністратор, обчислювальна хмарна система, обчислювальні хмарні середовища, безпека управління хмарними обчисленнями.

Ключові слова: хмарні обчислення, системний адміністратор, обчислювальна хмарна система, обчислювальні хмарні середовища, безпека управління хмарними обчисленнями.

Relevance of the problem. Computing of the cloud elaborate the access to computational resources like services, storage space and network. These possessions can be at large with the minor efforts of the management in a scalable or dynamic environment (Daylami, 2015).

The technology that provides the cloud computing services has a different level of risk in comparison with the other information technology environments (Gashi, 2016). Despite its benefits, the main dilemma in cloud computing is security issues.

The developers of the software classify the cloud differently in comparison to the system administrator. The database administrator has its definition. The cloud simply means scalable services that admittance the user via internet connections. A supplier like Microsoft, Amazon and Google and much more supply the different service. In the cloud that users pay through the payment services. The providers provide a broad range of the services of the cloud for example messaging, social service for the computing, CRM and the content administration and identity. Computing of the cloud depend on the sharing of resources. With the use of internet enabled devices for computing cloud consent the task for the software application. The wide range of meaning affords under cloud computing. The advantage of sharing resources is that cloud computing can achieve stability and economies of scale. It is also defined in two 2 categories the first one is cloud computing services and the second one is computing of the cloud models of the development.

Analysis of recent research and publications. It permit you to exertion with several jobs with the same document. It merely overcomes the restriction of the traditional computer system. It provides more quickness because it has fast access. The services hosted are further classified into the 3 categories like service of the infrastructure (IAAS), Platform as service (PAAS) and lastly the Software as a Service (SAAS). The service of the cloud is used by the client on an hourly basis. It m to flexible like user have the services at the desired point of service and the time of the cloud that observe by the suppliers (Srivastava & Khan, 2018).

There are some threats of the security that exploit by the use of computing of the cloud. The first one is the botnets which will extend the spam and malware in 2010 almost 761 breaches of the data were inspect by the secret of European services and almost 63 per cent transpire in the companies with the fewer rate of 100 employees. And in the other year the 2011 the survey of the security system supplier Symantec corp. have 2000+ small enterprises that show 73 per cent breached by the attack of the cyber.

One of the main features of the computing cloud is paying as you set off with the computing model as resources. The model of the computing enables the organizations to purchase the computing power as many resources without the need for large reserves of the capital in the infrastructure of IT. The advantage of computing cloud is scalability and also raises the suppleness for a relatively fixed price (Son & Buyya, 2018). It is a new trend in the system if distributed. The user does not need to have facts and a level of expertise in infrastructure control for the clouds. It also endow with abstraction. The provider of the cloud provide the common online business application in which the admittance from servers from end to end web browsers (Malik, 2018).

Definition of the research goal. Computing of clouds provide the admittance to the collection of computational possessions like storage of network and services. These possessions can be resealed and prompt with the minor efforts of the management because they have a scalable and dynamic environment. As a service the cloud computing offers the computing infrastructure, development of the stage as well as software and web applications like the model of pay as you go for the customers. Services are measured as the infrastructures as services (IAAS), Platform as a Service (PAAS), and the service software (SAAS) in diligence. In the research, we deliberate the Assessing the Security of Cloud It Components according to the criterion of obtainable principles.

Statement of the main material of the research. Cloud computing Modules. Cloud hosting operation models are classified by the proprietorship, size and access. It tells us about the cloud nature. Many organizations willing to realize it since it will minimize the operation cost.

Cloud computing deployment models. Public Cloud. In this type of hosting of the cloud the services of the cloud are delivering over network that is untie for the public use. It is an actual representation hosting of the cloud. In this cloud, the model source grants the services and the infrastructure to diverse consumers. The patrons do have not to direct over the infrastructure location. Instead of the security level, there is no difference in the public or private clouds' structural design. The public clouds are suited for the businesses that require managing load and it is economical in the matter of the cost. The dealers provide the licensing strategy for individual user. In the public cloud the cost share by all the user. It is doing well for the customers economically. Public cloud amenities may be accessible for free like of a community cloud Google (Linthicum, 2017).

Private Cloud. Private cloud is known as the internal cloud and executes on the cloud-based secure environment and defends from the firewall governed by department of IT that fits into the exacting

corporate. It is consent to the authorized user and bestows the organization superior power over on data. It is hosted internally as well as externally and provides the resources from the distinct pool to private cloud services. In the type of cloud there is no need for the regulation of the security and limitation of the bandwidth that present in the environment of the public cloud. The providers and the clients have direct on the infrastructure security user access. Eucalyptus system is the example of it (Odun-Ayo, 2018).

Hybrid Cloud. It is an integrated kind of clouding and it constitutes an arrangement for two or more than it for the servers of the cloud that public, private or community cloud. It is proficient in crossing isolation and prevails over the restrictions of the supplier. It is not catalog into public, private or cloud computing. This user has been allowed raise the capacity and the capability by assimilation, aggregation and customization by an additional package of cloud or service (Rao et al., 2015). In a hybrid cloud, the capitals are supervised either in the house or by an outside provider.

Security Issues. The models of the cloud services that provide the different services to the users and it is also reveal the information that add the security and risk issue in the computing cloud system. IAAS is located in the bottom layer and provide the powerful function to the clouds. IAAS enable the hackers to execute attacks like forcing of the brute cracking, which want elevated power of computing. The virtual machine is supported by IAAS which offers the platform to the hackers to commence the attacks that entail a large numerical of the instances attacking. In the cloud model, the data loss is also a security risk. Data in the cloud is simply accessed by external hackers and unauthorized internal employees. The internal employee invests the data accidentally or intentionally. The hackers get admittance to database by using hacking techniques. Viruses and Trojan can upload to the system of the cloud and origin harm (Kaur & Singh, 2015). To implement the system it is important to recognize the cloud threats that have better mechanism for the security to protect the computing cloud environments (Polk et. al., 2017).

Malicious attacks. Security threats come about within or outside of the organizations. According to Cyber Security Watch Survey in the 2011, 21 percent of the cyber attacks were cause by the insiders. 33 percent of the respondents' consideration that the attacks of the insiders are more costly and damage to the organizations.

In general, inside attacks were unlawful contact with and use corporate information (63 %), and shoplifting of intellectual property (32%). The users of Malicious can add admittance to specific sensitive data and lead the data contravene Jathanna & Jagli (2017) has discovered malicious attacks by the unofficial client on the victims of the IP address and physical server. The malicious schedule can diverge from stealing of the data. In a cloud scenario, an insider can demolish the complete infrastructure or influence or steal data.

The system depend on the solely on the service of the cloud supplier for the security with the high level of the risk.

Theoretical aspects. According to (Landwehr, 2015), to guard a computer system the enterprise sensitivity of data requires that manipulated with the application. The security of policies and threat management is part of the security of the computer system. Specific rules set under the security policies like protecting the physical level, disaster recovery and containment, management backup, media preservation and destruction, training of the user, event logging policy use of cryptography and its parameters, system and resource access control, thwart infringement of regulation and beliefs etc. the management of the risk occupy the systematic and continuous appraisal of computer security levels.

The system and application classify intimidation and vulnerabilities for additional modification (Malik, 2018; Wulf et al., 2021).

As pierced in (Lindner et al., 2021), computing of the cloud conveys the option of infrastructure computing, software development and deployment podium, web applications as services, that are accessible to the customers like pay you as go model. In the industry, these services are submitted as Infrastructure as a Service (IAAS), Platform as a Service (PAAS), and Software as a Service (SAAS), respectively.

Studies like (Langum et al., 2021), confer the explanation to the troubles computing allocation resources of the clouds that base on a criteria of the numeral, maximal use of resources, minimizing the response time for the user or reduction of power consumption. The problem is generally define as problem of the knapsack problem, or a specific deviation (Vector Bin Packing), equally troubles are known to be NP-hard troubles (Lingham et al., 2019).

Security Metrics. These are the dimension from that supervise or balance the level of seclusion and security. It also computes the current status of the security in a environment of computing. By using

the metrics of the security we simply encourage transparency, decision making, inevitability and practical preparation. Metric is a purely classify as a standard of measurement that convolutes what is being measured like attribute and how it is measured like the unit of measure). The development of the dimension metric collection that has a pre established rule (Odun-Ayo et al., 2018). Permit the result interpretation. Additional the metrics are catalogued into primitive metrics or sub metrics (Pendleton et. al., 2016).

Any restrictions or controls connecting to the primitives are distinct in the measurement method. A metric can be expressed in one of the following behavior:

- # number is identify as the absolute value of any evaluate aspect;
- % percentage utter a percentage of an part measure the relation to the total number of elements
- Logic values articulate Yes or No for an occasion.

In cloud computing security and privacy is most argueto topic in the migration of information evaluate to the traditional system. In Foster & Gannon (2017) the authors classify the definition of the cloud computing and comparing the computational grids and clouds, all the way through the psychiatry of facet of architectures, models of business, management and security. The main problem is also present in computing cloud, that are the need of standardization with solutions of the cloud.

In the new technique the integration of the security policy with Security SLA are accessible by (Berkane et al., 2020; Yahya et al., 2017).

A formal form for the specification for abstract security properties offered by Rahulamathavan et al. (2015), and a formal loom to specification and rigorous analysis of security metrics is presented by Krautsevich et al. (2017). The methodology reviews of the new describes the multilevel security strategy to measure the quality of protection for the in order flow and the risks occupied in the problem of multilevel safety in computer networks is offered by (Berkane, 2020).

Methodology. The methodology for the management of the security in the computing of the cloud is based on the following components is: hierarchy of the security metrics; security index; allocation index; computing cloud management.

The security metrics oh hierarchies are derivative of the GQM methodology. The security index computes from the use of the hierarchy of the security metrics. It allocates the calculations of the index allocation. The scheduler for cloud management is use for the index allocation as an allusion to the allocation resource process. In the area of the management of security, the security metrics hierarchy offered a latest structure of visualization of the security information that collected from the environment of the cloud computing.

Security challenges of service model. In the year of 1970 the GQM Methodology the GQM technique (Goal Question Metric) Yahya et al. (2015) planned to budgeting for defect of the software from the qualitative and subjective state in empirical model, in which flaw measured alongside distinct purpose and objectives linked with the outcome. This technology elaborates the measurement model into three levels:

1. Conceptual level (goal) it is the main goal due to many reasons like quality of the models that have many views related to specific environment.
2. Operational level (question) a range of question that elaborates the form and concentrate on the objects discriminate the measurement of a definite object.
3. Quantitative level (metric) it is a metrics set that base on the representation that linked with each question in sort to answer it in a assessable approach.

The security metrics hierarchy is generating straight from the GQM classification development, the feature of the security plan to parallel to the security metrics. Table I prove the affiliation among the GQM methodology and the security metrics hierarchy (SMH).

Conclusions and prospects for further research. In the additional work, the security metrics calculate automatically from the environment but this course wants an expert who will set up the preventive values to ranges. In a simple way that is sculptor is dependent on the interference of the human. Another formulation to analyze the index of the protection that can be take from combining a weight rate for a piece metric, in this every weight value signifies the degree of consequence in the midst of metrics on the way to compile the set of metrics (Monsalve et al., 2015; Chaabane et al., 2019). The security metrics at the superior level are calculated as the weighted standard of the metrics level that instantly less it. Next, we preparation to broaden the association of the stratagem for the cloud computing

managing that presented by (AA and AR), in relative to transparency and performance, for a preface set of 180 metrics that take from the accepted method of GQM.

In this study, we anticipated management methodology for the computing of cloud by using the security criterion. We present the two articles for the resources of the management that deal with scalability and the granularity in the computing cloud. The security index transmits security level measured in the computing cloud environment for the diverse security features modeled hierarchy metrics. In addition, this approach leads to supporting hierarchical decomposition, that permits the model scalable and distributed.

References

1. Berkane, M. L., Boufaïda, M., & Bouzerzour, N. E. H. (2020). Modelling elastic scaling of cloud with energy-efficiency: Application to smart-university. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.11.025>
2. Daylami, N. (2015). The origin and construct of cloud computing. *International Journal of the Academic Business World*, 9(2), 39-45.
3. Foster, I., & Gannon, D. B. (2017). *Cloud Computing for Science and Engineering*. MIT Press.
4. Gashi, L. (2016). Cloud Computing and Enterprise Data Reliability. In *University for Business and Technology International Conference*. University for Business and Technology. <https://doi.org/10.33107/ubt-ic.2016.5>
5. Kaur, M., & Singh, H. (2015). A Review of Cloud Computing Security Issues. *International Journal of Education and Management Engineering*, 5(5), 32–41. <https://doi.org/10.5815/ijeme.2015.05.04>
6. Kaur, M., & Singh, H. (2015). A review of cloud computing security issues. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 8(3), 397. doi.org/10.14257/ijged.2015.8.5.21
7. Lingham, G., Mackey, D. A., Lucas, R., & Yazar, S. (2019). How does spending time outdoors protect against myopia? A review. *British Journal of Ophthalmology*, 104(5), 593–599. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314675>
8. Malik, M. I. (2018). Cloud computing-technologies. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 9(2), 379–384. <https://doi.org/10.26483/ijarcs.v9i2.5760>
9. Monsalve, J., Landwehr, A., & Taufer, M. (2015). Dynamic CPU Resource Allocation in Containerized Cloud Environments. In *2015 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/cluster.2015.99>
10. Odun-Ayo, I., Ananya, M., Agono, F., & Goddy-Worlu, R. (2018). Cloud Computing Architecture: A Critical Analysis. In *2018 18th International Conference on Computational Science and Applications (ICCSA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/iccsa.2018.8439638>
11. Pendleton, M., Garcia-Lebron, R., Cho, J. H., & Xu, S. (2016). A survey on systems security metrics. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 49(4), 1-35.
12. Polk, T., Souppaya, M., & Barker, W. C. (2017). Mitigating IoT-Based Automated Distributed Threats. <https://www.nccoe.nist.gov/sites/default/files/legacy-files/iot-ddos-project-description-draft.pdf>
13. Rao, T. V. N., Naveena, K., David, R., & Narayana, M. S. (2015). A new computing environment using hybrid cloud. *Journal of Information Sciences and Computing Technologies*, 3(1), 180-185.
14. Son, J., & Buyya, R. (2018). A taxonomy of software-defined networking (SDN)-enabled cloud computing. *ACM computing surveys (CSUR)*, 51(3), 1-36. <https://doi.org/10.1145/3190617>
15. Srivastava, P., & Khan, R. (2018). A Review Paper on Cloud Computing. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 8(6), 17. <https://doi.org/10.23956/ijarcsse.v8i6.711>
16. Wulf, F., Lindner, T., Westner, M., & Strahringer, S. (2021). IaaS, PaaS, or SaaS? The Why of Cloud Computing Delivery Model Selection – Vignettes on the Post-Adoption of Cloud Computing. In *Hawaii International Conference on System Sciences*. Hawaii International Conference on System Sciences. <https://doi.org/10.24251/hicss.2021.758>
17. Chaabane, M., Bouassida Rodriguez, I., Colomo-Palacios, R., Gaaloul, W., & Jmaiel, M. (2019). A modeling approach for Systems-of-Systems by adapting ISO/IEC/IEEE 42010 Standard evaluated by Goal-Question-Metric. *Science of Computer Programming*, 184, 102305. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2019.102305>
18. Yahya, F., Walters, R. J., & Wills, G. B. (2017). Using Goal-Question-Metric (GQM) Approach to Assess Security in Cloud Storage. In *Enterprise Security* (pp. 223–240). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54380-2_10
19. Jathanna, R., & Jagli, D. (2017). Cloud computing and security issues. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 7(6), 31-38.
20. Rahulamathavan, Y., Rajarajan, M., Rana, O. F., Awan, M. S., Burnap, P., & Das, S. K. (2015). Assessing Data Breach Risk in Cloud Systems. In *2015 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/cloudcom.2015.58>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-06>

УДК 514.181.6 + 514.182

Адашевська Ірина Юріївна к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-5447-5114>

Краєвська Олена Олександрівна к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8460-958X>

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ПРО ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ТОЧКИ ЗОРУ ПРИ ПОБУДОВІ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Адашевська І.Ю., Краєвська О.О. Про вибір оптимальної точки зору при побудові перспективних зображень. У статті розглянуто основні положення щодо побудови перспективних зображень з умов наочності та компактності креслення. Пояснюються складності таких побудов, пропонуються методи спрощення побудов, визначаються необхідні умови для таких робіт. Показано практичне застосування перспективних зображень, встановлена неможливість зменшення складності при виконанні побудов перспективних зображення. Тим самим, пояснюються причини можливого спрощення трудомісткості конструктора або архітектора при виконанні перспективних зображень з збереженням наочності, точності, яскравості. Наведено приклади перспективних зображень при виконанні креслень в умовах України.

Ключові слова: перспективні зображення, сонце, точка зору, центральна точка, практичне застосування.

Adashevskaya I., Kraievskaya O. On choosing the optimal point of view when constructing perspective images. The article considers the main provisions for constructing perspective images from the conditions of visibility and compactness of the drawing. The complexity of such constructions is explained, methods for simplifying constructions are proposed, and the necessary conditions for such work are determined. The practical application of perspective images is shown, and the impossibility of reducing the complexity of performing perspective image constructions is established. This explains the reasons for the possible simplification of the complexity of the designer or architect when performing perspective images while maintaining visibility, accuracy, and brightness. Examples of perspective images when performing drawings in the conditions of Ukraine are given.

Keywords: perspective images, Sun, point of view, center point, practical application.

Постановка проблеми. Незважаючи на широкий розвиток комп'ютерної техніки та широке застосування її для розв'язання питань проектування, появи вже декількох поколінь різноманітних комп'ютерних програм для побудови креслень, перспективні проєкції широко використовуються у машинобудуванні та архітектурі. Для їх опанування потрібно добре знати їхні властивості та правила їхньої побудови, раціонального розташування, з метою отримання найбільш вигідного зображення, та зменшення кількості різних побудов, тощо. На жаль, перспективні проєкції мають відповідні лише їм специфічні властивості, які ускладнюють побудову креслень та їхніх частин, та, відповідно, використання вказаних проєкцій на практиці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання щодо точних графічних побудов має велику історичну давнину, беручи свій початок ще в роботах Архімеда, Евкліда та інших вчених. З вичерпною повнотою і строгою науковою обґрунтованістю теорія точних метричних побудов була розроблена математиком Гаспаром Монжем, який у 1795 – 1799 рр. опублікував результати своєї двадцятирічної роботи під назвою «Нарисна геометрія» [1].

Серед імен, з якими пов'язаний розвиток наукової праці в області перспективних проєкцій, можна згадати видатних вітчизняних вчених: Н.М. Бескіна, О.О. Вольберга, Н.О. Глаголева, Є.А. Глазунова, А.І. Добрякова, Д.І. Каргіна, І.І. Котова, М.О. Риніна, С.О. Смирнова, М.Ф. Четверухіна, С.О. Соловійова [2-6]. В останні роки найбільш вдало ці питання в Україні досліджувала А. Г. Журило [6, 9-11].

У даний час теорія перспективи розроблена докладно і висвітлена в численних працях з нарисної геометрії. Питання ж практики побудови перспективних зображень висвітлені в літературі недостатньо. У практиці побудови перспективних зображень часто виникають значні труднощі, обумовлені не тільки недостатньою підготовкою виконавця, але і складністю окремих задач, що вимагають спеціального роз'яснення [6-8].

Положення ускладнюється ще й тому, що за останні 20..30 років явно недостатньо публікувалося дослідних робіт із практики побудови перспективних зображень та її основних законів. Ті ж роботи, що були опубліковані раніше, у більшості випадків розглядають найбільш відомі методи перспективних зображень, та розглядають найбільш нескладні задачі.

Невирішені частини проблеми. Метою статті є визначення причин широкого розповсюдження перспективних зображень, обґрунтування основних властивостей при їх побудові.

Мета дослідження. Продовжуючи дослідження, що розпочато в роботі [11], можна визначити, що перспективні зображення є цікавим та важливим розділом побудови об'ємних зображень.

Кресленики фасадів плану та розрізів споруд виконуються на основі правил ортогонального проектування, тобто кресленики є ортогональною проекцією цієї будівлі. Але це не дозволяє скласти ясного уявлення про те перспективне враження, яке складатиме вся будівля на глядача. Зазначений недолік усувається тим, що крім фасаду планів і розрізів, що пропонується до спорудження будівлі, виконується його перспективне зображення. Якщо це перспективне зображення має на меті визначити враження, яке складає на глядача будівля, що розглядається, то кресленик має бути виконаний з урахуванням положення, яке може прийняти глядач, щодо будівлі для його розгляду.

Тому при виконанні перспективного кресленика будівлі за його ортогональними проекціями не можна довільно вибирати зміну точки зору. Зазвичай лінії горизонту проходять по картині або малюнку вище лінії основи на відстані, що дорівнює висоті точки зору над предметною площиною. Отже, лінію горизонту для такого роду перспективних зображень слід проводити відповідно до зросту людини або точки спостереження, якщо будівля буде розглядатися з висоти будь-якого пагорба.

Щодо відстані точки зору до картини, треба заздалегідь помітити, що найчастіше глядач віддаляється від об'єкта на відстань більше в 2,5...3 рази більше за його розміри (хоча горизонтального, хоча б вертикального). Тому при побудові архітектурних перспектив раціонально вибирати відстань погляду до картинної площини у цих пропорціях. Насправді глядач не завжди може відійти від предмета, що розглядається, до зазначеної відстані, наприклад, коли поруч існують інші будівлі або складки місцевості, які не дозволяють відійти на бажану відстань і доводиться вибирати точку зору з можливих варіантів.

Отже, точка зору до картинної площини при виконанні перспективного зображення будівлі має бути обрана за можливим положенням. В іншому випадку, креслення, хоч і являтиме собою якусь картину, але не може вирішити питання про перспективне враження на глядача самої будівлі. Перспективний ефект будівлі можна поділити на лінійний, тобто контур цілої будівлі та її деталей, тінювих плям та існуючих будівель.

Перший і останній з них вирішується перспективно лінійними зображеннями, як самої будівлі, так і навколишніх будівель, задовольняючи зазначеним умовам вибору точки зору та лінії горизонту, а другий - визначаючи на перспективних зображеннях лінії власної та падаючих тіней. Іноді доводиться звертати увагу на ефект кольорових плям, що передбачає правильну передачу кольору фарби. При побудові лінії власної падаючої тіні в архітектурних креслениках малюнках виконаних в ортогональних проекціях зазвичай приймають паралельний напрямок світлових променів, що складають з горизонтальною площиною кут 45° . Пов'язано це з тим, що найбільші міста України – Київ, Харків, Львів, Полтава, Хмельницький розташовані по центру країни та поблизу 50° північної широти. У цьому випадку зумовлені лінії кольору тіні мало відрізняються від тих, які бачить око людини при сонячному природному освітленні близько полудня. Існуючою похибкою при цьому можна цілком знехтувати, істотно спрощуючи вирішення завдань, що зустрічаються. Такий саме напрям світлових променів може бути прийнято для креслеників і малюнків перспектив. Зазначені лінії тіней можуть бути визначені в перспективі при дотриманні загальноприйнятих прийомів побудови перспективних зображень, тобто спочатку визначають ці криві в ортогональних проекціях і потім будують їх перспективи. Проте, крім зазначеного загального способу побудови перспективних зображень існує ще спосіб точок сходу, при якому для паралельних світлових променів немає потреб зазначати попередньо їх лінію в ортогональних проекціях, а можна визначити їх в перспективі. Тому в більшості випадків цьому способу і надають перевагу.

Спосіб точок сходу для побудови ліній власних і падаючих тіней заснован на тому, що перспектива всіх паралельних світлових променів сходяться в деякій точці S , що лежить вище або нижче лінії горизонту hh' праворуч або зліва від центральної точки O (вертикальній проекції точки зору), а перспективи всіх горизонтальних проекцій цих світлових променів сходяться в точці, що лежить на лінії горизонту, причому обидві точки лежать на лінії, перпендикулярній до B лінії горизонту hh' . Якщо точка B є перспективою деякої точки B' , а точка A є перспективою точки A' , що є горизонтальною проекцією точки B' , то для побудови перспективи падаючої тіні через точки B' і s

провести пряму $B's$, а через точки A і s' провести пряму As' і визначити точку M їх перетину. Ця точка M і буде перспективою падаючої тіні від цієї точки на предметну площину.

Практично у всіх роботах з теорії автори пояснюють причини, з яких точка сходу s виявляється у будь-якому з чотирьох кутів, що утворюються перетином ліній hh' і ov' , а також із зазначенням, що при зменшенні кута нахилу паралельних світлових променів з горизонтальною площиною, відстань ss' зменшується, а при збільшенні кута збільшується. Але побудова цієї відстані при даному кутовому нахилі світлових променів до предметної (горизонтальної) площини не розглядається. Так само не розглядається і питання визначення величини відрізка os' , що залежить від кута нахилу ортогональних проєкцій даних світлових променів до поверхні картини. Тому на розсуд авторів вибирається відстань os' та ss . Основною вимогою є така: тіні повинні утворювати на картині гарну форму. Тому при побудові перспективи намагаються точки s і s' вибирати на полі кресленника, поєднуючи їх з ортогональною проєкцією, без урахування того, яким кутовим нахилам світлових променів та їх ортогональним проєкціям будуть відповідати ці точки. З метою визначення правила вибору на кресленнику відстані ss' , залежно від даного кутового нахилу паралельних світлових променів до горизонтальної площини, розглянемо рис. 1.

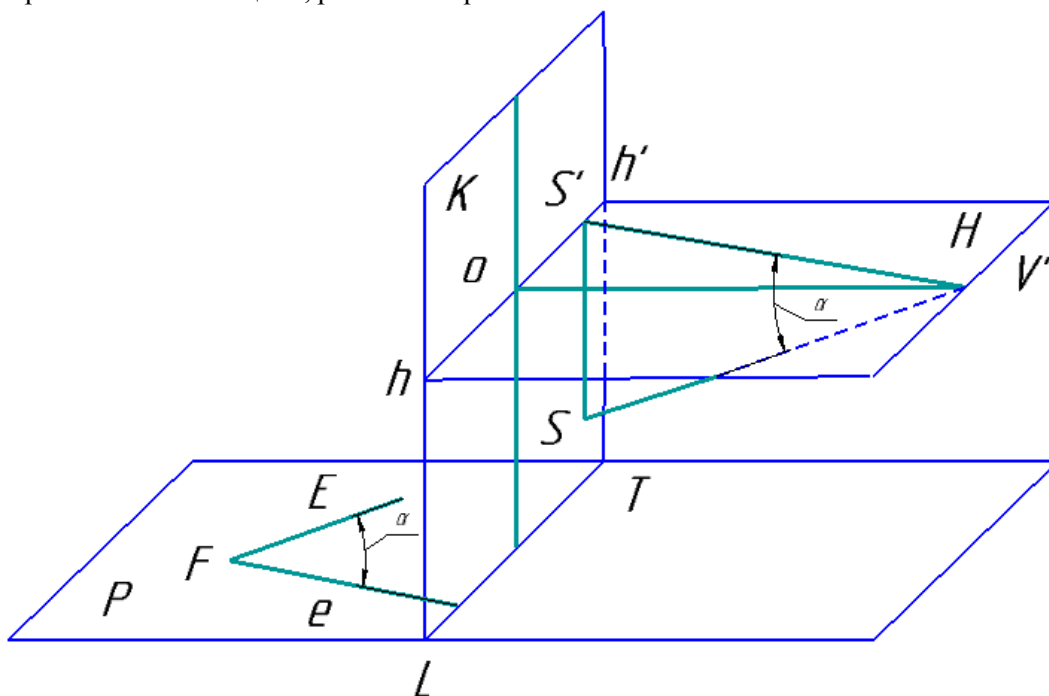


Рис. 1. Початок побудов.

Нехай чотирикутник K буде картинною площиною, а чотирикутник H - площиною горизонту, яка перетинається з першою площиною по лінії горизонту hh' . На площині H розташована точка погляду v' , а в площині K – вертикальна проєкція цієї точки чи центральна точка картини. Допустимо, чотирикутник P зображує предметну площину, яка з картинною площиною перетинається по лінії LT , що називається основою картини. Світловий промінь зобразимо лінією EF , а його ортогональну проєкцію, визначену на площині P , зобразимо лінією Fe , тоді кут нахилу світлового променя до горизонтальної площини визначиться кутом EFe .

Для визначення точки сходу перспективи лінії EF треба через точку погляду v' провести лінію $v's$, паралельну до неї і визначити точку s перетину проведеної лінії з картинною площиною K , а для визначення точки сходу s' для перспективи лінії Fe необхідно виконати таку ж побудову, отже кут $sv's'$ дорівнюватиме куту EFe , а величина відрізка ss' завжди залежатиме від величини цього кута. Якщо кут $sv's'$ відомий, то величина відрізка ss' може бути визначена з прямокутного трикутника $ss'v'$, коли буде визначена його сторона $s'v'$, а ця сторона визначається з прямокутного трикутника $ov's'$, в якому сторона ov' – відома, або задана, як відстань точки погляду до картини, а величина відрізка os' залежить від кута, який проєкція Fe світлового променя становить з площиною картини. Але, оскільки цей кут може вибиратися довільно, то, отже, можна довільно вибирати величину відрізка os .

Якщо прийняти кут $sv's' = 45^\circ$, то відрізок $s's = s'v'$, отже його величина буде визначитися побудовою одного прямокутного трикутника $os'v'$.

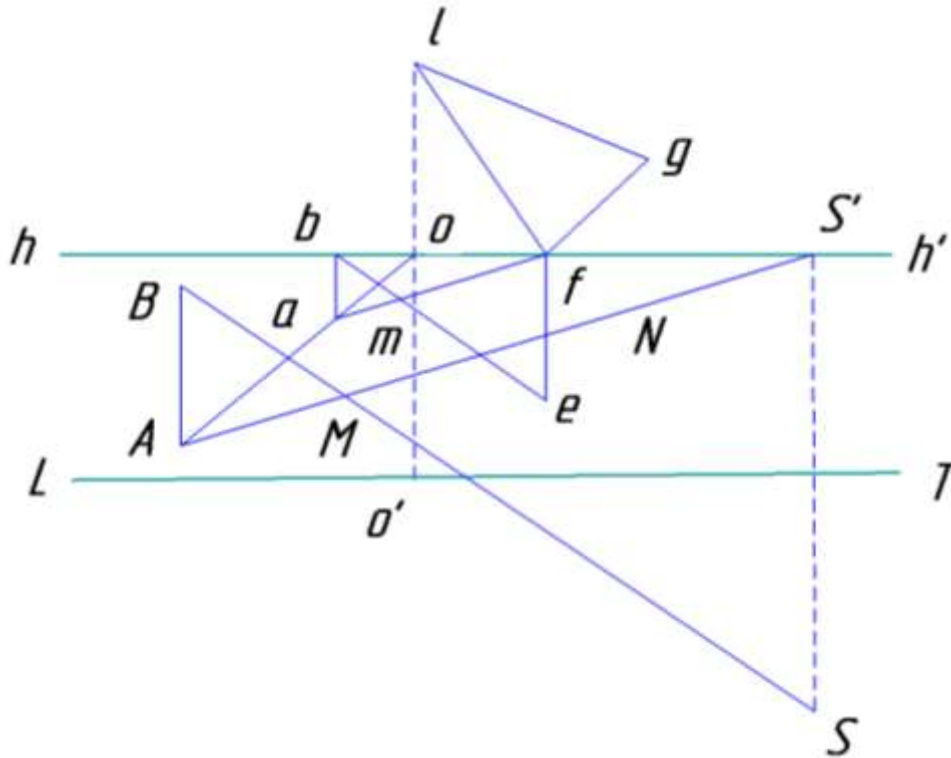


Рис. 3. Остаточні побудови

Якщо немає можливості побудувати на кресленнику увесь відрізок $s's$, то іншими словами, точка s не належить до поля креслення. Тому, відкладемо частину $s'e$ цього відрізка, наприклад, $1/3$ відрізка $s's$ для побудови в перспективі падаючої тіні на предметну площину від точки, яка задана перспективою B і перспективою A її ортогональної проекції на ту ж площину. Для цього відрізок AB ділимо на три рівні частини. Точку з першого поділу від т. A з'єднуємо з точкою e прямої ce і знаходимо т. M її перетину з лінією As' , яка і буде шуканою перспективою падаючої тіні.

Припустимо, що при побудові падаючої тіні від точки, заданої перспективою B і перспективою A її ортогональної проекції (рис. 3), в межах поля креслення не розташована і точка s' , а положення лінії As' визначено тільки відрізком AN . Припустимо, що відрізок ol дорівнює $1/3$ відстані точки погляду до картини, проведемо відрізок ao і розділимо його на три частини. Через точку a першого розподілу (найближчої до т. o) проводимо лінію of , паралельно лінії AN і визначаємо точку f її перетину з лінією горизонту, тоді відрізок of дорівнює $1/3$ відрізка os , а тому сторона fl прямокутного трикутника ofl буде дорівнювати $1/3$ сторони sv , тобто, визначимо $1/3$ відрізка $s's$.

Проведемо через точки f і a лінії fe і ab перпендикулярні до лінії горизонту hh' і відкладемо відрізок fe , рівний $1/3$ відрізка $s's$ і відрізок ab відрізка AB , а через точки b і e проведемо пряму be і визначимо точку m її перетину з лінією af , тоді відрізок am дорівнюватиме $1/3$ відрізка AM . Отже, відклавши відрізок AM , що дорівнює трьом відрізкам am , визначаємо т. M – шукану перспективу падаючої тіні.

Так як побудова падаючих тіней у перспективі при способі сходу точок заснована на побудові падаючої тіні від окремої точки на предметну площину, а побудова лінії власної тіні може бути виконана по побудованих падаючих тінях, то можна зробити наступні висновки.

- при побудові перспективи будівлі необхідно визначати відповідно до кожного випадку реальну величину відстані точки погляду як від картинної, так і до предметної площин.
 - Незалежно від значення прямолінійного відрізка, що виражає величину відстані точки погляду до картини (іншими словами, чи можливо відкласти його повну величину в полі креслення або тільки його частину), у будь-якому випадку можливо графічно визначити в перспективі як лінію падаючої тіні, так і лінію власної тіні на даному об'єкті за способом точок сходу - при даному кутовому нахилі паралельних світлових променів до площини горизонту та їх горизонтальних проекцій до картинної площини, навіть якщо точка сходу перспектив світлових променів або точка сходу перспектив їх горизонтальних проекцій і не уклалися в межах
- © Адашевська І.Ю., Краєвська О.О.

кресленника.

Висновок. Визначено, яким чином раціонально будувати перспективні зображення екстер'єру в умовах центральної України. Доведено, що при побудові перспективних зображень зберігається точність та наочність. Визначено, що найчастіше основною вимогою є така: тіні повинні утворювати на картині красиву форму. Запропоновано, яким чином слід обирати точку погляду, щоб максимально використовувати поле кресленника.

Список бібліографічного опису

1. Гордон В. О. Курс начертательной геометрии: учебник / В. О. Гордон, М. А. Семенов - Огиевский. – М.: Наука, 1976. – 432 с.
2. Ланюк А. В. Аксонометрические проекции: учебник / А. В. Ланюк. — М. : Гос. изд - во лит - ры по строительству и архитектуре, 1956. – 176 с.
3. Порсин Ю. Я. Аксонометрические изображения машиностроительных деталей: учебник / Ю. Я. Порсин. – М.- Л. : Машгиз, 1973. – 188 с.
4. Соловьев С. А. Перспектива / С. А. Соловьев.- М.: Просвещение, 1981. - 144с.
5. Соловьев С. Д. та інш. Черчение и перспектива / С. А. Соловьев. - М.: Высшая школа, 1982.
6. Журило А. Г. Теоретичні та практичні основи аксонометрії [Текст] / А. Г. Журило. Навч. посібник. Х.: НТУ «ХПІ». — 2010. - 196 с.
7. Петерсон В. Е. Перспектива / В. Е. Петерсон. М.:Просвещение, 1970. – 184 с.
8. Ратничин В. М. Перспектива / В. М. Ратничин. Киев, Вища школа, 1982.- 232 с.
9. Журило А. Г. Побудова точної перспективи кола, що належить предметній площині // Комп'ютерно - інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. — 2020. - №41. - С. 35-39. Видавництво Луцького національного технічного університету.
10. Журило А. Г. Построение перспективных изображений при отображении картинной плоскости / А. Г. Журило, Е. М. Сивак, И. Ю. Адашевская // Вестник НТУ «ХПИ». № 17, 2014. С. 73-79.
11. Журило А. Г. Побудова перспективи кола, що належить предметній площині / А. Г. Журило, Е. М. Сивак // Комп'ютерно - інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. — 2020. - №39. - С. 17-21. Видавництво Луцького національного технічного університету.

References

1. Gordon V. O. Kurs nachertatel'noj geometrii: uchebnik / V. O. Gordon, M. A. Semencov - Ogievskij. – М.: Nauka, 1976. – 432 s.
2. Lanyuk A. V. Aksonometricheskie proekcii: uchebnik / A. V. Lanyuk. — М. : Gos. izd - vo lit - ry po stroitel'stvu i arhitekture, 1956. – 176 s.
3. Porsin Yu. Ya. Aksonometricheskie izobrazheniya mashinostroitel'nyh detalej: uchebnik / Yu. Ya. Porsin. – М.- L. : Mashgiz, 1973. – 188 s.
4. Solov'ev S. A. Perspektiva / S. A. Solov'ev.- М.: Prosveshchenie, 1981. - 144s.
5. Solov'ev S. A. ta insh. Cherenie i perspektiva / S. A. Solov'ev. - М.: Vysshaya shkola, 1982.
6. Zhurilo A. G. Teoretichni ta praktichni osnovi aksonometrii [Tekst] / A. G. Zhurilo. Navch. posibnik. H.: NTU «HPI». — 2010. - 196 s.
7. Peterson V. E. Perspektiva / V. E. Peterson. М.:Prosveshchenie, 1970. – 184 s.
8. Ratnichin V. M. Perspektiva / V. M. Ratnichin. Kiev, Vishcha shkola, 1982.- 232 s.
9. Zhurilo A. G. Pobudova tochnoi perspektivy kola, shcho nalezhyt predmetnii ploskchyni // Komp'yuterno - integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobnictvo. — 2020. - №41. - S. 35-39. Vidavnictvo Luc'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu.
10. Zhurilo A. G. Postroenie perspektivnyh izobrazhenij pri otobrazhenii kartinnoj ploskosti / A. G. Zhurilo, E. M. Sivak, I. Yu. Adashevskaya // Vestnik NTU «HPI». № 17, 2014. S. 73-79.
11. Zhurilo A. G. Pobudova perspektivy kola, shcho nalezhyt predmetnii ploskchyni / A. G. Zhurilo, E. M. Sivak // Komp'yuterno - integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobnictvo. — 2020. - №36. - S. 17-21. Vidavnictvo Luc'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-07>

УДК 622.673

Бельмас Іван Васильович, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0003-2112-0303>

Білоус Олена Іванівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6398-8843>

Танцура Ганна Іванівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8672-1153>

Сай Олександр Валерійович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-5979-8737>

Гупало Юліана Юріївна, аспірант

<https://orcid.org/0000-0001-7906-5402>

Дніпровський державний технічний університет, м. Дніпро, Україна

ВПЛИВ ПОРИВУ ТРОСА НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН ГУМОТРОСОВОГО ВАНТОВОГО КАНАТУ

Бельмас І.В., Білоус О.І., Танцура Г.І., Сай О.В., Гупало Ю.Ю. Вплив пориву троса на напружений стан гумотросового вантового канату. Мета. Встановлення характеру впливу сил інерції при деформуванні вантового гумотросового канату з розривом суцільності його довільного троса. Побудова алгоритму визначення показників його напруженого стану. Методика. Побудова, розв'язання методами механіки шаруватих композитних матеріалів моделі напружено-деформованого стану вантового гумотросового канату з урахуванням сил інерції та розриву суцільності довільного троса. Результати. Алгоритм визначення напружено-деформованого стану вантового гумотросового канату довільної конструкції з ушкодженим тросом, з урахуванням інерційних сил. Наукова новизна. Встановлення характеру та механізму впливу сил інерції та розриву суцільності троса вантового гумотросового канату на його напружено-деформований стан. Практична значущість. Алгоритм врахує вплив сил інерції на напружений стан вантового гумотросового канату довільної конструкції з розривом довільного тросу. Його застосування дозволить обґрунтовано визначити мінімальні запаси міцності за умови безпечного гумотросового канату використання включно і в особливих умовах та у разі аварійної ситуації.

Ключові слова: деформування вантового гумотросового канату, розрив довільного тросу, математична модель.

Belmas I., Bilous O., Tantsura H., Sai O., Gupalo J. Impact of rope gust on the stress state of a rubber-rope cable. Objective. Determination of the influence of inertial forces at deformation of a cable-stayed rope-rubber with breaking the continuity of its arbitrary rope. Construction of an algorithm for determining the indicators of its stressed state. Methodology. A model of the stress-strain state of a rubber-mesh cable with taking into account the inertia force and continuity discontinuity of an arbitrary rope is constructed by the methods of mechanics of layered composite materials. Results. An algorithm for determining the stress-strain state of a rubber-tether cable of an arbitrary structure with a damaged rope, taking into account the inertial forces. Scientific novelty. Determination of the nature and mechanism of the effect of inertial forces and continuity discontinuity in the cable of a rubber-tether rope on its stress-strain state. Practical Significance. The algorithm takes into account the effect of inertia forces on the stress-strain state of a rubber-tire rope of arbitrary construction with the breaking of an arbitrary rope. Its application will make it possible to reasonably determine the minimum reserves of strength under the condition of safe humotrope rope use inclusive and in special conditions and in case of emergency situation.

Key words: deformation of rubber-rope cable, arbitrary rope breaking, mathematical model.

Вступ. Вантовий канат утримує будівельну конструкцію. Його міцність, разом з іншими чинниками, впливає на рівень безпеки експлуатації споруди. Гумотросовий вантовий канат складено з тросів з'єднаних гумовою, або іншою еластичною оболонкою. Вона захищає троси канату від агресивного впливу довкілля. Її маса, разом з масою тросів, зумовлює появу сил інерції. Троси в процесі експлуатації вантових канатів можуть руйнуватися.

Методика визначення напруженого стану канату з урахуванням його механічних характеристик, конструкції, сил інерції, можливого пориву довільного тросу відсутня. Відсутність можливості визначити напружений стан канату з урахуванням комплексу перерахованих чинників обмежує їх використання вантових канатів в капітальних спорудах. Розробка методики визначення напруженого стану такого канату дозволить розв'язати актуальну задачу підвищення безпеки використання гумотросових канатів в якості вант капітальних споруд.

Аналіз стану питання. Вантовий гумотросовий канат композитний. Розриви суцільності його складових ведуть до зменшення його тягової спроможності. Вплив розривів елементів армування гумотросових стрічок розглянуто в роботах [1 - 8]. В процесі використання вироби руйнуються. Можливість часткового відновлення експлуатаційних характеристик гумотросових тягових органів з ушкодженими тросами, шляхом заміни частини ушкодженого троса,

обґрунтована в роботах [9, 10]. Запропонований гумотросовий плоский пас передачі з кінематичним зв'язком [11], як і гумотросовий канат з ушкодженнями має ділянки з локальними перерозподілами сил поміж тяговими елементами [12]. На конвеєрі кінці стрічки з'єднують. В з'єднаннях троси мають розриви неперервності відповідно до схеми з'єднання [13]. В [14] досліджено напружений стан з'єднання, обґрунтовано методику вибору його конструкції. Вплив параметрів гумотросового канату на крутильну жорсткість тіла намотки підйомної установки з бобінним органом досліджено в статті [15].

В загальному випадку канат може мати довільну кількість тросів. Розподіл навантажень поміж ними залежить від характеру їх взаємодії. Для розробки математичної моделі канату приймемо ряд спрощень. Елементи армування жорсткі на згин та зсув. Їхня жорсткість на розтяг значно перевищує відповідний показник матеріалу еластичної оболонки. Маса частини каната з одним тросом одиничної довжини включає масу троса та масу оболонки, що припадає на трос. Оболонка сприймає лише напруження зсуву в напрямку паралельному тросам канату. Напруження в елементах канату прямо пропорційні деформаціям.

Нехай канат складено з паралельних, регулярно розташованих в декількох шарах (загальною кількістю N) тросів по M в них. Довжину каната приймемо рівною L . Вздовж каната спрямуємо вісь x . В перерізі $x=0$ канат приєднано до елемента одного елемента споруди, в перерізі $x=L$ – до іншого. В довільному перерізі $x=l$ ($0 < l < L$) трос за номером I шару J має в розрив неперервності. Визначимо напружено-деформований стан канату з урахуванням впливу його розподіленої маси.

Наведені спрощення відповідають наступній розрахунковій схемі. Система з M паралельних, жорстких на згин пружних тросів довжиною L розташованих в N шарах взаємодіють через пружне неперервне середовище в якому виникають дотичні напруження. Деформування відбувається в межах лінійного закону. Один трос за номером I розташованим в шарі J має розрив неперервності на відстані l ($0 < l < L$) від перерізу нерухомого закріплення тросів. На кожен трос діє розподілена по довжині сила інерції змінної інтенсивності. На канат діє сила P .

Виріжмо з канату один трос малої довжини dx разом з еластичною оболонкою що його оточує. Розглянемо систему силових факторів що діють вирізану частину вантового гумотросового канату (рис. 1).

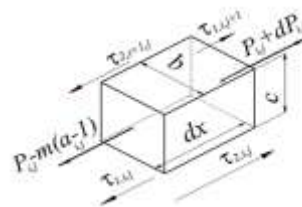


Рис. 1. Навантаження частини тросу канату малої довжини з гумовою оболонкою

Умова рівноваги тросу малої довжини dx

$$dP_{i,j} - dm(a_{i,j} - 1) + ((\tau_{1,i,j-1} - \tau_{1,i,j})b + (\tau_{2,i-1,j} - \tau_{2,i,j})c)dx = 0 \quad (1)$$

де P – сила розтягу троса; τ – усереднені дотичні напруження в гумі; b – крок розташування шарів в канат; c – крок розташування тросів в шарах; dm – маса частини тросу малої довжини з гумовою оболонкою; прискорення a .

Масу частини тросу малої довжини з оболонкою задамо наступним чином

$$dm = dx b c \rho, \quad (2)$$

де ρ – зведена питома маса тросу з гумовою оболонкою.

Дотичне напруження за законом Гука.

$$\tau_{1,i,j} = \frac{Gk_G}{h} (u_{i,j} - u_{i,j-1}), \quad (3)$$

$$\tau_{2,i,j} = \frac{Gk_G}{h} (u_{i,j} - u_{i-1,j}) \quad (4)$$

де G - модуль зсуву матеріалу гумової оболонки канату; k_G - коефіцієнт що враховує форму перерізу гумової оболонки h - мінімальна відстань поміж суміжними тросами шарів та в шарах канату.

Підставимо (2), (3), (4) в (1). Отримаємо.

$$\frac{dP_{i,j}}{dx} + b c \rho (a_i - 1) + \frac{G k_G}{h} (b(u_{i,j-1} - 2u_{i,j} + u_{i,j+1}) + c(u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j})) = 0 \quad (5)$$

За законом Гука.

$$P_{i,j} = E F \frac{du_{i,j}}{dx}, \quad (6)$$

де E, F - зведений модуль пружності на розтяг матеріалу тросів та площа їх поперечного перерізу.

Прискорення i,j -того троса є другою похідною по часу t від переміщення.

$$a_{i,j} = \frac{d^2 u_{i,j}}{dt^2} \quad (7)$$

Врахуємо Наведене. Запишемо систему однорідних рівнянь рівноваги тросів канату (1) в наступній формі.

$$\frac{d^2 u_{i,j}}{dx^2} + \frac{b t \rho}{E F} \frac{d^2 u_{i,j}}{dt^2} + \frac{G}{E F h} ((b(u_{i,j-1} - 2u_{i,j} + u_{i,j+1}) + c(u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j}))) = \frac{b c \rho}{E F} \quad (8)$$

Звернемо увагу. Рівняння системи (8) не прийнятні для крайніх тросів в шарах та шарів. Для них вони мають наступний вигляд.

$$\frac{d^2 u_1}{dx^2} + \frac{b t \rho}{E F} \frac{d^2 u_1}{dt^2} + \frac{b G}{E F h} (u_2 - u_1) = \frac{b c \rho}{E F} \quad (9)$$

$$\frac{d^2 u_M}{dx^2} + \frac{b t \rho}{E F} \frac{d^2 u_M}{dt^2} + \frac{b G}{h} (u_{M-1} - u_M) = \frac{b c \rho}{E F} \quad (10)$$

Будемо вважати що закон переміщення троса в часі може бути заданий сумою декількох (K) членів ряду Фур'є. Рішення системи рівнянь (8) - (10) в переміщеннях будемо шукати як суму рішення однорідного та окремого рішення. Рішення однорідної системи рівнянь (7) - (9).

$$u_{i,j}^* = \sum_{k=0}^K C_k \cos(\alpha_k t) \left[\sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} (A_{m,n,k} e^{\beta_{m,n,k} x} + B_{m,n,k} e^{-\beta_{m,n,k} x}) \times \cos(\mu_m (i-0,5)) \cos(\chi_n (j-0,5)) + \sum_{m=1}^{M-1} (A_{m,m,k} e^{\beta_{m,m,k} x} + B_{m,m,k} e^{-\beta_{m,m,k} x}) \cos(\mu_m (i-0,5)) + \sum_{n=1}^{N-1} (A_{n,n,k} e^{\beta_{n,n,k} x} - B_{n,n,k} e^{-\beta_{n,n,k} x}) \cos(\chi_n (j-0,5)) \right] + \frac{P}{EF} x + \delta \quad (11)$$

де $A_{m,n,k}$, $B_{m,n,k}$, $A_{n,n,k}$, μ_m ; χ_n - невідомі величини; $\alpha_k = \frac{k\pi}{T}$, $k=1, 2, \dots; 2T$ - період зміни характеру навантаження канату; M - кількість тросів в канаті; P - сила навантаження канату віднесена до кількості тросів в ньому; δ - переміщення канату як жорсткого тіла.

$$\beta_{m,n,k} = \pm \sqrt{2 \frac{G b}{h E F} (2 - \cos(\mu_m) - \cos(\chi_n)) - \frac{b c \rho}{E F} \alpha_k^2}$$

$$\beta_{m,m,k} = \pm \sqrt{2 \frac{G b}{h E F} (1 - \cos(\mu_m)) - \frac{b c \rho}{E F} \alpha_k^2}, \quad \mu_m = \frac{\pi m}{M} \quad (1 \leq m \leq M)$$

$$\chi_n = \frac{\pi n}{N} \quad (1 \leq n \leq N) \quad \beta_{n,n,k} = \pm \sqrt{2 \frac{G b}{h E F} (1 - \cos(\chi_n)) - \frac{b c \rho}{E F} \alpha_k^2}$$

Відзначимо, урахування прискорення призводить до зменшення абсолютних значень характеристичних показників $\beta_{m,n,k}$, $\beta_{m,m,k}$, $\beta_{n,n,k}$. Вказане призводить до зростання вздовж канату зон локального збурення напруженого стану тому що добуток характеристичних показників є аргументом експонент у виразі переміщень тросів (11). Наслідком останнього є і те що зона збурення напружено-деформованого стану багатотросового гумотросового канату, зумовлена включно і поривом його троса, пропорційна корню квадратному з відношення жорсткостей троса канату на розтяг та гумових поміжтросових прошарків на зсув.

Окреме рішення системи (7) - (9) не залежить від номера троса.

$$u^{**} = \frac{b c \rho x^2}{2 E F} \quad (12)$$

Рішення в переміщеннях

$$u_{i,j} = u_{i,j}^* + u_{i,j}^{**} \quad (13)$$

Скористаємося законом Гука (6). Отримаємо вираз для визначення внутрішніх сил навантаження тросів канату.

$$P_{i,j}^* = EF \sum_{k=0}^K \times \left[\begin{aligned} & C_k \cos(\alpha_k t) \times \\ & \left(\sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} (A_{m,n,k} e^{\beta_{m,n,k} x} - B_{m,n,k} e^{-\beta_{m,n,k} x}) \beta_{m,n,k} \times \right. \\ & \quad \left. + \cos(\mu_m (i-0,5)) \cos(\chi_n (j-0,5)) \right) \\ & + \sum_{m=1}^{M-1} (A_{m,m,k} e^{\beta_{m,m,k} x} - B_{m,m,k} e^{-\beta_{m,m,k} x}) \beta_{m,m,k} \times \\ & \quad \left. + \cos(\mu_m (i-0,5)) \right) \\ & \left. + \sum_{n=1}^{N-1} (A_{n,n,k} e^{\beta_{n,n,k} x} - B_{n,n,k} e^{-\beta_{n,n,k} x}) \beta_{n,n,k} \cos(\chi_n (j-0,5)) \right] + \\ & + P + b c \rho x \quad (14) \end{aligned}$$

Згідно поставленої задачі, в канаті в перерізі $x=l$ ушкоджено I, J -тий трос. Він локально порушує конструкцію канату, зокрема умову нерозривності його тросів. Рішення (13) та (14) не прийнятні для такого канату. З метою розв'язання задачі, умовно, площиною нормальною до осі канату, розріжемо його на дві частини. В кожній з цих частин троси не мають розривів неперервності. Для них прийнятні вказані форми рішень. Частинам надамо номери 1 та 2. Їх помістимо в нижні індекси величин, сталих, що стосуються відповідних частин. З метою спрощення виразів, прийемо, що в перерізах початку ($x=0$) та його кінця ($x=L$) лінії розташування

центрів тросів прямі до навантаження залишаються прямими і після навантаження канату. В такому випадку маємо.

$$\begin{aligned} A_{1,m,n,k} &= -B_{1,m,n,k}, \quad Am_{1,m,k} = -Bm_{1,m,k}, \quad An_{1,n,k} = -Bn_{1,n,k}, \\ A_{2,m,n,k} &= -B_{2,m,n,k} e^{-2\beta_{m,n,k}L}, \quad Am_{1,m,k} = -Bm_{1,m,k} e^{-2\beta_{m,k}L}, \quad An_{1,n,k} = -Bn_{1,n,k} e^{-2\beta_{n,k}L}. \end{aligned} \quad (15)$$

Внутрішні сили навантаження тросів та їх переміщень набудуть наступних виглядів.

$$p_{\eta,i,j} = EF \sum_{k=0}^K \left[\begin{aligned} &C_k \cos(\alpha_k t) \times \\ &\left(\sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} B_{\eta,m,n,k} \left(e^{\beta_{m,n,k}x} + e^{-\beta_{m,n,k}x} \right) \beta_{m,n,k} \times \right. \\ &\quad \left. \times \cos(\mu_m(i-0,5)) \cos(\chi_n(j-0,5)) \right) + \\ &+ \sum_{m=1}^{M-1} Bm_{\eta,m,k} \left(e^{\beta_{m,k}x} + e^{-\beta_{m,k}x} \right) \beta_{m,k} \cos(\mu_m(i-0,5)) + \\ &\left. \sum_{n=1}^{N-1} Bn_{\eta,n,k} \left(e^{\beta_{n,k}x} + e^{-\beta_{n,k}x} \right) \beta_{n,k} \cos(\chi_n(j-0,5)) \right) \end{aligned} \right] + \\ + P + b c \rho x \quad (16)$$

$$u_{\eta,i,j} = \sum_{k=0}^K C_k \cos(\alpha_k t) \left[\begin{aligned} &\sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} B_{\eta,m,n,k} \left(e^{\beta_{m,n,k}x} - e^{-\beta_{m,n,k}x} \right) \times \\ &\quad \times \cos(\mu_m(i-0,5)) \cos(\chi_n(j-0,5)) \right) + \\ &+ \sum_{m=1}^{M-1} Bm_{\eta,m,k} \left(e^{\beta_{m,k}x} - e^{-\beta_{m,k}x} \right) \cos(\mu_m(i-0,5)) + \\ &\left. \sum_{n=1}^{N-1} Bn_{\eta,n,k} \left(e^{\beta_{n,k}x} - e^{-\beta_{n,k}x} \right) \cos(\chi_n(j-0,5)) \right) \end{aligned} \right] + \\ + \frac{P}{EF} x + \delta_{\eta} + \frac{b c \rho x^2}{2EF} \quad (17)$$

де η – номер ділянки.

Умовне розділення канату на частини вимагає виконання умов сумісності деформування цих частин. Зокрема, рівності сил навантаження тросів в перерізі $x=l$.

$$P_{1,\bar{z},j} = P_{2,\bar{z},j} \quad (18)$$

З цієї умови маємо співвідношення коефіцієнтів у виразах показників напружено-деформованого стану канату.

$$\begin{aligned} B_{1,m,n,k} &= B_{2,m,n,k} \frac{e^{-\beta_{m,n,k}l} + e^{\beta_{m,n,k}(l-2L)}}{e^{-\beta_{m,n,k}l} + e^{\beta_{m,n,k}l}} \\ Bm_{1,m,k} &= Bm_{2,m,k} \frac{e^{-\beta_{m,k}l} + e^{\beta_{m,k}(l-2L)}}{e^{-\beta_{m,k}l} + e^{\beta_{m,k}l}} \\ Bn_{1,n,k} &= Bn_{2,n,k} \frac{e^{-\beta_{n,k}l} + e^{\beta_{n,k}(l-2L)}}{e^{-\beta_{n,k}l} + e^{\beta_{n,k}l}} \end{aligned} \quad (19)$$

Переміщення тросів частин з урахуванням (19).

$$u_{1,i,j} = \sum_{k=0}^K C_k \cos(\alpha_k t) \left[\sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} B_{2,m,n,k} \frac{e^{-\beta_{m,n,k}l} + e^{\beta_{m,n,k}(l-2L)}}{e^{-\beta_{m,n,k}l} + e^{\beta_{m,n,k}l}} (e^{\beta_{m,n,k}x} - e^{-\beta_{m,n,k}x}) \times \right. \\ \left. \times \cos(\mu_m(i-0,5)) \cos(\chi_n(j-0,5)) + \sum_{m=1}^{M-1} B_{m_{2,m,k}} \frac{e^{-\beta_{m,k}l} + e^{\beta_{m,k}(l-2L)}}{e^{-\beta_{m,k}l} + e^{\beta_{m,k}l}} (e^{\beta_{m,k}x} - e^{-\beta_{m,k}x}) \times \right. \\ \left. \times \cos(\mu_m(i-0,5)) + \sum_{n=1}^{N-1} B_{n_{2,n,k}} \frac{e^{-\beta_{n,k}l} + e^{\beta_{n,k}(l-2L)}}{e^{-\beta_{n,k}l} + e^{\beta_{n,k}l}} (e^{\beta_{n,k}x} - e^{-\beta_{n,k}x}) \times \right. \\ \left. \times \cos(\chi_n(j-0,5)) \right] + \frac{P + b c \rho l}{E F} + \delta_1 \quad (20)$$

$$u_{2,i,j} = \sum_{k=0}^K C_k \cos(\alpha_k t) \left[\sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} B_{2,m,n,k} (e^{\beta_{m,n,k}x} - e^{-\beta_{m,n,k}x}) \times \right. \\ \left. \times \cos(\mu_m(i-0,5)) \cos(\chi_n(j-0,5)) + \sum_{m=1}^{M-1} B_{m_{2,m,k}} (e^{\beta_{m,k}x} - e^{-\beta_{m,k}x}) \cos(\mu_m(i-0,5)) + \right. \\ \left. \sum_{n=1}^{N-1} B_{n_{2,n,k}} (e^{\beta_{n,k}x} - e^{-\beta_{n,k}x}) \cos(\chi_n(j-0,5)) \right] + \frac{P + b c \rho l}{E F} + \delta_2 \quad (21)$$

Розрив суцільності троса призводить до появи зазору поміж утвореними розривом його кінцями. Максимальне значення зазору позначимо як U_0 . Запишемо різницю переміщень кінців тросів в часі, в перерізі $x=l$.

$$u_{1,i,j} - u_{2,i,j} = U_0 \sum_{k=0}^K C_k \cos(\alpha_k t) \begin{cases} 1 & i = I \wedge j = J \\ 0 & i \neq I \vee j \neq J \end{cases} \quad (22)$$

Задамо різницю переміщень рядом Фур'є на дискретних осях координат – номерів тросів та шарів їх розташування. Вказане дозволить визначити останні невідомі сталі як величини лінійно залежну від максимального значення зазору.

$$B_{2,m,n,k} = U_0 \frac{4e^{\beta_{m,n,k}l} \cos(\mu_m(I-0,5)) \cos(\chi_n(J-0,5))}{M N \left(-\frac{1 + e^{2\beta_{m,n,k}(l-L)}}{\text{th}(\beta_{m,n,k}l)} + e^{2\beta_{m,n,k}(l-L)} - 1 \right)}, \quad (23)$$

$$B_{m_{2,m,k}} = U_0 \frac{2 \cos(\mu_m(I-0,5))}{M N \left(-\frac{1 + e^{2\beta_{m,k}(l-L)}}{\text{th}(\beta_{m,k}l)} + e^{2\beta_{m,k}(l-L)} - 1 \right)}, \quad (24)$$

$$Bn_{2,n,k} = U_0 \frac{2 \cos(\mu_m (I - 0,5))}{M N \left(-\frac{1 + e^{2\beta n_{n,k}(l-L)}}{\operatorname{th}(\beta n_{n,k} l)} + e^{2\beta n_{n,k}(l-L)} - 1 \right)}, \quad (25)$$

$$\delta_2 = \delta_1 - \frac{U_0}{M N} \sum_{k=0}^K C_k \cos(\alpha_k t) \quad (26)$$

Прийmemo що переміщення першої частини канату як жорсткого тіла відсутні. Тоді $\delta_1=0$. Друга частина, відповідно і її кінець – переріз $x=L$, змінює своє розташування в часі (26).

Розрив I, J - того троса зменшує до нуля силу його розтягу в перерізі $x=l$. З виразу для переміщення тросів другої частини (21), з урахуванням значень невідомих сталих (15), (19), (23) - (25) маємо величину зазору що утворюється в часі поміж кінцями троса в перерізі розриву його непервності.

$$U_0(t) = \frac{\left(\sum_{k=0}^K C_k \cos(\alpha_k t) + b c \rho l - P \right) M N}{\left(\begin{aligned} & \cos^2(\mu_m (I - 0,5)) \times \\ & 2 \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{\cos^2(\chi_n (J - 0,5)) \beta_{m,n,k}}{\operatorname{cth}(\beta_{m,n,k} l) - \frac{e^{2\beta_{m,n,k}(l-L)} - 1}{e^{2\beta_{m,n,k}(l-L)} + 1}} + \\ & + \sum_{m=1}^{M-1} \frac{\cos^2(\mu_m (I - 0,5)) \beta_{m,k}}{\operatorname{cth}(\beta_{m,k} l) - \frac{e^{2\beta_{m,k}(l-L)} - 1}{e^{2\beta_{m,k}(l-L)} + 1}} + \\ & + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{\cos^2(\chi_n (J - 0,5)) \beta_{n,k}}{\operatorname{cth}(\beta_{n,k} l) - \frac{e^{2\beta_{n,k}(l-L)} - 1}{e^{2\beta_{n,k}(l-L)} + 1}} \end{aligned} \right)} \quad (27)$$

Отримані вирази та послідовність їх застосування становлять собою алгоритм визначення напружено-деформованого стану вантового гумотросового канату з ушкодженим тросом та динамічним його навантаженням.

Розглянемо приклади ушкодження крайнього та середнього троса вантового канату з двадцяти п'яти тросів довжиною 10 м зі змінюваним в часі зазором поміж кінцями ушкодженого троса з періодом 2 секунди. За цей період 0,2 секунди зазор має максимальне значення. Решта часу зазор поміж кінцями тросів відсутній. Вказане супроводжується зміною розподілу внутрішніх сил навантаження тросів. Перерізи канату ($x=0, x=L$) не деформуються. Трос канату ушкоджено в перерізі $x=5$ м. Діаметр тросів канату $d=8,25$ мм, товщина канату $b=16,5$ мм, крок розташування тросів $c=1,2d$, питома маса троса з гумою навколо нього $\rho=52$ /мм³; модуль зсуву гуми $G=5$ МПа, коефіцієнт форми гуми $k_G=1$.

Характер навантаження канату в часі, відповідно прийнятої форми розв'язку однорідної системи рівнянь (7) - (9) в переміщеннях (10) задамо сумою добутків косинусів на коефіцієнти – рядом Фур'є для симетричної функції циклічного навантаження канату силою у МН з періодом у 2 секунди ($T=2$ секунди). Зовнішнє навантаження діє на канат на протязі 0,2 сек. Кількість членів суми прийmemo рівною десяти.

$$p(t) = \sum_{k=1}^{10} C_k \cos(\alpha_k t) \quad (28)$$

де C_k - коефіцієнти ряду Фур'є розкладу функції прийнятої функції.

Прийнята $(p(t))$ та врахована функція Фур'є наведені на рисунку 2.

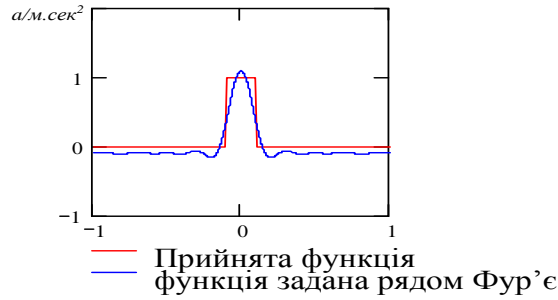


Рис. 2. Графік прискорення канату за період часу $-T \leq t \leq T$

З використанням отриманого алгоритму визначали переміщення тросів та внутрішні сили їх навантаження. На рисунку 3 показані переміщення та внутрішні сили навантаження тросів першої частини канату в перерізі ушкодження кутового троса ($I=J=1$) для трьох випадків значення часу ($t=0$; $t=0,1$ сек.; $t=0,3$ сек.).

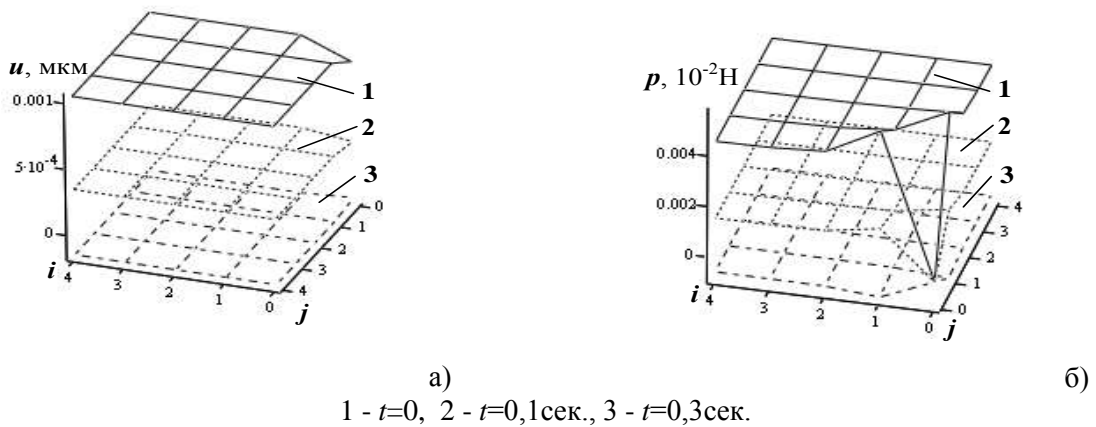


Рис. 3. Переміщення та внутрішні сили навантаження тросів в перерізі ушкодження кутового троса

Наведені графіки свідчать про те переріз канату переміщається змінюється перерозподіл сил поміж тросами в процесі динамічної зміни зазору поміж кінцями ушкодженого троса. При цьому відношення сили навантаження найбільш навантаженого троса до середньої сили їх навантаження (коефіцієнт концентрації напружень r_1) становить 1,41. Переміщення перерізів канату спрямована вздовж його осі. Збільшення значення координати розташування пориву супроводжується зростанням переміщень перерізу. Особливо зауважимо що від'ємні переміщення (поверхня 3) зумовлені від'ємними значеннями прискорення для $t=0,3$ сек (див. рис. 2) що отримані коли безмежне значення членів суми обмежено першими десятима складовими.

На рисунку 4 наведені аналогічні графіки для випадку ушкодження центрального троса канату.

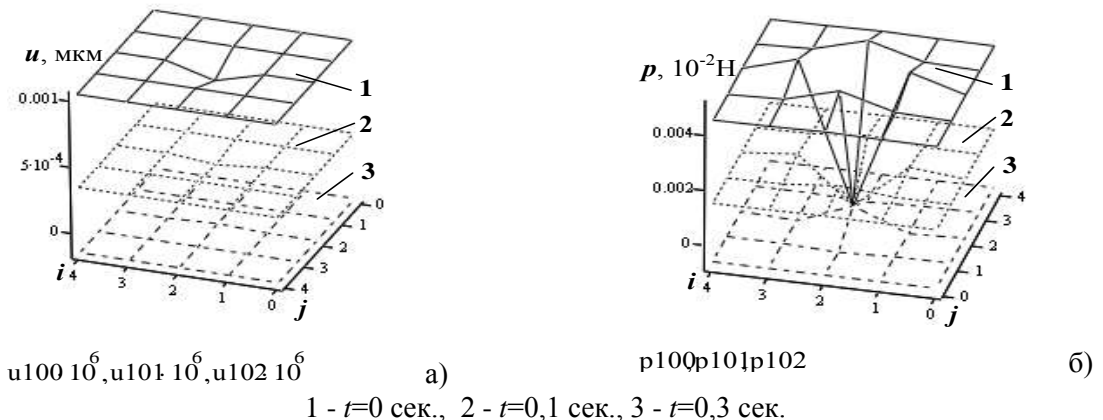


Рис. 4. Переміщення та внутрішні сили навантаження тросів в перерізі ушкодження середнього троса

Характери переміщень та навантажень тросів збігаються з попереднім випадком. Різниця полягає в місці розташування ушкодженого троса та значеннях сил навантаження суміжних тросів. Коефіцієнт концентрації напружень менший. Він (r_2) становить 1.22. Фізично вказане є наслідком того що зменшення навантаження до нуля кінців ушкодженого троса компенсується, практично, лише суміжними тросами. В першому випадку їх було два, в останньому – чотири. Подвійне зростання кількості суміжних тросів призвело, практично до вдвічі меншого зростання сил в останньому випадку. На рисунку 5 показана залежність коефіцієнтів концентрації напружень від кількості тросів в канаті у випадку рівності кількості тросів в ряду (M) та кількості рядів (N).

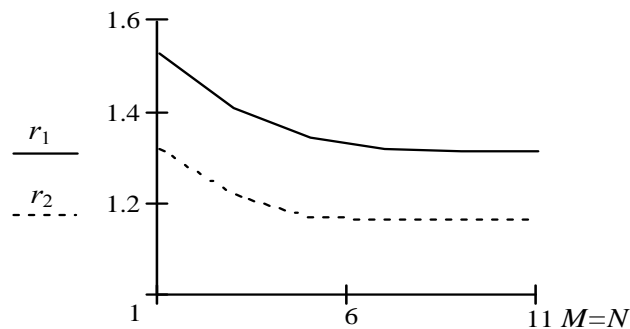


Рис. 5. Залежність коефіцієнтів концентрації напружень від кількості тросів в канаті для випадків ушкоджень кутових (r_1) та середніх тросів (r_2)

Отримані графіки показують що коефіцієнти концентрації напружень спадні. Їх значення залежать від кількості тросів в канаті коли кількість рядів та тросів в рядах не менша за вісім.

Висновки. Відомі дослідження не дозволяють урахувати вплив характеру зміни зовнішнього навантаження на напружено-деформований стан гумо-тросового канату з ушкодженим довільним тросом.

Розроблена модель та алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану гумотросового канату довільної конструкції, з урахуванням зміни його зовнішнього навантаження в часі та за наявності в ньому розриву суцільності довільно розташованого троса.

Встановлено наступне. Розрив троса супроводжується зростанням навантажень, практично, лише суміжних тросів. Значення максимальних сил навантаження тросів залежить від розташування ушкодженого троса в канаті. Вони найбільші у разі пориву кутового троса. Найменші - у разі пориву середнього троса. Їх значення залежать від кількості тросів в канаті коли кількість рядів та тросів в рядах не менша за вісім. Максимальні внутрішні зусилля навантаження тросів зменшуються зі зростанням кількості тросів до 1,31, у разі пориву кутового троса, та до 1,16 - середнього. Максимальні сили, що виникають у разі ушкодження інших тросів, лежать в межах наведених величин. Зона збурення напружено-деформованого стану багат шарового гумотросового канату зумовлена включно і поривом троса пропорційна корню квадратному з відношення жорсткостей троса канату на розтяг та гумових поміж тросових прошарків на зсув. За динамічного навантаження довжина зони збурення зростає. Динамічний характер прикладеного навантаження призводить до зростання максимальних сил, відносних переміщень тросів не менш ніж на 8%. Наявність динамічної складової супроводжується зростанням зони локального перерозподілу напружень в канаті з ушкодженням його троса.

Розроблений алгоритм дозволяє визначати напружений стан вантового канату з ушкодженим тросом у разі навантаження канату змінним зусиллям та підвищити безпеку його використання в капітальних спорудах з довгим терміном використання. З метою збільшення терміну використання канату його оболонку доцільно виготовити з еластичного матеріалу механічні властивості якого не суттєво змінюються в часі, наприклад, з поліуретану. Застосування алгоритму розрахунку напружено-деформованого стану канату дозволить обґрунтовано визначити мінімальні запаси міцності за умови безпечного використання вантового гумотросового канату, включно, і в особливих умовах та і у разі аварійної ситуації.

Математична модель вантового канату побудована методами механіки композитних матеріалів. Отримані результати не суперечать встановленим раніше закономірностям, вони поглиблюють розуміння механізму взаємодії тягових складових в гумотросових канатах.

Розв'язана вона аналітично в замкненому вигляді. Результати можна вважати достатньо достовірними.

Список бібліографічного опису

1. Волоховский В.Ю., Радин В.П., Рудяк М.Б. Концентрация усилий в тросах и несущая способность резиновых конвейерных лент с повреждениями Вестник МЭИ №5, 2010, стр. 5-12.
2. Бельмас И.В. Напряженное состояние резиновой ленты при произвольном повреждении тросов Проблемы прочности и надежности машин 1993, №6 с. 45-48
3. Колосов Л.В., Бельмас И.В. Исследование прочностных характеристик образцов поврежденных резиновых лент. Известия вузов. Горный журнал. - 1990, N 8, с.81-84.
4. Колосов Л.В., Бельмас И.В. Экспериментальные исследования агрегатной прочности РТЛ. Известия вузов. Горный журнал. - 1991, N 1, с.85-87.
5. Ропай В.А. Шахтные уравнивающие канаты: монография / А.В. Ропай. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2016. – 263 с.
6. Belmas I., Kolosov D. The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding. Technical and Geoinformational Systems in Mining. Taylor & Francis Group, London, UK 2011c. 211-214
7. Belmas I., Kolosov D., Kolosov O., Onvshchenko S. Stress-strain state of a conveyor belt with cables of different rigidity and their breakages (Напружено-деформований стан конвеєрної стрічки з тросами різної жорсткості та з ушкодженнями). Fundamental and applied researches in practice of leading scientific schools Volume 26, Number 2, 2018 p 231-236
8. І.В.Бельмас, Д.Л.Колосов, Т.О.Чечель, О.М.Воробйова, О.М.Черниш. Вплив зміни в часі механічних властивостей гуми на напружений стан гумотросового тягового органа з ушкодженим тросом. Збірник наукових праць національного гірничого університету 2020 №61. с. 149-155
9. Колосов Д.Л., Білоус О.І., Гуров. І.А. Міцність відновленої гумотросової стрічки. Математичні проблеми технічної механіки та прикладної математики – 2019. Міжнародна наукова конференція. Матеріали конференції Дніпро, Кам'янське -2019 – с. 126-127.
10. Belmas I., Kolosov D., Onyshchenk S., Bobylova I. Partial restoration of tractive ability of rubber-cable tractive element with damaged cable base (Часткове відновлення тягової здатності гумотросового тягового елемента з пошкодженою тросовою основою) Збірник наукових праць національного гірничого університету 2020 №60. с. 196-206
11. Бельмас І.В., Білоус О.І., Танцура Г.І., Бобильова І.Т. Зірочка. Патент № 117954 України F16H 55/17 (2006.01), F16H 55/12 (2006.01), F16H 55/16 (2006.01), F16H 55/30 (2006.01), F16H 7/02 (2006.01)). Заявник та патентовласник ДДТУ № а201609889, заявл. 26.09.2016 25.10.2018, бюл. № 20/2018
12. Бельмас І.В., Д.Л.Колосов, О.І.Білоус, Бобильова І.Т. Дослідження напруженого стану гнучкого тягового органу з кінематичним зв'язком. Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні РТМЕ 2019» 4-8 лютого 2019р. Івано-Франківськ – Яремче, 2019 - с. 72-73.
13. Колосов Л.В., Бельмас И.В. Анализ схем стыковых соединений резиновых лент. Известия вузов. Горный журнал. - 1990, N 2, с.83-85.
14. Танцура Г.І. Гнучкі тягові органи. Стикові з'єднання конвеєрних стрічок. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2010 - 127 с.
15. Zabolotnyi, K.S., Panchenko, O.V., Zhupiiiev, O.L., & Polushyna, M.V. (2018). Influence of parameters of a rubber-rope cable on the torsional stiffness of the body of the winding (Вплив параметрів гумотросового канату на крутильну жорсткість тіла намотки). Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. (5), 54–63. DOI: 10.29202/nvngu/2018-5/11.

References

1. Volokhovskiy V.Yu., Radin V.P., Rudyak M.B. The concentration of forces in the cables and the bearing capacity of rubber-cable conveyor belts with damage Vestnik MPEI №5, 2010, pp. 5-12.
2. Belmas I.V. Stress state of a rubber-cable belt with arbitrary damage to cables Problems of strength and reliability of machines 1993, №6 p. 45-48
3. Kolosov L.V., Belmas I.V. Investigation of the strength characteristics of samples of damaged rubber bands. Izvestiya vuzov. Mining magazine. - 1990, N 8, pp. 81-84.
4. Kolosov L.V., Belmas I.V. Experimental studies of the aggregate strength of RTL. Izvestiya vuzov. Mining magazine. - 1991, N 1, pp. 85-87.
5. Ropay V.A. Mine balancing ropes: monograph / A.V. Ropay. - Dnepropetrovsk: National Mining University, 2016. - 263 p.
6. Belmas I., Kolosov D. The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding. Technical and Geoinformation Systems in Mining. Taylor & Francis Group, London, UK 2011p. 211-214
7. Belmas I., Kolosov D., Kolosov O., Onvshchenko S. Stress-strain state of a conveyor belt with cables of different rigidity and their breakages. Fundamental and applied researches in practice of leading scientific schools Volume 26, Number 2, 2018 p 231-236
8. I.V.Belmas, D.L.Kolosov, T.O.Chechel, O.M.Vorobyova, O.M.Chernish. Injecting changes in the hours of the mechanical power of the gumi on the stresses of the camp of the humic cable traction body with the eyelet cable. Collection of science practices of the national hospitality university 2020 No. 61. With. 149-155
9. Kolosov D.L., Bilous O.I., Gurov. I.A. Mitsnist vidnovlenoi humotrosovoi strichki. Mathematical problems of technical mechanics and applied mathematics - 2019. International scientific conference. Proceedings of the conference Dnipro, Kam'yansk -2019 - p. 126-127.

10. Belmas I., Kolosov D. , Onyshchenk S., Bobylova I. Partial restoration of tractive ability of rubber-cable tractive element with damaged cable base university 2020 №60. With. 196-206
11. Belmas I.V., Bilous O.I., Tantsura G.I., Bobilova I.T. Zirochka. Patent No. 117954 of Ukraine F16H 55/17 (2006.01), F16H 55/12 (2006.01), F16H 55/16 (2006.01), F16H 55/30 (2006.01), F16H 7/02 (2006.01)). Applicant and patent holder DDTU No. a201609889, Appl. 09/26/2016 10/25/2018, bul. No. 20/2018
12. Belmas I.V., D.L. Kolosov, O.I. Bilous, Bobilova I.T. Collection of scientific practices of the VIII International scientific and technical conference "Progressive technologies in machine-building RTME 2019" February 4-8, 2019. Ivano-Frankivsk - Yaremche, 2019 - p. 72-73.
13. Kolosov L.V., Belmas I.V. Analysis of schemes of butt joints of rubber-cable tapes. Izvestiya vuzov. Mining magazine. - 1990, N 2, pp. 83-85.
14. Tantsura G.I. Gnuchki traction organs. Sticks of conveyor stitches. - Dniprodzerzhynsk: DDTU, 2010 - 127 p.
15. Zabolotnyi, K.S., Panchenko, O.V., Zhupiiiev, O.L., & Polushyna, M.V. (2018). Influence of parameters of a rubber-rope cable on the torsional stiffness of the body of the winding. Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu. (5), 54–63. DOI: 10.29202/nvngu/2018-5/11.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-08>

УДК 339.138:004:378(477)(045)

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

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

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

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

Середницька Люмила Петрівна, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-7730-0963>

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

ШЛЯХИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МАРКЕТИНГОВИХ ПОСЛУГ У СИСТЕМІ ОРГАНІЗАЦІЇ ВСТУПУ ДО ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ

Гулівата І.О., Радзіховська Л.М., Середницька Л.П. Шляхи цифровізації маркетингових послуг у системі організації вступу до закладів вищої освіти України. Запропоновано шляхи цифровізації маркетингу вищої освіти як складової стратегії просування інституційного бренду у системі організації вступу до закладу вищої освіти.

Ключові слова: цифровізація, маркетингові послуги, вступ до закладів вищої освіти.

Hulivata I., Radzichovska L., Serednytska L. Ways of digitalization of marketing services in the system of organization of admission to higher education institutions of Ukraine. In this article are suggested new ways of digitalization of marketing services of the higher education institutions as a part of the strategy for promotion of the institutional brand in the organizing system of admission campaigns to the higher education institutions.

Key words: digitization, marketing services, admission to higher education institutions.

Постановка наукової проблеми. Одним із пріоритетних напрямів проєкту Концепції цифрової трансформації освіти і науки на період до 2026 року [1] є автоматизація роботи вступної кампанії, а серед стратегічних цілей розглядається прозорість, зручність та ефективність послуг у сфері освіти і науки.

З 2019 року світовий освітній простір зазнав модифікації за рахунок форм навчання адаптованих під виклики Covid 19. Для багатьох країн такі зміни зберігаються й досі. Особливо гостро проблема надання освітніх послуг постала для України на тлі військової агресії з боку росії.

Програми дистанційного навчання змусили академічну спільноту використовувати додаткові шляхи та засоби для роботи з аудиторією, а приймальні комісії закладів освіти – з абітурієнтами. Тому з метою забезпечення права вступників на вищу освіту перед закладами вищої освіти (ЗВО) постає проблема актуалізації вибору шляхів забезпечення виконання рішень МОН України щодо реалізації цифрового надання освітніх послуг. У сучасних реаліях іноді це єдиний спосіб донести до абітурієнтів просвітницький контент щодо вступу та вибороти популярність. Оскільки цифрові маркетингові підходи дозволяють розповсюджувати досить швидко важливу інформацію і зацікавлювати широку аудиторію з різних куточків світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання актуальних трендів просування послуг в Інтернет середовищі, порівняння традиційного та Інтернет-маркетингу розкрито у роботі І. Дьячук [2]. І. Жарська [3] запропонувала концепцію формування системи маркетингових комунікацій ЗВО в мережі Інтернет. Переваги застосування відеоматеріалів у маркетинговій кампанії закладу освіти засобами сервісу YouTube розкрито у роботі С. Семенюк [4]. Н. Василькова зазначає, що для налагодження комунікаційного зв'язку з потенційними студентами ЗВО надають перевагу саме цифровому маркетингу.

Д. Дорошкевич здійснив аналіз інструментів оцінки ефективності візуального цифрового контенту [5]. У дослідженні [6] здійснено оцінку результатів вступної кампанії з метою прогнозування майбутніх результативних показників діяльності ЗВО шляхом використання кореляційно регресійного аналізу та трендових моделей.

Дослідження [2-9] свідчать про те, що використання різних видів цифрового маркетингу сприяють просуванню інституційного бренду на ринку надання освітніх послуг та залученню кращих абітурієнтів до лав студентів. Особливо актуальним є впровадження цифрових маркетингових трендів у систему організації вступної кампанії, що важливо реалізовувати не лише під час вступної кампанії, а й загалом у стратегії розвитку ЗВО, оскільки вступна кампанія є наслідком діяльності закладу протягом року.

Метою статті є окреслення шляхів цифровізації, маркетингових послуг у системі організації вступної кампанії закладу освіти для їх можливого врахування у власній стратегії розвитку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні освіта переживає масовий бум завдяки сучасним інформаційним технологіям. В дослідженнях [7] зазначено, що світовий ринок цифрового навчання до 2026 року сягне 458 мільярдів доларів. Така тенденція спровокована збільшенням користувачів Інтернету та мобільним телефонам з онлайн-можливостями.

Сучасні інформаційні технології забезпечують наочність, швидкість, надійність отримання та поширення інформації, що стало передумовою розвитку інноваційного освітнього маркетингу відповідного вимогам часу [2, с. 106].

Серед трендів маркетингу вищої освіти виокремлюють інтернет-маркетинг, відеомаркетинг, digital-маркетинг тощо. В умовах глобальної цифровізації ЗВО вимушені використовувати у власній діяльності різні цифрові канали, якщо вони хочуть донести свій посил до широкої аудиторії економічно ефективним способом. Це електронна пошта, веб-контент, соціальні мережі тощо. Сучасний абітурієнт досить багато часу проводить на сайтах соціальних мереж таких як Facebook, Twitter и Instagram тощо. І тому для кращої взаємодії з ним існує потреба дізнаватися про його інтереси, побажання та очікування. Використовувати цифрові канали зв'язку у системі надання освітніх послуг не просто, але потенціал для значного збільшення доходів перетворює цифровий маркетинг у важливий аспект будь-якої маркетингової стратегії у сфері освіти.

У плануванні та реалізації власної стратегії ЗВО має враховувати різні види маркетингової діяльності для вирішення наступних завдань:

- просування бренду закладу вищої освіти;
- стимулювання набору здобувачів;
- задоволення студентства у виборі закладу щодо надання освітніх послуг та освітньої траєкторії.

Важливою складовою освітнього маркетингу є просвітницька діяльність ЗВО з вступниками в рамках стратегії популяризації власного бренду. Така діяльність з одного боку використовується як потужний інструмент реклами для закладу, а з іншого – як можливість розібратися в особливостях вступу для абітурієнтів. Успішна вступна кампанія є одним із важливих завдань закладів вищої освіти. Кількість і якість прийнятих вступників і визначає його місце на ринку освітніх послуг [4, с. 68]. Особливістю впровадження маркетингових заходів в сфері освітніх послуг в період вступної компанії, полягає в тому, що рішення про вибір ЗВО для вступу приймає не тільки абітурієнт, але і його батьки і мотиви, які спонукають до вступу, повинні задовольняти обох. Тому традиційні способи реклами не тільки неефективні, але і знецінюють імідж ЗВО в очах споживача (абітурієнта).

Умови вступу висувають до закладів освіти вимоги щодо оприлюднення інформації для вступників: правила прийому до ЗВО, рейтингові списки, розклади вступних випробувань, плату за надання освітніх послуг, інформацію про гуртожитки та інфраструктуру закладу тощо. Усі ЗВО зобов'язані публікувати таку інформацію на власних офіційних сайтах та інших цифрових каналах, які сьогодні стали не тільки основним джерелом обміну інформацією, а і одним із ефективних прийомів впізнаності закладу освіти.

Розглянемо можливі шляхи цифровізації маркетингових послуг у системі організації вступної кампанії з метою просування закладу освіти, які базуються на використанні Інтернету. Слід зазначити, що традиційні рекламні стратегії, такі як рекламні борди, листівки, брошури, друкована реклама та особисті зустрічі також мають місце в епоху цифрових технологій, проте їх окупність є менш привабливою порівняно із сучасними стратегіями цифрового маркетингу.

1. Використання платформи соціальних мереж для зв'язку з вступником.

Дослідження [3, с. 106] переконливо свідчать, що сьогодні акаунт ЗВО у соціальних мережах має виконувати функцію універсального call-центру, який може консультувати абітурієнтів усіх категорій та їхніх батьків з будь-яких питань, пов'язаних як зі вступом, так і з майбутнім навчанням і специфікою спеціальностей у режимі 24x7.

На теперішній час у світі нараховується близько 4,5 мільярди користувачів соціальних мереж, що складає близько 57% населення планети [8]. До найпопулярніших соціальних медіа та цифрових платформ належать Facebook, YouTube, Twitter, Instagram, TikTok, Telegram тощо.

Кожна платформа має певні ціннісні характеристики та пропонує різні способи використання у маркетингу освіти. Незалежно від її вибору необхідно прагнути встановити зв'язок з цільовою аудиторією за рахунок привабливого контенту. При цьому створюється образ для

маркетингу в соціальних мережах, який спрямований на цільову аудиторію – випускників закладів освіти різних рівнів: від випускників шкіл до університетів, а також їх батьків. Маркетинговий персонаж у соціальних мережах може враховувати інформацію стосовно віку, статі, освіти, цілі, проблеми та основні цінності. На все це потрібно зважати під час створення контенту, який повинен бути лаконічним, цікавим, захоплюючим та відповідати іміджу закладу.

Слід зазначити, що зі збільшенням підписників у соціальних мережах існує можливість значного поширення контенту, навіть якщо фактична кількість підписників набагато менша. Цю інформацію використовують для коригування рекламних зусиль.

2. Включення цифрової реклами у маркетинговий бюджет.

Цифрова реклама є досить ефективним способом маркетингу освітніх послуг. Відповідно до звіту Dentsu Global Ad Spend Forecast інвестиції в цифрові технології виростуть на 14,8% в 2022 році. Це призведе до того, що доля цифрових витрат складе 55,5% (\$408 млрд) від загальних витрат на рекламу [9].

Найбільшою перевагою цифрової реклами, порівняно з традиційною, є точний таргетинг, який базується на демографічних даних, моделях взаємодії тощо. Тому, плануючи заходи доцільно виділяти з існуючої аудиторії тільки ту частину, яка задовольняє певним критеріям, і поширювати рекламу саме на цю аудиторію використовуючи прийом таргетингу, що в цілому здійснює позитивний вплив на рейтинг кліків рекламних заходів.

Серед найбільш використовуваних каналів цифрової реклами є її включення до пошукових систем та соціальних мереж, медійну чи банерну рекламу та відеорекламу. Кожен з цих каналів має свої недоліки та переваги, тому доцільно використовувати поєднання всіх каналів.

Незалежно від того, скільки маркетингового бюджету витрачається на цифрову рекламу обов'язково слід зібрати як можна більше даних для відстеження її ефективності і приймати обґрунтовані рішення стосовно її покращення.

3. Створення зручного для мобільних пристроїв веб-сайту з оптимізованою цільовою сторінкою.

За рахунок того, що одна і та ж особа заходить в інтернет з різних пристроїв, кількість користувачів мобільного інтернету перевищує кількість людей. Тому наявність мобільного сайту з оптимізованою цільовою сторінкою є нагальною необхідністю для тих, хто хоче досягти успіху в маркетингу освіти.

З метою оптимізації сайту для мобільного пристрою необхідно забезпечити ефективність його роботи: вдалий інтерфейс, посилання та елементи навігації, швидкість завантаження сторінки тощо.

Також варто розглянути використання AMP, як структуру веб-компонентів технології публікації веб-сайтів, розроблену Google для забезпечення простого способу створення веб-сторінок, які швидко та плавно завантажуються і у першу чергу надають перевагу користувацькому досвіду.

Крім того, можна пересвідчитися, що ваш веб-сайт пройшов тест Google Mobile-Friendly Test [10], метою якого є визначення того наскільки легко відвідувач може використовувати сторінку на мобільному пристрої. Для його використання достатньо ввести URL-адресу сайту і почекати поки інструмент завершить тестування. За допомогою Mobile-Friendly Test можна визначити мобільність сайту та ознайомитися з детальним оглядом усіх проблем із завантаженням сторінок для їх усунення.

Освітній веб-сайт орієнтований на користувацький досвід має бути спрямований на потреби користувача і освітнього продукту, який представлено. Сайт має відповідати двом основним критеріями: користувач має хотіти використовувати сайт і завжди до нього повертатися. Під час створення сайту ЗВО слід врахувати спрощений доступ до всього, уникаючи необхідності переглядати кілька рівнів меню, щоб знайти те, що потрібно. А підтримка постійного потоку контенту корисного користувачам сприятиме відвідуванню сайту.

4. Забезпечення оберненого зв'язку з аудиторією.

Опитування користувачів щодо якості надання освітніх послуг у системі організації вступу до ЗВО має бути невід'ємною частиною маркетингової стратегії ЗВО. Найкращий спосіб спонукати вступників залишати відгуки – максимально спростити процес рецензування. Як приклад, впровадити рейтинг на основі зірочок. Отримавши відгук чи запитання в чаті, доцільно на нього реагувати якнайшвидше. Не можна ігнорувати гострі питання та демонструвати зверхне

ставлення. Розгляд негативного відгуку дозволяє продемонструвати потенційним вступникам, як вирішуються проблемні ситуації.

5. Створення та використання привабливого контенту.

Згідно з дослідженням С. Семенюк [4, с. 68] все більше споживачів фокусуються на відеоконтенті, а його частка від усього трафіку складає більше 80%. Це значна кількість потенційних глядачів, на яких можна орієнтуватися, створюючи привабливий відеоконтент та публікувати його в інтернеті. Застосування візуального контенту у практиці маркетингу домінує над іншими типами контенту та сприяє більшій віддачі інвестицій [5, с.107].

Однак, під час реалізації відеоконтенту важливий зв'язок з аудиторією, це дає розуміння якого наповнення потребує споживач. Такий зв'язок можна забезпечити враховуючи наступні показники: середня продовжуваність перегляду, середня швидкість завершення, повторні перегляди, рейтинг кліків, максимальне число глядачів, зростання числа підписників тощо.

Просвітницький контент у частині організації вступу до ЗВО набуває популярності як один із типів відеоконтенту для якого можна знайти безліч тем. Він може містити різноманітні форми: демонстраційні відеоролики, відеоролики про ЗВО чи події в закладі, інтерв'ю, освітні чи практичні інструкції, пояснювальні відеоролики, анімований контент, тематичні дослідження, ролики віртуальної реальності тощо.

29 травня 2021 року державним підприємством Інфоресурс створено канал для допомоги вступникам [11], який нараховує 1,71 тис. користувачів. На ньому розміщено відеоінструкції для різних категорій вступників стосовно реєстрації електронного кабінету та подачі заяв, огляд помилок під час створення кабінетів, умови вступу тощо. Короткі відеоінструкції користуються популярністю і нараховують 746 115 переглядів. Вони є корисними не тільки для вступників, а і для приймальних комісій закладів освіти.

Засобами сервісу YouTube ЗВО існує можливість створення власних каналів, де можна розмістити матеріали щодо організації вступної кампанії: правила прийому до ЗВО, інформацію про освітні програми за якими здійснюється підготовка тощо. Для створення та перегляду коротких відео можна також використовувати сервіс TikTok, який наразі набуває значної популярності.

6. Використання чи створення застосунку для реалізації маркетингової послуги.

Готуючись до вступу у ЗВО майбутній вступник має проаналізувати значний обсяг інформації стосовно вибору закладу освіти, спеціальності та особливостей освітньої програми, умов вступу тощо.

Зручним інструментом для вступника у цьому сенсі став сервіс ЄДЕБО (Єдина державна база з питань освіти) [12], який є незамінним помічником абітурієнтів, їх батьків та працівників приймальних комісій, оскільки забезпечує інформаційне супроводження вступної кампанії до закладів вищої освіти. Це автоматизована система збирання, реєстрації, оброблення, зберігання та захисту відомостей та даних з питань освіти, яка містить реєстри суб'єктів освітньої діяльності, документів про освіту, студентських (учнівських) квитків, педагогічних працівників та їх сертифікатів, сертифікатів ЗНО. Забезпечує можливість перевірки результатів незалежного тестування та документів про освіту. Безкоштовний та вільний доступ до бази даних ЄДЕБО та функціонал системи, який постійно поліпшується, дозволяє безперешкодно знайти необхідну інформацію щодо вступу для ефективного прийняття рішень вступником.

Умови вступу до ЗВО також передбачають дистанційний вступ, що вимагає застосування технологічних інструментів для створення та використання кваліфікованого електронного підпису. Для вирішення таких завдань поширеним явищем стало використання застосунку Дія.

Вищезазначені шляхи цифровізації маркетингових послуг успішно реалізовані у системі організації вступної кампанії Вінницького торговельно-економічного інституту ДТЕУ (Рис.1), а аналіз її результатів у 2022 р. за методикою воронки продажу засвідчує ефективність їх впровадження.

Таблиця 1. Дослідження якості надання освітніх послуг під час організації вступної кампанії у ВТЕІ ДТЕУ у 2022 році

Абітурієнти, кількість осіб	Ознака групи осіб
19481	переглянули на аккаунти ВТЕІ ДТЕУ у соціальних мережах

8745	підписалися на аккаунти ВТЕІ ДТЕУ у соціальних мережах
4617	відреагували на публікацію
3138	подали заяви до ВТЕІ ДТЕУ
1609	вступили до ВТЕІ ДТЕУ

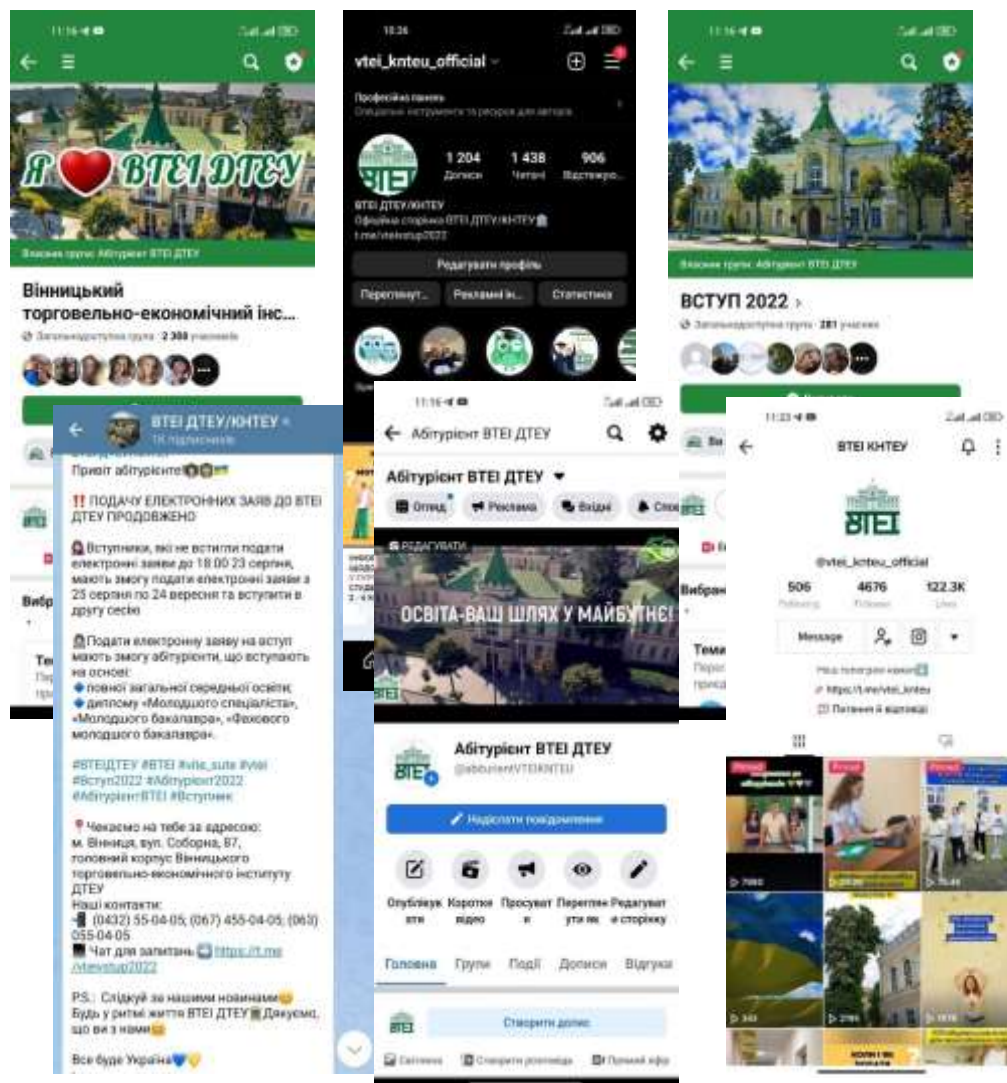


Рис.1. Цифрові канали надання освітніх послуг у системі організації вступної кампанії у ВТЕІ ДТЕУ

Висновки та перспективи подальших досліджень. Цифровий маркетинг забезпечує економічно ефективно, порівняно з традиційними, шляхи представлення контенту та надання маркетингових освітніх послуг для широкого кола користувачів. У сучасних реаліях, іноді, це єдиний спосіб донести до абітурієнтів просвітницький контент щодо вступу та вибороти популярність серед абітурієнтів. Особливо актуальним є впровадження цифрових маркетингових трендів у систему організації вступної кампанії, як складової загальної стратегії закладу з метою просування інституційного бренду на ринку освітніх послуг. До таких віднесено: використання платформи соціальних мереж для зв'язку з вступником; включення цифрової реклами у маркетинговий бюджет; створення зручного для мобільних пристроїв веб-сайту з оптимізованою цільовою сторінкою; створення та використання привабливого контенту; використання чи створення застосунку для реалізації маркетингової послуги; використання чи створення

застосування для реалізації маркетингової послуги. Потребує розробки модель реалізації запропонованих шляхів цифровізації маркетингових послуг та її оцінка.

Список бібліографічного опису

1. Концепція цифрової трансформації освіти і науки. URL: <https://cutt.ly/yVYTGG3> (Дата звернення 25.09.2022).
2. Дячук І. Інтернет-маркетинг та digital-стратегії. Принципи ефективного використання. *Вчені записки Університету «КРОК»*, 2021. №4(64). С. 106-113. URL: <https://cutt.ly/0VYOFWp> (Дата звернення 25.09.2022).
3. Жарська І. Digital-маркетинг закладів вищої освіти. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*, 2020. Том 31(70). № 6. С. 106-112. URL: <https://cutt.ly/LVYOZZj> (Дата звернення 25.09.2022).
4. Семенюк С. Відеомаркетинг в діяльності закладів вищої освіти. *Маркетинг і цифрові технології*, 2019 Том 3(1). С. 68-78. URL: <https://cutt.ly/ZVYAcil> (Дата звернення 25.09.2022).
5. Дорошкевич Д., Томко К. Аналіз інструментів оцінки ефективності візуального цифрового контенту. *Ефективна економіка*, 2020. Вип. 4. URL: <https://cutt.ly/mVYCS76> (дата звернення: 25.09.2022).
6. Гулівата І. О., Ніколіна І. І., Клішук О. В. Моделювання показників вступної кампанії. *Вісник Хмельницького національного університету*, 2019. Вип. 2. С. 119-125. URL: <https://cutt.ly/sVYDPYI> (Дата звернення 25.09.2022).
7. Сайт «GlobeNewswire». URL: <https://cutt.ly/4VYGiQ8> (Дата звернення 25.09.2022).
8. Сайт організації «Український спектр». URL: <https://cutt.ly/eVYB0YM> (Дата звернення 25.09.2022).
9. Сайт організації «Українська Рада Торгових Центрив». URL: <https://cutt.ly/MVYN5Uh> (Дата звернення 25.09.2022).
10. Сайт «Перевірка зручності перегляду на мобільних пристроях». URL: <https://search.google.com/test/mobile-friendly> (Дата звернення 25.09.2022).
11. Канал «ОсвітаВсім». URL: <https://www.youtube.com/channel/UCloW7pjV9WUU2DURgLUuotA/featured> (Дата звернення 25.09.2022).
12. Сайт «ЄДЕБО». URL: <https://info.edbo.gov.ua/about/> (Дата звернення 25.09.2022).

References

1. Kontseptsiia tsyfrovoyi transformatsii osvity i nauky [Law of Ukraine]. (n.d.). mon.gov.ua. Retrieved from <https://cutt.ly/yVYTGG3> [in Ukrainian].
2. Diachuk, I. (2021). Internet-marketynh ta digital-stratehii. Pryntsyphu efektyvnoho vykorystannia [Internet marketing and digital strategies. Principles of effective use]. *Vcheni zapysky Universytetu - Scientific notes of "KROC" University «KROK»*, 4(64), 106-113. Retrieved from <https://cutt.ly/0VYOFWp> [in Ukrainian].
3. Zharska, I. (2020) Digital-marketynh zakladiv vyshchoi osvity [Digital marketing of higher education institutions]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Ekonomika i upravlinnia - Scholarly notes of TNU named after VI Vernadskyi. Series: Economics and management*, 31(70), 6. 106-112. Retrieved from <https://cutt.ly/LVYOZZj> [in Ukrainian].
4. Semeniuk, S. (2019). Videomarketynh v diialnosti zakladiv vyshchoi osvity. [Video marketing in higher education institutions]. *Marketynh i tsyfrovi tekhnolohii - Marketing and digital technologies*. 3(1), 68-78. Retrieved from <https://cutt.ly/ZVYAcil> [in Ukrainian].
5. Doroshkevych, D. & Tomko, K. Analiz instrumentiv otsinky efektyvnosti vizualnoho tsyfrovoho kontentu [Analysis of tools for evaluating the effectiveness of visual digital content]. *Efektivna ekonomika - Efficient economy*, 4. Retrieved from <https://cutt.ly/mVYCS76> [in Ukrainian].
6. Hulivata, I., Hicolina, I., & Klishchuk, O. (2019). Modeliuvannia pokaznykiv vstupnoi kampanii. [Modeling of introductory campaign indicators]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu - Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 2, 119-125. Retrieved from <https://cutt.ly/sVYDPYI> [in Ukrainian].
7. Sait «GlobeNewswire». [Site «GlobeNewswire»]. [globenewswire.com](https://cutt.ly/4VYGiQ8). Retrieved from <https://cutt.ly/4VYGiQ8> [in English].
8. Sait orhanizatsii «Ukrainskyi spektr» [Site of the organization «Ukrainian Spectrum»]. [uaspectr.com](https://cutt.ly/eVYB0YM). Retrieved from <https://cutt.ly/eVYB0YM> [in Ukrainian].
9. Sait orhanizatsii «Ukrainska Rada Torhovykh Tsentriv» [Site of the organization «Ukrainian Council of Shopping Centers»]. [ucsc.org.ua](https://cutt.ly/MVYN5Uh). Retrieved from <https://cutt.ly/MVYN5Uh> [in Ukrainian].
10. Sait «Perevirka zruchnosti perehliadu na mobilnykh prystroiakh» [Site "Checking ease of viewing on mobile devices"]. [test.mobile-friendly](https://search.google.com/test/mobile-friendly). Retrieved from <https://search.google.com/test/mobile-friendly> [in Ukrainian].
11. Kanal «OsvitaVsim» [Channel «Osvitavsим»]. [youtube.com](https://www.youtube.com/channel/UCloW7pjV9WUU2DURgLUuotA/featured). Retrieved from <https://www.youtube.com/channel/UCloW7pjV9WUU2DURgLUuotA/featured> [in Ukrainian].
12. Sait «eDEBO» [Site «eDEBO»]. [info.edbo.gov.ua](https://info.edbo.gov.ua/about/). Retrieved from <https://info.edbo.gov.ua/about/> [in Ukrainian].

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-09>

УДК 681.518:62-50

Димова Ганна Олегівна, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-5294-1756>

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон, Україна

ПОБУДОВА МОДЕЛІ «ВХІД – ПРОСТІР СТАНІВ – ВИХІД» НА ОСНОВІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛІНІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАНКЕЛЕВИХ МАТРИЦЬ

Димова Г.О. Побудова моделі «вхід – простір станів – вихід» на основі властивостей лінійних операторів з використанням ганкелевих матриць. Статтю присвячено розв'язанню задачі аналізу структури динамічного об'єкта: з урахуванням стохастичного підходу до аналізу вихідних сигналів та без урахування випадкових складових вихідного сигналу на підставі лінійних відображень множини лінійних просторів, тобто теоретико-множинний підхід.

Поставлена задача знаходження структури динамічного об'єкта за вихідним сигналом досліджувалася методом факторизації кореляційної матриці вихідного сигналу [1]. Розглянутий раніш метод і методи, що розглянуті в цій роботі, відносяться до обернених задач дослідження динамічних систем, сутність яких заключається в тому, що вихідний спостережуваний сигнал являється рішенням динамічного оператора об'єкта, а структура самого оператора не відома. При цьому є деякі припущення про його клас: лінійний диференціальний, нелінійний диференціальний і диференціальний в частинних похідних та інші.

Евристичний підхід ґрунтується на тому, що вхідний сигнал діє на об'єкт, при цьому здійснюється збір інформації про всі ступені свободи динамічного некерованого об'єкта. Таким вхідним сигналом, що має нескінчений спектр, є білий шум. В статті розглядається методика знаходження структури оператора і оцінка його параметрів для лінійного випадку та метод побудови моделі «вхід – простір станів – вихід» багатомірної динамічної системи. Послідовність побудови моделі оператора лінійної динамічної системи як розв'язання оберненої задачі динаміки – по вихідному сигналу визначити структуру оператора в просторі станів, дозволить розробляти інформаційні технології для реальних динамічних систем в лінійному наближенні.

Ключові слова: лінійний оператор, проєкційний оператор, ганкелева матриця, ранг матриці, головні мінори, динамічна система.

Dymova H. Building an "input - state space - output" model based on the properties of linear operators using Hankel matrices. The article is devoted to solving the problem of analyzing the structure of a dynamic object: taking into account the stochastic approach to the analysis of output signals and without taking into account the random components of the output signal based on linear mappings of a set of linear spaces, that is, the set-theoretic approach.

The stated problem of finding the structure of a dynamic object from the output signal was studied by the method of factorization of the correlation matrix of the output signal [1]. The method considered earlier and the methods considered in this work refer to inverse problems of studying dynamical systems, the essence of which is that the original observed signal is a solution to the dynamic operator of the object, and the structure of the operator itself is unknown. At the same time, there are some assumptions about its class: linear differential, nonlinear differential and differential in partial derivatives, and others.

The heuristic approach is based on the fact that the input signal acts on the object, while collecting information about all degrees of freedom of the dynamic uncontrolled object. Such an input signal, which has an infinite spectrum, is white noise. The article considers a method for finding the structure of an operator and estimating its parameters for the linear case and a method for constructing an "input - state space - output" model of a multidimensional dynamical system. The sequence of constructing a model of the operator of a linear dynamic system as a solution to the inverse problem of dynamics - to determine the structure of the operator in the state space from the output signal, will allow developing information technologies for real dynamic systems in a linear approximation.

Keywords: linear operator, projection operator, Hankel matrix, matrix rank, principal minors, dynamical system.

Постановка проблеми. Основною метою роботи є розв'язання задачі ідентифікації для визначення структури динамічного об'єкта за вихідним сигналом, структури його оператора на основі структурних властивостей лінійних операторів та упорядкування множини вихідних сигналів безперервного технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно створити метод знаходження структури оператора динамічного об'єкта і упорядкування множини вихідних сигналів з представленням їх у виді ганкелевих форм та матриць. Метод моделювання оператора динамічної системи на основі властивостей лінійних операторів та упорядкування експериментальних даних за допомогою ганкелевих квадратичних форм і матриць дозволить розв'язувати обернені задачі динаміки на теоретико-множинному рівні в математично точній і погодженій постановці, тобто до оптимальної точної моделі (без урахування перешкод), а саме до найбільш сильної неспростованої моделі в класі лінійних систем.

Аналіз досліджень. Методика знаходження структури оператора і оцінки його параметрів для лінійного випадку розглядалась на прикладі сигналу $y_o(t)$ виходу автономного об'єкта, який

описується звичайним диференціальним рівнянням m -го порядку з постійними коефіцієнтами і стійкою точкою спокою $\mathbf{y}_o = 0$ [2]:

$$\frac{d^m \mathbf{y}_o(t)}{dt^m} + \sum_{m=0}^{m-1} a_m \frac{d^m \mathbf{y}_o(t)}{dt^m} = 0$$

і початковими умовами:

$$\left\{ \frac{d^m \mathbf{y}_o(0)}{dt^m} \right\}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, m - 1.$$

Характеристичний поліном для диференціального рівняння, що розглядається, $a_m r^m + a_{m-1} r^{m-1} + \dots + a_1 r + a_0 = 0$, де r_i – корені рівняння. Рівняння характеристичного поліному відображає структуру лінійного оператора і встановлює взаємозв'язок між множиною коренів r_i та вектором коефіцієнтів (a_0, a_1, \dots, a_m) [3, 4]. Оцінка структури моделі динамічного оператора для лінійного випадку зводиться до оцінки структури його характеристичного полінома, використовуючи метод Лобачевського-Греффе [5] (або методи Данилевського О.М., Крилова О.М., Леверье-Фаддеева, метод обертань [6])

З використанням ізоморфності моделей операторів на основі лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами та регресійних різницевоїх рівнянь, знайдених методом найменших квадратів, отримують системи нормальних рівнянь для визначення коефіцієнтів характеристичного полінома.

При виконанні вимог умов Гауса-Маркова та перевірки часових рядів на наявність (та усунення) грубих помилок в часових згладжених рядах різниць отримують задовільні оцінки коефіцієнтів моделі структури динамічного об'єкту, що не регулюється, за його вихідними сигналами.

Розрахунок коренів характеристичного поліному на основі метода Лобачевського-Греффе дозволяє оцінити стійкість моделі структури динамічного об'єкту [5].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Модель «вхід – простір станів – вихід» базується на основних властивостях лінійних операторів [4].

Дві матриці \mathbf{A} та \mathbf{B} , зв'язані співвідношенням $\mathbf{B} = \mathbf{T}^{-1} \mathbf{A} \mathbf{T}$, де \mathbf{T} – деяка неособлива матриця, називаються подібними. Таким чином, дві матриці, відповідні одному оператору в лінійному просторі \mathbf{R} при різних базисах подібні між собою, причому матриця \mathbf{T} , що зв'яже ці матриці, збігається з матрицею перетворення координат при переході від першого базису до другого. Іншими словами, лінійному оператору в \mathbf{R} відповідає цілий клас подібних між собою матриць; ці матриці представляють даний оператор в різних базисах. Дві подібні матриці мають завжди рівні визначники, тобто

$$|\mathbf{B}| = |\mathbf{T}^{-1} \mathbf{A} \mathbf{T}| = |\mathbf{A}|. \quad (1)$$

Рівність $|\mathbf{B}| = |\mathbf{A}|$ є необхідною, але не достатньою умовою подібності.

Для того щоб дві матриці $\mathbf{A} = \|a_{ik}\|_1^n$ та $\mathbf{B} = \|b_{ik}\|_1^n$ були подібні ($\mathbf{B} = \mathbf{T}^{-1} \mathbf{A} \mathbf{T}$), необхідно і достатньо, щоб вони мали одні й ті ж інваріантні поліноми, або одні і ті ж елементарні дільники в числовому полі K [7, 8].

Нехай матриця $\mathbf{A} = (\lambda)$ (λ – корінь характеристичного поліному, має ранг r , оскільки в цій матриці нерівні тотожно нулю мінори r -го порядку, в той час як всі мінори порядку більшого ніж r дорівнюють нулю тотожно щодо λ). Позначимо через $D_j(\lambda)$ найбільший спільний дільник всіх мінорів j -го порядку матриці $\mathbf{A} = (\lambda)$ ($j = 1, 2, \dots, r$). Тоді в ряду

$$D_r(\lambda), D_{r-1}(\lambda), \dots, D_1(\lambda), D_0(\lambda) = 1, \quad (2)$$

кожен поліном ділиться без залишку на наступний. Відповідні частки позначимо як $i_1(\lambda), i_2(\lambda), \dots, i_r(\lambda)$:

$$i_1(\lambda) = \frac{D_r(\lambda)}{D_{r-1}(\lambda)}, i_2(\lambda) = \frac{D_{r-1}(\lambda)}{D_{r-2}(\lambda)}, \dots, i_r(\lambda) = \frac{D_1(\lambda)}{D_0(\lambda)} = D_1(\lambda). \quad (3)$$

Поліноми $i_1(\lambda), i_2(\lambda), \dots, i_r(\lambda)$ називаються інваріантними поліномами прямокутної матриці $\mathbf{A} = (\lambda)$ [7, 9].

Для подальших доказів розглянемо деякі приватні типи лінійних операторів в \mathbf{R} : оператор \mathbf{J} в \mathbf{R} називається інволютивним, якщо $\mathbf{J}^2 = \mathbf{E}$ (де \mathbf{E} – одинична матриця). Інволютивному оператору в будь-якому базисі відповідає інволютивна матриця \mathbf{J} . Інволютивний оператор неособливий, тобто $\mathbf{J}^{-1} = \mathbf{J}$.

Оператор \mathbf{P} в \mathbf{R} є проєкційним, якщо $\mathbf{P}^2 = \mathbf{P}$.

Нехай дано довільне розщеплення простору \mathbf{R} на два підпростори \mathbf{S} та \mathbf{T} : $\mathbf{R} = \mathbf{S} + \mathbf{T}$. Тоді для будь-якого вектора $\vec{x} \in \mathbf{R}$ має місце розкладання $\vec{x} = \vec{x}_S + \vec{x}_T$, де $\vec{x}_S \in \mathbf{S}$, $\vec{x}_T \in \mathbf{T}$ [7].

Вектор \vec{x}_S являється проєкцією вектора \vec{x} на підпростір \mathbf{S} паралельно підпростору \mathbf{T} . Аналогічно вектор \vec{x}_T – проєкція вектора \vec{x} на підпростір \mathbf{T} паралельно підпростору \mathbf{S} .

Розглянемо оператор \mathbf{P} , що здійснює проєктування простору \mathbf{R} на підпростір \mathbf{S} паралельно підпростору \mathbf{T} , тобто оператор в \mathbf{R} визначається рівністю $\mathbf{P}\vec{x} = \vec{x}_S$ для будь-якого вектора $\vec{x} \in \mathbf{R}$. Очевидно цей оператор є лінійним, але він є проєктивним, оскільки $\mathbf{P}\vec{x} = \vec{x}_S$, $\mathbf{P}^2\vec{x} = \mathbf{P}\vec{x}_S$ і, отже, $(\mathbf{P}^2 - \mathbf{P})\vec{x} = \vec{x}_S - \vec{x}_S = 0$, тобто $\mathbf{P}^2 = \mathbf{P}$.

Можна перевірити і зворотне твердження. Довільний проєкційний оператор \mathbf{P} в \mathbf{R} здійснює проєктування всього простору \mathbf{R} на підпростір $\mathbf{S} = \mathbf{P}\mathbf{R}$ паралельно підпростору $\mathbf{T} = (\mathbf{E} - \mathbf{P})\mathbf{R}$. Будь-яка натуральна ступінь проєкційного оператора є проєкційним оператором. Якщо \mathbf{P} – проєкційний оператор, то $\mathbf{E} - \mathbf{P}$ – проєкційний оператор, оскільки

$$(\mathbf{E} - \mathbf{P})^2 = \mathbf{E} - 2\mathbf{P} + \mathbf{P}^2 = \mathbf{E} - \mathbf{P}. \quad (4)$$

Квадратна матриця \mathbf{P} буде проєкційною, якщо $\mathbf{P}^2 = \mathbf{P}$. Очевидно, в довільному базисі проєкційному оператору відповідає проєкційна матриця. Для знаходження оператора динамічної системи на основі експериментальних даних (у вигляді векторних часових рядів, отриманих в результаті обробки вихідних сигналів досліджуваної системи) зробимо їх упорядкування в вигляді ганкелевих квадратичних форм і відповідних їм ганкелевих матриць.

Для отримання моделі, що має вигляд «вхід – простір станів – вихід» (моделі з пам'яттю), розглянемо розкладність матричного оператора в моделі простору станів $(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D})$. Тут \mathbf{A} – матриця коефіцієнтів системи, \mathbf{B} – матриця управління, \mathbf{C} – матриця виходу, \mathbf{D} – матриця обходу (встановлює безпосередню залежність вихідних даних системи від вхідних змінних) [10].

Нехай в результаті обробки вихідних сигналів отримані $2n-1$ чисел (або векторів в разі багатомірного вихідного сигналу динамічної системи) $s_0, s_1, \dots, s_{2n-2}$. Складемо симетричну ганкелеву матрицю $\mathbf{S} = \| |s_{i+k}|_0^{n-1} \|$, в розгорнутому вигляді вона має вид:

$$\mathbf{S} = \begin{vmatrix} s_0 & s_1 & s_2 & \dots & s_{n-1} \\ s_1 & s_2 & s_3 & \dots & s_n \\ s_2 & s_3 & s_4 & \dots & s_{n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n-1} & s_n & s_{n+1} & \dots & s_{2n-2} \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Послідовні головні мінори матриці \mathbf{S} будемо позначати $\mathbf{D}_1, \mathbf{D}_2, \dots, \mathbf{D}_n$:

$$\mathbf{D}_p = |s_{i+k}|_0^{n-1}.$$

Основні результати Фробеніуса [7] відносно рангу ганкелевих дійсних матриць: якщо в ганкелевій матриці $\mathbf{S} = \| |s_{i+k}|_0^{n-1} \|$ перші h рядків лінійно залежні, то $\mathbf{D}_h \neq 0$.

Матриця, що складається з перших h рядків $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_h$ матриці \mathbf{S}

$$\begin{pmatrix} s_0 & s_1 & s_2 & \dots & s_{n-1} \\ s_1 & s_2 & s_3 & \dots & s_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n-1} & s_n & s_{n+1} & \dots & s_{n+n-2} \end{pmatrix} \quad (6)$$

має ранг h . З іншого боку, будь-який стовпець цієї матриці виражається лінійно через h попередніх стовпців, але тоді, оскільки ранг матриці (6) дорівнює h , ці перші h стовпців матриці (6) повинні бути лінійно незалежні, тобто $\mathbf{D}_h \neq 0$.

Для розгляду питання розкладеності ганкелевих матриць з метою зручності доказу їх розкладеності і отримання на цій основі представлення моделі в просторі станів (\mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D}) позначимо елементи прямокутної матриці (6) як a_{ik} з двома індексами, де i – нумерація за рядками, k – нумерація за стовпцями, тобто перейдемо від матриці \mathbf{S} до співпадаючої за розмірністю матриці $\mathbf{A} = \|a_{ik}\|_1^n$ ($i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$). Виходячи з алгоритмів обробки вихідних сигналів динамічного об'єкта значення елементів матриць (5) та (6) будуть невід'ємними $a_{ik} \geq 0$ або позитивними $a_{ik} > 0$.

Матриця $\mathbf{A} = \|a_{ik}\|_1^n$ буде розкладеною, якщо вона може бути приведена до вигляду

$$\tilde{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} \mathbf{B} & \mathbf{0} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

де \mathbf{B} та \mathbf{D} – квадратні матриці [7, 8].

Це можливо тоді і тільки тоді, коли можливе деяке розбиття всіх її індексів $1, 2, \dots, n$ на дві додаткові системи (без загальних індексів) $i_1, i_2, \dots, i_\mu; k_1, k_2, \dots, k_\nu$ ($\mu + \nu = n$) $a_{i_\alpha k_\beta} = 0$ ($\alpha = 1, 2, \dots, \mu; \beta = 1, 2, \dots, \nu$). В іншому випадку матриця \mathbf{A} буде нерозкладеною. Під перестановкою рядів в квадратній матриці $\mathbf{A} = \|a_{ik}\|_1^n$ розуміється з'єднання перестановок рядків з такою ж перестановкою стовпців матриці \mathbf{A} .

Нехай матриця $\mathbf{A} = \|a_{ik}\|_1^n$ відповідає лінійному оператору в n -мірному векторному просторі \mathbf{R} (n векторів виходу динамічної системи) з базисом $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \dots, \vec{e}_n$. Перестановка рядів відповідає перенумерації базисних векторів, тобто переходу від базису $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \dots, \vec{e}_n$ до нового базису

$\vec{e}'_1 = \vec{e}_{j_1}, \vec{e}'_2 = \vec{e}_{j_2}, \dots, \vec{e}'_n = \vec{e}_{j_n}$, де (j_1, j_2, \dots, j_n) деяка перестановка індексів $1, 2, \dots, n$. При цьому матриця \mathbf{A} переходить в подібну їй матрицю $\tilde{\mathbf{A}} = \mathbf{T}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{T}$ (в кожному рядку і кожному стовпці перетворюючої матриці \mathbf{T} один елемент дорівнює одиниці, а всі інші елементи дорівнюють нулю) [8].

Під ν -мірним координатним підпростором в \mathbf{R} будемо розуміти будь-який підпростір в \mathbf{R} з базисом $\vec{e}_{k_1}, \vec{e}_{k_2}, \dots, \vec{e}_{k_\nu}$ ($1 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_\nu \leq n$). З кожним базисом $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \dots, \vec{e}_n$ простору \mathbf{R} зв'язано C_n^ν ν -мірних координатних підпросторів. C_n^ν – біноміальний коефіцієнт: $C_n^\nu = \frac{n!}{\nu!(n-\nu)!}$.

Тоді матриця $\mathbf{A} = \|a_{ik}\|_1^n$ розкладена в тому і тільки в тому випадку, якщо відповідний цій матриці оператор \mathbf{A} має ν -мірний інваріантний координатний підпростір з $\nu < n$. Звідси випливає, що, якщо \mathbf{A} розкладена матриця, то перестановкою рядів вона може бути представлена у виді (7), і, якщо

$|\mathbf{A}| \geq 0$ і в характеристичному визначнику

$$\Delta(r) = \begin{vmatrix} r - a_{11} & -a_{12} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & r - a_{22} & \dots & -a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{n1} & -a_{n2} & \dots & r - a_{nn} \end{vmatrix} \quad (8)$$

будь-який з головних мінорів дорівнює нулю (матриця \mathbf{A} розкладена), тоді перетворюється в нуль будь-який "охоплюючий" головний мінор i , зокрема, один з головних мінорів $(n - 1)$ -го порядку $\mathbf{B}_{11}(\lambda), \mathbf{B}_{22}(\lambda), \dots, \mathbf{B}_{nn}(\lambda)$ [7, 10].

Матриця $|\mathbf{A}| \geq 0$ є розкладеною в тому і тільки в тому випадку, коли в одному з співвідношень $\mathbf{B}_i(r)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) є знак рівності.

На цьому обґрунтуванні будемо будувати модель динамічної системи, яка повинна відповідати таким вимогам:

- бути простою;
- містити мало довільних або уточнюючих елементів;
- узгоджуватися з усіма існуючими спостереженнями і пояснювати їх в рамках теорії лінійних динамічних систем;
- давати детальний передбачення результатів майбутніх спостережень, які можуть спростувати цю модель або довести її хибність, якщо передбачення, зроблені за цією моделлю, не підтверджуються.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Пропонований метод моделювання оператора динамічної системи на основі властивостей лінійних операторів та упорядкування експериментальних даних за допомогою ганкелевих квадратичних форм і ганкелевих матриць дозволяє обговорювати рішення зворотних задач динаміки на теоретико-множинному рівні в математично точній і погодженій постановці. Це призводить до поняття оптимальної точної моделі (без урахування перешкод), а саме до найбільш сильної неспростованої моделі в класі лінійних систем. Така модель пояснює спостереження і мала наскільки можливо.

Проілюстрована послідовність побудови моделі оператора лінійної динамічної системи як розв'язання оберненої задачі динаміки: по вихідному сигналу визначити структуру оператора в просторі станів дозволяє розробляти обчислювальні алгоритми для реальних динамічних систем в лінійному наближенні.

Список бібліографічного опису

1. Марасанов В.В., Забытовская О.И., Дымова А.О. (2012) Прогнозирование структуры динамических систем. Вестник ХНТУ № 1 (44), С. 292-302.
2. Гамецкий А.Ф., Соломон Д.И. (1997) Математическое моделирование макроэкономических процессов. Кишинев: Эврика. 313 с.
3. Димова Г.О. (2018) Метод знаходження моделі динамічного об'єкта за вихідним сигналом. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Матеріали XVIII Міжнар. наук.-техн. конференції (8-13 червня 2018 р., м.Одеса); Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С.Попова. Одеса–Хмельницький: ХНУ. С. 202-204.
4. Неймарк М.А. (1969) Линейные дифференциальные операторы. Москва: Наука. 526 с.
5. Демидович Б.П., Марон И.А. (1966) Основы вычислительной математики. Москва: Наука. 664 с.
6. Виллемс Ян К. (1989) От временного ряда к линейной системе. Теория систем. Математические методы и моделирование. Сборник статей. Москва: Мир. 384 с.
7. Гантмахер Ф.Р. (2004) Теория матриц. Москва: ФИЗМАТЛИТ. 560 с.
8. Ланкастер П. (1978) Теория матриц. Москва: Наука. 280 с.
9. Беллман Р. (1969) Введение в теорию матриц. Москва: Наука. 368 с.
10. Димова А. О. (2019) Проекционные методы описания структуры оператора линейных динамических систем. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 6/2019 (119). С. 152-160.

References

1. Marasanov V.V., Zabytovskaya O.I., Dymova A.O. (2012) Forecasting the structure of dynamical systems. Vestnik KhNTU No. 1 (44), Pp. 292-302.
2. Gametsky A.F., Solomon D.I. (1997) Mathematical modeling of macroeconomic processes. Chisinau: Eureka. 313 p.
3. Dymova H.O. (2018) A method for finding a model of a dynamic object from an output signal. Measuring and computing equipment in technological processes: Materials XVIII International. science and technology conference (June 8-13, 2018, Odessa); Odessa national Acad. communication named after O.S.Popova. Odesa–Khmelnitskyi: KhNU. Pp. 202-204.
4. Neimark M.A. (1969) Linear differential operators. Moscow: Nauka. 526 p.
5. Demidovich B.P., Maron I.A. (1966) Fundamentals of Computational Mathematics. Moscow: Nauka. 664 p.
6. Willems Jan K. (1989) From time series to linear system. Theory of systems. Mathematical methods and modeling. Digest of articles. Moscow: Mir. 384 p.
7. Gantmakher F.R. (2004) Matrix theory. Moscow: FIZMATLIT. 560 p.
8. Lancaster P. (1978) Matrix Theory. Moscow: Nauka. 280 p.
9. Bellman R. (1969) An introduction to matrix theory. Moscow: Nauka. 368 p.
10. Dymova A. O. (2019) Projection methods for describing the structure of an operator of linear dynamical systems. Visnyk KrNU named after Mikhail Ostrogradsky. Issue 6/2019 (119). Pp. 152-160.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-10>

УДК [004.02/.032/.421] + 621.391 +004.031.42+007.2

Козубцова Леся Михайлівна¹, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-7866-8575>

Козубцов Ігор Миколайович¹, д.пед.н., к.т.н., с.н.с.

<https://orcid.org/0000-0002-7309-4365>

Здолбіцька Ніна Василівна², к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-1345-3581>

Кошелюк Віктор Андрійович², к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-4136-5087>

¹ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, м. Київ, Україна

² Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ І КІБЕРБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Козубцова Л.М., Козубцов І.М., Здолбіцька Н.В., Кошелюк В.А. Показники ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. У науковій статті вирішено науково-технічну проблему з вибору показників ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. Наукова новизна одержаного результату полягає в тому, що вперше запропоновано показники та критеріїв оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. Практичне значення роботи полягає в тому, що на основі одержаних показників та критеріїв у подальших роботах виникає можливість розробити методіку оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.

Ключові слова: показники, критерії, оцінювання, ефективність, функціонування, система захисту інформації і кібербезпеки, об'єкти критичної інформаційної інфраструктури.

Kozubtsova L., Kozubtsov I., Zdolbitskaya N., Koshelyuk V. Performance indicators of the functioning of the information security system and cybersecurity of critical information infrastructure objects. The scientific article solves the scientific and technical problem of choosing performance indicators for the functioning of the information security system and cybersecurity of critical information infrastructure facilities. The scientific novelty of the obtained result lies in the fact that for the first time indicators and criteria for evaluating the effectiveness of the functioning of the information security system and cybersecurity of critical information infrastructure facilities are proposed. The practical significance of the work lies in the fact that based on the obtained indicators and criteria in further works, it becomes possible to develop a methodology for evaluating the effectiveness of the information security system and cybersecurity of critical information infrastructure objects.

Keywords: indicators, criteria, evaluation, efficiency, functioning, information security and cybersecurity system, critical information infrastructure objects.

Постановка завдання і зв'язок її з важливими науковими завданнями. Система захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури (СЗІКБ ОКІІ) – це складний комплекс програмних, криптографічних, організаційних та інших засобів, методів і заходів призначених для захисту інформації та кібербезпеки. Від значення рівня ефективності функціонування СЗІКБ ОКІІ залежить без перебільшення безпека держави. Відсутність єдиної методології оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ ОКІІ призводить до нераціональних закупівель комплексів програмних, криптографічних, організаційних та інших засобів, методів і заходів призначених для захисту інформації та кібербезпеки. Ця науково-технічна проблема виникла в результаті суперечності:

появи потреби у СЗІКБ ОКІІ відносно нової системи, що раніше не існувало прототипу; у відсутності методології оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ ОКІІ.

Тому, сформулюємо наукове завдання дослідження: визначити можливі показники за якими об'єктивно оцінити ефективність функціонування СЗІКБ ОКІІ. Необхідність вирішенні даного наукового завдання є пріоритетним напрямком, що означений Законом України [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікації [2] автор застосовував показник ступінь досягнення мети функціонування системи захисту інформаційної для оцінки її ефективності.

В роботі [3] автором для оцінювання ефективності підрозділів захисту інформації застосовувалися показники економічної ефективності.

Методика [4] призначена оцінювати ефективність виконаних заходів націлених на

забезпечення кібербезпеки ОКП.

У методиці [5] для обчислення ефективності функціонування СЗІКБ, запропоновано систему часткових показників ($E_{\text{ЧП}}$):

кіберзахищеність;

укомплектованість засобами криптографічного захисту інформації (КЗІ), технічного захисту інформації (ТЗІ) та кіберзахисту (КЗ);

технічної готовності засобів КЗІ, ТЗІ та КЗ; коефіцієнтом укомплектованості справними засобами КЗІ, ТЗІ та КЗ;

укомплектованості штатних посад системними адміністраторами;

укомплектованості штатних посад обслуговуючим персоналом;

кіберзахищеність за результатами зовнішнього аудиту та penetration testing.

Мета статті. Охарактеризувати математичні показники та відповідні критерії оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ ОКП.

Матеріали й методи. Для вирішення поставлених завдань використовувалася сукупність методів теоретичного дослідження: історичного аналізу та узагальнення наукової літератури щодо проблеми дослідження; структурно-генетичного аналізу та синтезу при уточненні об'єкта та предмета дослідження; метод сходження від абстрактного до конкретного; метод аналітично-порівняльного аналізу при аналітично-порівняльному оцінюванні новизни результатів дослідження; синтез та узагальнення – для обґрунтування методологічних та методичних засад дослідження; узагальнення – формулювання висновків та рекомендацій щодо продовження подальших досліджень.

Виклад основного матеріалу. Під «ефективністю СЗІКБ ОКП» (E) будемо розглядати ступінь досягнення цією системою максимально можливих результатів функціонування за узагальненим показником. Під показником ефективності СЗІКБ ОКП» ($E_{\text{П}}$) будемо розуміти значення, що характеризує ступінь досягнення виконання системою поставлених перед нею цільової функції (CF).

Відповідно до сучасних тенденцій у сфері кібербезпеки перспективна СЗІКБ ОКП та аналізу [6–16] система має забезпечувати виконання наступну цільову функцію CF (1):

$$CF [ID; PR; DE; RS; RC], \quad (1)$$

де ID – функція «Ідентифікація ризиків кібербезпеки»;

PR – функція «Кіберзахист»;

DE – функція «Виявлення кіберінцидентів»;

RS – функція «Реагування на кіберінциденти»;

RC – функція «Відновлення стану кібербезпеки».

Перелічені функції є заходами кіберзахисту, що рекомендовані у Методичних рекомендацій щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури [17].

На практиці до показника ефективності висуваються наступні вимоги:

мати певний фізичний зміст;

бути придатним для кількісного аналізу;

мати просту і зручну форму;

відображати одну із значущих сторін функціонування системи;

забезпечувати необхідну чутливість.

На підставі визначених рекомендацій [17] та світового досвіду та рекомендацій National Institute of Standards and Technology (NIST) [6 – 16] нами запропоновано наступна сукупність часткових показників ($E_{\text{ЧП}}$), які формують загальні показники ($E_{\text{П}}$) ефективності СЗІКБ ОКП.

Визначимо наступні показники, результат подано в табл. 1.

Таблиця 1. Система зв'язку показників E ефективності СЗІКБ ОКП

Показники $E_{\text{П}}$	часткові показники $E_{\text{ЧП}}$
Функція «Ідентифікація ризиків кібербезпеки (ID)»	Ступінь реалізації управління активами (ID.AM)
	Ступінь реалізації середовища надання життєво важливих послуг та функцій (ID.BE)
	Ступінь реалізації управління безпекою (ID.GV)

	Ступінь реалізації оцінювання ризиків (ID.RA)
	Ступінь реалізації стратегії управління ризиками (ID.RM)
	Ступінь реалізації управління ризиками системи постачання (ID.SC)
Функція «Кіберзахист (PR)»	Ступінь реалізації управління ідентифікацією, автентифікацією та контролем доступу (PR.AC)
	Ступінь обізнаності та навченості (PR.AT)
	Ступінь реалізації безпеки даних (PR.DS)
	Ступінь реалізації процесів та процедур кіберзахисту (PR.IP)
	Ступінь реалізації технічного обслуговування (PR.MA)
	Ступінь впровадженості технології кіберзахисту (PR.PT)
Функція «Виявлення кіберінцидентів (DE)»	DE.AE Аномалії та кіберінциденти
	Ступінь реалізації безперервного моніторингу кібербезпеки (DE.CM)
	Ступінь реалізації процесів виявлення кіберінцидентів (DE.DP)
Функція «Реагування на кіберінциденти (RS)»	Ступінь реалізації системи планування реагування (RS.RP)
	Ступінь реалізації комунікації (RS.CO)
	Ступінь реалізації системи аналізу (RS.AN)
	Ступінь забезпечення мінімізації наслідків (RS.MI)
	Ступінь удосконалення (RS.IM)
Функція «Відновлення стану кібербезпеки (RC)»	Ступінь реалізації планування відновлення (RC.RP)
	Ступінь реалізації удосконалення (RC.IM)
	Ступінь реалізації комунікації (RC.CO)

Критерії оцінки ефективності функціонування СЗІКБ ОКП. Для оцінки індикаторів часткових показників $I_{чп}$ рекомендуємо наступні критерії табл. 2.

Таблиця 2. Критерії оцінювання індикаторів часткових показників $I_{чп}$

Критерій $I_{чп}$	Рівень
$I_{чп} = 0$	не реалізовано функцію
$I_{чп} = 1$	реалізовано функцію

Для оцінки часткових показників $E_{чп}$ рекомендуємо наступні критерії табл. 3.

Таблиця 3. Критерії оцінювання часткових показників $E_{чп}$

Критерій $E_{чп}$	Рівень
$0 \leq E_{чп} \leq 0,25$	незадовільний (НЗ)
$0,25 < E_{чп} \leq 0,5$	низький (Н)
$0,5 < E_{чп} \leq 0,75$	середній (С)
$0,75 < E_{чп} \leq 0,9$	високий (В)
$0,9 < E_{чп} \leq 1$	найвищий (НВ)

Для оцінки показників $E_{п}$ рекомендуємо наступні критерії табл. 4.

Таблиця 4. Критерії оцінювання показників $E_{п}$

Критерій $E_{п}$	Рівень
$0 \leq E_{п} \leq 0,25$	незадовільний (НЗ)
$0,25 < E_{п} \leq 0,5$	низький (Н)
$0,5 < E_{п} \leq 0,75$	середній (С)
$0,75 < E_{п} \leq 0,9$	високий (В)
$0,9 < E_{п} \leq 1$	найвищий (НВ)

Критерії оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ ОКП за узагальненим показником подані в (табл. 5).

Таблиця 5. Критерії оцінки ефективності функціонування СЗІКБ ОКП за узагальненим показником

Критерій E	Рівень
$0 \leq E \leq 0,25$	Частковий
$0,25 < E \leq 0,5$	Ризик-орієнтований

$0,5 < E \leq 0,75$	Повторюваний
$0,75 < E \leq 1$	Адаптивний

Рекомендації [17] визначають чотири ієрархічних рівні впровадження заходів кіберзахисту на ОКІІ (рис. 1). Рівні впровадження заходів кіберзахисту характеризують ступінь практичного впровадження на ОКІІ заходів із кіберзахисту, здатність ОКІІ досягти запланованих результатів кіберзахисту та надають інструментарій оцінювання ступеня впровадження процесів управління кібербезпекою.

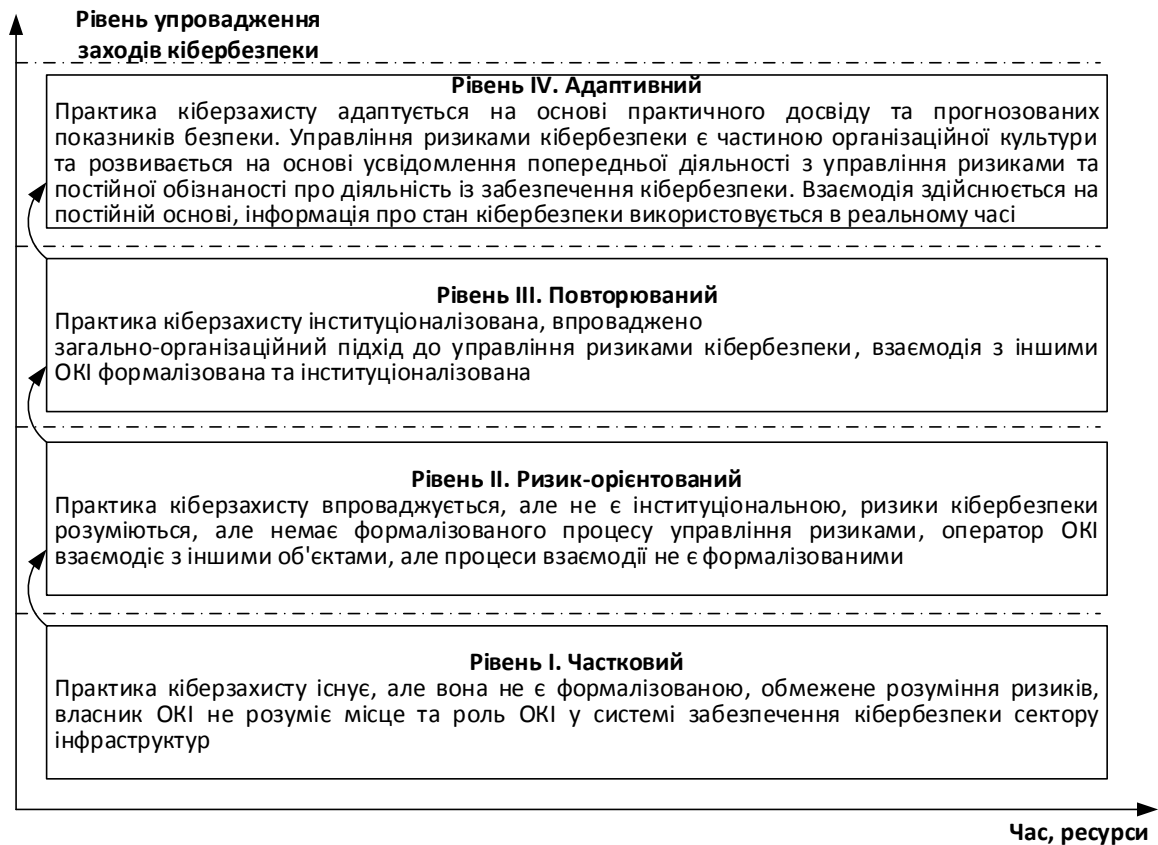


Рис. 1. Рівні впровадження заходів кіберзахисту на ОКІІ

Висновки. На сучасному етапі розвитку науки вирішено науково-технічну проблему з невизначеності за якими показниками проводити процедуру оцінювання вибору ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. На разі вбачається при оцінці ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури два ключових показника за функціональною спроможністю та технічною надійністю.

Наукова новизна. Вперше запропоновано часткові показники ефективності функціонування СЗІКБ ОКІІ та у відповідності до їх значень критерії їх оцінювання.

Практичне значення. На основі одержаних показників та критеріїв можна розробити методику оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.

Перспективи подальших досліджень. Представлене дослідження не вичерпує всіх аспектів зазначеної проблеми. Теоретичні результати, становлять підґрунтя для подальшого обґрунтування методики обчислювання числового значення ефективності функціонування СЗІКБ ОКІІ.

Список бібліографічного опису

1. Закон України "Про основні засади забезпечення кібербезпеки України". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19>.
2. Маслова Н.А. Методы оценки эффективности систем защиты информационны систем. *Искусственный интеллект*. 2008. № 4.С. 253 – 264.
3. Андреев К. Метод оценки экономической эффективности подразделения по защите информации. *Информационная безопасность*. 2010. №5. URL: <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/metod-ocenki>

ekonomicheskoi-effektivnosti-podrazdeleniya-po-zashite-informacii.

4. Козубцова Л.М., Хлапонин Ю.І., Козубцов І.М. Методика оцінювання ефективності виконання заходів забезпечення кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури організацій. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2021. №2 (41). С. 17-22.
5. Козубцова Л.М., Рудоміно-Дусятська І.А., Сновида В.Є. Обчислення показників ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки. *Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво»*. 2021. Випуск №45. С. 19-25. URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/315/405>.
6. Department of Energy (2021) Cybersecurity Capability Maturity Model. URL: <https://www.energy.gov/ceser/cybersecurity-capability-maturity-model-c2m2>.
7. Center for Internet Security (2021) CIS Controls V8. URL: <https://www.cisecurity.org/controls>.
8. Information Systems Audit and Control Association (ISACA) (2021) Control Objectives for Information and Related Technologies. URL: <https://www.isaca.org/resources/cobit>.
9. International Energy Agency (2021) Enhancing Cyber Resilience in Electricity Systems. URL: <https://webstore.iea.org/download/direct/4359>.
10. International Society of Automation (2013) ISA 62443-3-3:2013 – Security for industrial automation and control systems Part 3-3: System security requirements and security levels (ISA, North Carolina, USA). URL: <https://www.isa.org/products/ansi-isa-62443-3-3-99-03-03-2013-security-for-indu>.
11. International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission (2013) ISO/IEC 27001:2013 – Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements (ISO, Geneva, Switzerland). URL: <https://www.iso.org/standard/54534.html>.
12. National Institute of Standards and Technology and North American Electric Reliability Corporation (2020) Mapping of NIST Cybersecurity Framework v1.1 to NERC CIP Reliability Standards. URL: <https://doi.org/10.18434/mds2-2348>.
13. North American Electric Reliability Corporation (2021) NERC CIP Enforceable Standards. URL: <https://www.nerc.com/pa/Stand/Pages/CIPStandards.aspx>.
14. National Institute of Standards and Technology (2018) Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, Version 1.1. (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD). URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.04162018>.
15. National Institute of Standards and Technology (2021) National Online Informative References Program. URL: <https://csrc.nist.gov/projects/olir>.
16. Joint Task Force Transformation Initiative (2015) Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations. (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD), NIST Special Publication (SP) 800-53, Rev. 4, Includes updates as of January 22, 2015. URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-53r4>.
17. Додаток 1. Методичні рекомендації щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури, затверджених наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 6 жовтня 2021 р. № 601 (у редакції наказу Адміністрації Держспецзв'язку від 12 жовтня 2021 року № 616). URL: <https://cip.gov.ua/services/cm/api/attachment/download?id=42961>.

References

1. The law of Ukraine “On basic principles of ensuring cybersecurity of Ukraine”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19>. (in Ukrainian).
2. Maslova N.A. Methods of evaluating the effectiveness of information systems protection systems. *Artificial Intelligence*. 2008. No. 4. pp. 253-264. (in Russian).
3. Andreev K. Method of assessing the economic efficiency of the information protection unit. *Information security*. 2010. No.5. URL: <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/metod-ocenki-ekonomicheskoi-effektivnosti-podrazdeleniya-po-zashite-informacii>. (in Russian).
4. Kozubtsova L.M., Khlaponin Yu.I., Kozubtsov I.M. Methodology for evaluating the effectiveness of measures to ensure cybersecurity of critical information infrastructure objects of organizations. *Modern information technologies in the field of security and defense*. 2021. No.2 (41). pp. 17-22. (in Ukrainian).
5. Kozubtsova L.M., Rudomino-Dushyatskaya I.A., Lunoda V.E. Calculus of performance indicators of the system of information security and cybersecurity // scientific journal "Computer-Integrated Technologies: Education, Science, production". 2021. issue No.45. pp. 19-25. URL: <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/315/405>. (in Ukrainian).
6. Department of Energy (2021) Cybersecurity Capability Maturity Model. URL: <https://www.energy.gov/ceser/cybersecurity-capability-maturity-model-c2m2>.
7. Center for Internet Security (2021) CIS Controls V8. URL: <https://www.cisecurity.org/controls>.
8. Information Systems Audit and Control Association (ISACA) (2021) Control Objectives for Information and Related Technologies. URL: <https://www.isaca.org/resources/cobit>
9. International Energy Agency (2021) Enhancing Cyber Resilience in Electricity Systems. URL: <https://webstore.iea.org/download/direct/4359>.
10. International Society of Automation (2013) ISA 62443-3-3:2013 – Security for industrial automation and control systems Part 3-3: System security requirements and security levels (ISA, North Carolina, USA). URL: <https://www.isa.org/products/ansi-isa-62443-3-3-99-03-03-2013-security-for-indu>

11. International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission (2013) ISO/IEC 27001:2013 – Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements (ISO, Geneva, Switzerland). URL: <https://www.iso.org/standard/54534.html>
12. National Institute of Standards and Technology and North American Electric Reliability Corporation (2020) Mapping of NIST Cybersecurity Framework v1.1 to NERC CIP Reliability Standards. URL: <https://doi.org/10.18434/mds2-2348>.
13. North American Electric Reliability Corporation (2021) NERC CIP Enforceable Standards. URL: <https://www.nerc.com/pa/Stand/Pages/CIPStandards.aspx>.
14. National Institute of Standards and Technology (2018) Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, Version 1.1. (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD). URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.04162018>.
15. National Institute of Standards and Technology (2021) National Online Informative References Program. URL: <https://csrc.nist.gov/projects/olir>.
16. Joint Task Force Transformation Initiative (2015) Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations. (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD), NIST Special Publication (SP) 800-53, Rev. 4, Includes updates as of January 22, 2015. URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-53r4>.
17. Appendix 1. methodological recommendations for improving the level of cyber protection of critical information infrastructure, approved by Order No. 601 of the State Service for Special Communications administration of October 6, 2021 (as amended by the Order of the administration Gosspetsvyaz No. 616 dated October 12, 2021). <https://cip.gov.ua/services/cm/api/attachment/download?id=42961>. (in Ukrainian).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-11>

УДК 004.413:338.5

Косенюк Григорій Володимирович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2103-3904>

Розломій Інна Олександрівна, к.т.н., старш. викладач

<https://orcid.org/0000-0001-5065-9004>

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, Україна

КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД У ВИКЛАДАННІ КУРСУ «ТЕОРІЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА» ЗДОБУВАЧАМ ВИЩОЇ ОСВІТИ В ГАЛУЗІ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

Косенюк Г.В., Розломій І.О. Компетентнісний підхід у викладанні курсу «Теорія ймовірностей та математична статистика» здобувачам вищої освіти в галузі комп'ютерних наук. Під впливом інформатизації суспільства на ринку праці зростають вимоги до спеціалістів різних галузей, особливо це стосується фахівців у галузі комп'ютерних наук. Компетентний фахівець з інформаційних технологій повинен не тільки досконало володіти сучасним апаратним та програмним забезпеченням комп'ютерних технологій, а й бути готовим до розробки нових програмних продуктів, постійного вдосконалення власних фахових компетенцій у майбутній професійній діяльності. З метою підвищення ефективності підготовки майбутніх фахівців комп'ютерної галузі необхідно у процесі вивчення дисциплін професійного циклу застосовувати спеціальні прийоми та методи, які сприятимуть формуванню та розвитку професійних компетентностей. **Мета дослідження** полягає у визначенні основних підходів при формуванні фахових компетентностей майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук у процесі вивчення дисципліни «Теорія ймовірностей та математична статистика». В даному дослідженні виокремлено основні складові професійної компетентності майбутніх фахівців з інформаційних технологій, продемонстровано ряд прийомів та методів, які сприяють формуванню та вказаних компетентностей у процесі викладання курсу «Теорія ймовірностей та математична статистика». Продемонстровано на прикладах прийоми формування фахових компетентностей майбутніх фахівців з інформаційних технологій в процесі практичних занять з теорії ймовірностей та математичної статистики. У процесі впровадження вказаних прийомів та методів при викладанні дисципліни «Теорія ймовірностей та математична статистика» було помічено, що у студентів зростає професійний інтерес до вивчення комп'ютерних наук, майбутні випускники переконуються у важливості та величезних можливостях застосування інформаційних технологій в інших галузях, формуються навички самостійної роботи і, як наслідок, здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.

Ключові слова: професійна компетентність, майбутні бакалаври комп'ютерних наук, самостійна робота студентів.

Kosenyuk H., Rozlomi I. Competence-based approach in offering the course "Theory of correlations and mathematical statistics" to higher education recipients in computer science. Under the influence of informatization of the society labor market demands for specialists in different branches of economy increase, especially it concerns computer science specialists. The competent technician-programmer should not only master the modern hardware and software of computer technologies, the skills of task formalization in modern programming languages, but also be ready to develop new software products, continuously improve own professional competences in future professional activity. In order to increase the effectiveness of training future specialists in the computer industry, it is necessary to apply special techniques and methods in the process of training future professionals, which will contribute to the formation and development of professional competencies. The aim of the study is to theoretically justify the need for a competency-based approach in the process of training future computer scientists, the selection of organizational and pedagogical conditions that contribute to the formation of future graduates' professional competence in the process of studying the discipline "Probability Theory and Mathematical Statistics". This study highlights the main components of professional competence of future specialists in computer science, demonstrates a number of techniques and methods that contribute to the formation and development of these indicators in the process of teaching the course "Probability Theory and Mathematical Statistics". A number of probability theory and mathematical statistics tasks were developed, the solution of which contributes to improving the level of indicators of professional competence of future software technicians. Also presented the tasks for the research project on the section of mathematical statistics, preparation and defense of which involves the active use of modern software. In the process of implementing the mentioned techniques and methods in teaching the discipline "Theory of Probability and Mathematical Statistics" it was noted that the students' professional interest in the study of computer science is growing, future graduates are convinced of the importance and enormous possibilities of using information technology in other fields. Future graduates also need to master new software products, because in their own experience (this experience can not be acquired in the classes on probability theory and mathematical statistics) are convinced of the effectiveness of the use of computer technology in solving problems.

Key words: professional competence, future technicians-programmers, organizational and pedagogical conditions, cognitive activity of students, development of creative qualities.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Одним з провідних завдань вищих навчальних закладів є забезпечення якісної професійної підготовки майбутніх фахівців, зокрема майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук. Компетентнісний підхід передбачає формування у майбутніх випускників вищих навчальних закладів професійної компетентності на такому рівні, що дозволить їм конкурувати на ринку

праці, задовольнити вимоги потенційних працедавців та швидко інтегруватись у професійне середовище.

Формування та розвиток фахових компетентностей у майбутніх фахівців з інформаційних технологій має відбуватись в процесі вивчення всіх дисциплін, які передбачені освітньою програмою даної спеціальності та освітнього рівня. Сучасний фахівець комп'ютерних наук повинен бути готовим самостійно вирішувати поставлені перед професійні завдання, здатним застосовувати отримані знання в практичних ситуаціях, креативно підходити до вирішення проблем, брати на себе відповідальність за прийняте рішення, бути готовим до саморозвитку та професійного самовдосконалення. Саме такі майбутні інженерів-програмісти можуть задовольнити сучасний ринок праці.

Важливим елементом компетентнісного підходу при підготовці майбутніх фахівців з інформаційних технологій в процесі вивчення дисципліни «Теорія ймовірностей та математична статистика» є використання спеціальних прийомів та методів, які б сприяли формуванню та розвитку їх професійної компетентності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття «компетентність» досліджували такі вчені, як: В. Ю. Биков [1], С. Г. Литвинова [9], Н. В. Морзе [10], В. В. Осадчий [12], К. П. Осадча [12], О. М. Спирін [16] та багато інших науковців.

Аспекти формування професійних компетентностей майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук, висвітлені у роботах М. О. Вінника [2], Т. Є. Гончаренка [3], Л. В. Зубика [4], В. С. Круглика [7], Т. В. Ковалюк [5], С. Г. Литвинової [8], Т. Ю. Морозової [11], С. Л. Проскури [13], В. Є. Седова [14], А. В. Стрюк [17], В. В. Осадчого [12], К. П. Осадчої [12] та інших науковців.

Мета дослідження полягає у визначенні основних підходів при формуванні загальних та спеціальних компетентностей у процесі вивчення дисципліни «Теорія ймовірностей та математична статистика».

Виклад матеріалу дослідження та його основні результати. Провідним завданням сучасної системи вищої освіти є професійна підготовка майбутніх фахівців, здатних застосовувати отримані знання на практиці, самостійно отримувати нові знання, логічно і креативно мислити, реально оцінювати свої можливості, бути готовим до постійних змін у професійному оточенні. Зважаючи на бурхливий розвиток та постійні оновлення в інформаційно-технічній галузі сучасний фахівець з інформаційних технологій має бути здатним до професійної самореалізації, використання новітніх інформаційних технологій, освоєння нового програмного середовища.

У своїх останніх працях С. Г. Литвинова доводить, що головною метою нової української освіти є формування компетентного випускника, який буде здатним застосувати отримані знання у житті, насиченому цифровими засобами комунікації, управління, отримання освіти, ведення бізнесу [9].

Компетентність майбутнього бакалавра комп'ютерних наук полягає у його здатності проявляти особистісні, професійні і соціальні можливості у професійній діяльності, застосовуючи знання, вміння та практичні навички, вибирати оптимальні рішення у конкретних ситуаціях, реалізовувати свій досвід у практичній діяльності.

На основі аналізу термів різних авторів, щодо формування професійної компетентності фахівців з інформаційних технологій В. С. Круглик виокремлює такі умови розвитку професійної компетентності студентів [7]:

- організаційно-управлінські: навчальний план, графіки семестрів, розклади занять, встановлені критерії рівнів компетентності, матеріально-технічне забезпечення навчального процесу;

- навчально-методичні: відбір змісту занять, інтеграція різних курсів, виокремлення провідних ідей;

- технологічні: контрольні оцінювання, організація активних форм навчання, визначення вмінь, які входять до компетентності, застосування інновацій навчання;

- психолого-педагогічні: діагностика розвитку студентів, розробка системи стимулювання мотивації навчання, визначення критеріїв компетентності, рефлексивно-оцінюючий етап кожного заняття.

Аналізуючи вищу освіту в Україні, автор Т. Ю. Морозова розглядає формування професійних компетентностей майбутніх бакалаврів з інформаційних технологій та комп'ютерних наук, як складний багатофункціональний процес, спрямований на оволодіння стійкими, інтегрованими, фаховими знаннями, вміннями застосувати їх у нових, нестандартних ситуаціях з

метою забезпечення розвитку особистісних якостей і властивостей, що визначаються здатністю до продуктивної професійної діяльності. Усі чинники спрямовані на реалізацію власного творчого потенціалу [11].

На основі аналізу праць низки науковців та Стандарту вищої освіти України за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти в освітньо-професійній програмі «Комп'ютерні науки» компететності, які мають бути сформовані у бакалаврів комп'ютерних наук в процесі вивчення дисципліни «Теорія ймовірностей та математична статистика» [15]:

- здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями;
- готовність до професійного саморозвитку та фахового самовдосконалення;
- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність до креативного мислення;
- здатність до пошуку, оброблення інформації з різних джерел;
- здатність працювати в команді;
- здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей;
- здатність до обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування.
- здатність до системного мислення;
- здатність до застосування методології системного аналізу для дослідження складних проблем різної природи, методів формалізації та розв'язування системних задач, що мають суперечливі цілі, невизначеності та ризики.

Показник, який суттєво впливає на здатність майбутніх фахівців з інформаційних технологій вчитися й оволодівати сучасними знаннями, є самостійна робота студента. Даний вид роботи можливий як під час аудиторних занять так і при підготовці до контролю знань. Розглянемо на прикладі організацію самостійної роботи студентів під час практичного заняття. В процесі вивчення дисципліни «Теорія ймовірностей та математична статистика» доцільно практичні роботи подавати не в двох-чотирьох варіантах, а формулювати завдання таким чином, щоб кожен студент мав індивідуальний варіант роботи. На початку практичного заняття викладач має пояснити методику виконання кожного завдання. На етапі контролю студенти отримують завдання у 25-30 варіантах. Номер варіанта співпадає з номером студента у списку в журналі. Кожен студент методом підстановки замість буквених величин конкретних числових значень отримує свій індивідуальний варіант роботи. Такі задачі не потребують спеціальних програм та виконуються за допомогою відповідних формул, оформляються в електронному вигляді, щоб при потребі можна було внести корективи. Кожен студент працює самостійно, але при потребі може звернутись за консультацією до викладача. Даний прийом сприяє розвитку вмінь працювати самостійно, засвоювати в процесі виконання матеріал, який з тієї чи іншої причини не був засвоєний.

Далі наведено приклад фрагменту практичної роботи по темі «Повторні незалежні експерименти за схемою Бернуллі».

Завдання 1. Під час ревізії підприємства проводиться перевірка якості виробництва usb-шнурів. У документах заявлено, що цех випускає $a\%$ usb-шнурів без дефектів. Спеціалісти ревізійної групи навмання беруть n usb-шнурів. Обчислити ймовірності таких випадкових подій:

- 1) кількість usb-шнурів без дефектів виявиться m шт.;
- 2) від $m - 5$ до $m + 5$ шт.

Варіант	a	n	m	Варіант	a	n	m	Варіант	a	n	m
1	80	100	85	10	80	100	100	19	80	100	100
2	85	120	100	11	85	120	120	20	85	120	120
3	90	140	120	12	90	140	130	21	90	140	130
4	95	160	130	13	95	160	140	22	95	160	140
5	80	180	140	14	80	180	160	23	80	180	160
6	85	200	160	15	85	200	180	24	85	200	180
7	90	220	180	16	90	220	200	25	90	220	200
8	95	240	200	17	95	240	220				
9	80	260	220	18	80	260	100				

Завдання 2. Імовірність того, що під час страхового періоду за застрахованою особою станеться нещасний випадок, становить у середньому r %. Яка ймовірність того, що серед навмання вибраних n клієнтів деякої страхової компанії, застрахованих від нещасного випадку, страховий випадок наступив:

- 1) у m клієнтів;
- 2) не більш як m клієнтів.

Варіант	r	n	m	Варіант	r	n	m	Варіант	r	n	m
1	0,5	200	2	10	0,5	200	2	19	0,5	200	2
2	1,0	250	3	11	1,0	250	3	20	1,0	250	3
3	1,5	300	4	12	1,5	300	4	21	1,5	300	4
4	2,0	350	5	13	2,0	350	5	22	2,0	350	5
5	2,5	400	2	14	2,5	400	2	23	2,5	400	2
6	3,0	450	3	15	3,0	450	3	24	3,0	450	3
7	3,5	200	4	16	3,5	200	4	25	3,5	200	4
8	0,5	250	5	17	0,5	250	5				
9	1,0	300	2	18	1,0	300	2				

Наведемо один з прийомів формування здатності до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей на прикладі вивчення теми «Неперервні випадкові величини та їх числові характеристики». Долі представлено приклад фрагменту індивідуальної практичної роботи з даної теми:

Завдання. Маємо вибірку 50-ти найбільших підприємств України з зазначенням їх власника, розміру доходу та прибутку (подається таблиця зі списком 50-ти підприємств з зазначенням вказаних в умові показників).

Потрібно обрати 25 підприємств, починаючи з номера підприємства, що відповідає номеру варіанта студента у списку.

За отриманими даними:

1. Побудувати інтервальний статистичний розподіл вибірки підприємств за їх доходом (для непарних варіантів) та розподіл вибірки підприємств за їх прибутком (для непарних варіантів);

2. Побудувати функцію розподілу $F^*(x)$ та її графік;

3. Побудувати гістограму частот;

4. Знайти моду, медіану та пояснити їх зміст;

5. Знайти середнє вибіркове значення, розмах вибірки, дисперсію, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації, пояснити їх зміст.

Доцільно дане завдання спочатку повністю розв'язати традиційними методами з використанням формул, за винятком побудови графіків засобами MsExcel. Таким чином студенти повністю засвоюють теоретичний матеріал з даної теми, закріплюючи його практичним застосуванням при дослідженні неперервних випадкових величин. Далі варто запропонувати студентам альтернативні способи виконання даного завдання з використанням програмного забезпечення. Наприклад, знайти числові характеристики випадкової величини за допомогою команди «Описова статистика» надбудови «Аналіз даних», здійснити групування значень випадкової величини та побудувати гістограму і кумуляту за допомогою команди «Гістограма».

Завдання на перевірку гіпотез аналогічно доцільно спочатку вирішувати традиційними методами, а потім з використанням відповідних тестів пакету аналізу MsExcel.

Згідно освітньо-професійної програми «Комп'ютерні науки» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти одним з програмованих результатів навчання є «використання сучасних програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки даних і побудови прогнозних моделей».

Розглянемо прийом формування даної компетентності на прикладі вивчення теми «Кореляційний та регресійний аналіз».

Завдання. За допомогою генератора випадкових чисел сформувані два стовпці даних довжиною 250 елементів. З ймовірністю 0,95:

– побудувати однофакторну модель виду $\hat{y} = a_0 + a_1 \cdot x$;

– перевірити істотність зв'язку між факторами за допомогою коефіцієнта кореляції і коефіцієнта детермінації;

- оцінити надійність моделі за допомогою критерію Фішера;
- знайти прогнозне значення та інтервал довіри для прогнозу;
- визначити коефіцієнт еластичності в точці прогнозу;
- навести графічну інтерпретацію моделі;

– за допомогою отриманої моделі побудувати точковий та інтервальний прогноз результативного показника при умові, що факторний показник буде в 1,5 раз більше свого середнього значення.

Перед студентами стоїть завдання виконати дану роботу щонайменше трьома різними методами з використанням програмного забезпечення. Наприклад, за допомогою функції ЛИНЕЙН табличного процесора MsExcel, з використанням команди «Регресія» пакету аналізу, в програмних середовищах STATISTIKA та R-studio тощо. Даний прийом не тільки сприяє більш глибокому освоєнню можливостей відповідних програм, а й дає змогу переконатись студентам у важливості та величезному значенні інформаційних технологій при вирішенні завдань різного характеру з різних дисциплін. У майбутніх фахівців формуються навички побудови моделей випадкових процесів та оцінювання якості отриманих моделей різними методами. Студенти, порівнюючи точність побудованої моделі, обирають, яка програма краще підходить для вирішення такої задачі і вже на основі свого вибору виконують прогноз.

Висновки. Провідним завданням вищої професійної освіти України в умовах постійного розвитку інформаційного суспільства є підготовка фахівця з глибокими професійними знаннями, практико-зорієнтованими компетенціями, здатного вчитися й оволодівати сучасними знаннями, самостійно вирішувати поставлені перед ним професійні завдання, здатного до професійного саморозвитку та самовдосконалення, до творчого перетворення дійсності, готового до змін у фаховій діяльності, конкурентоспроможного на ринку праці.

Дисципліна «Теорія ймовірностей та математична статистика» дає можливість формувати як загальні і спеціальні компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук. З цією метою варто відійти від традиційних способів проведення практичних занять, максимально використовуючи в їх процесі індивідуальний підхід та програмне забезпечення. Вказані прийоми сприяють здатності студентів працювати самостійно, підходити творчо до вибору способів вирішення задач, вибору найоптимальнішого програмного середовища, здатності самостійно засвоювати матеріал та використовувати його на практиці.

Лише комплексне, неперервне та систематичне застосування вказаних прийомів та методів в процесі вивчення фахових дисциплін забезпечить підготовку фахівців, здатних до абстрактного та креативного мислення, аналізу і синтезу, здатних працювати в команді, бути готовими до постійних змін, готових до професійного саморозвитку та самовдосконалення.

Список бібліографічного опису

1. Биков В. Ю., Овчарук О. В. Оцінювання інформаційно-комунікаційної компетентності учнів та педагогів в умовах євроінтеграційних процесів в освіті. Київ : Педагогічна думка, 2017. С 124-131.
2. Вінник М. О. Формування науково-дослідницької компетентності майбутніх інженерів-програмістів в умовах освітнього середовища вищого навчального закладу: дис. канд. пед. наук: 13.00.04 / Херсонський державний університет. Херсон, 2016. 247 с.
3. Гончаренко Т. Є. Педагогічні умови професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у технічному університеті: дис. канд. пед. наук: 13.00.04; Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди. Харків, 2018. 270 с.
4. Зубик Л. В. Формування професійних компетентностей майбутніх бакалаврів з інформаційних технологій у процесі вивчення фахових дисциплін дис. канд. пед. наук: 13.00.04. 2016. 358 с.
5. Ковалюк Т. В. Узгодження вимог професійних та освітніх ІТ-стандартів до компетентностей випускників ІТ-спеціальностей ВНЗ. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі.* 2017. № 872. С. 229-240.
6. Кривонос О. М. Формування інформаційно-комунікаційних компетентностей майбутніх учителів інформатики в процесі навчання програмування: дис. канд. пед. наук: 13.00.02. 2014. 284 с.
7. Discord platform as an online learning environment for emergencies / V. Kruglyk et al. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology.* 2020. Vol. 8, no. 2. P. 13–28. URL: <https://doi.org/10.32919/uesit.2020.02.02> (date of access: 10.08.2022).
8. Литвинова С. Г. Віртуальний клас як комп'ютерно орієнтоване навчальне середовище вчителя загальноосвітнього навчального закладу. *Інформаційні технології і засоби навчання.* 2011. № 2 (22) URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/331/387>
9. Литвинова С. Г. Модель використання системи комп'ютерного моделювання для формування компетентностей учнів з природничо-математичних предметів. *Фізико-математична освіта.* 2019. Вип. 1(19). С. 108-115.

10. Морзе Н. В., Кочарян А. Б., «Інформаційно-комунікаційна компетентність науково-педагогічних працівників університету. Історичний розвиток формування понятійного апарату». *Педагогічна освіта: теорія і практика*. Психологія. Педагогіка. 2015. № 24. С. 20-31,
11. Морозова Т. Ю. Вища ІТ-освіта в Україні (системне дослідження): монографія Луганськ : видавництво СНУ ім. В. Даля, 2010. 286 с
15. Національна стратегія розвитку освіти в Україні на 2012–2021 роки. URL:http://oneu.edu.ua/wpcontent/uploads/2017/11/nsro_1221.pdf.
12. Осадчий В. В., Осадча К. П. Сучасні реалії і тенденції розвитку інформаційно-комунікаційних технологій в освіті. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2015. Т. 48, № 4. С. 234-249.
13. Проскура С. Л., Литвинова С. Г. Підготовка фахівців з інформаційних технологій у закладах вищої освіти: стан, проблеми і перспективи. *Інформаційні технології в освіті*. 2018. Т. 2. № 35. С. 72-88.
14. Седов В. Є. Формування фахової компетентності майбутніх інженерів-програмістів в умовах магістратури: дис. канд. пед. наук: 13.00.04 / Херсонський державний університет. Херсон, 2016. 238 с.
15. Стандарт вищої освіти України за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. (затвердж. і введений в дію наказом МОН України No 962 від 10.07.2019). 24 с.
16. Спірін О. М. Критерії і показники якості інформаційно-комунікаційних технологій навчання/*Інформаційні технології і засоби навчання*. 2013. №1 (33). URL: <http://lib.iitta.gov.ua/826/1/788-2634-1-PB.pdf>.
17. Стрюк К. М. Зміст професійної компетентності майбутніх фахівців із комп'ютерної інженерії. *Збірник наукових праць [Херсонського державного університету]. Педагогічні науки*. 2016. Вип. 73(2). С. 118-122.

References

1. Vykov V. Yu., Ovcharuk O. V. Evaluation of information and communication competence of students and teachers in the conditions of European integration processes in education. Kyiv: Pedagogical thought, 2017. P 124-131.
2. Vinnyk M. O. Formation of scientific and research competence of future software engineers in the conditions of the educational environment of a higher educational institution: diss. Ph.D.: 13.00.04 / Kherson State University. Kherson, 2016. 247 p.
3. Goncharenko T.E. Pedagogical conditions of professional training of future software engineers at a technical university: diss. Ph.D.: 13.00.04; Kharkiv National Pedagogical University named after H.Skovoroda, Kharkiv, 2018. 270 p.
4. Zubyk L.V. Formation of professional competences of future bachelors in information technologies in the process of studying professional disciplines dis. Ph.D.: 13.00.04. 2016. 358 p.
5. Kovalyuk T. V. Harmonization of the requirements of professional and educational IT standards to the competencies of graduates of IT specialties of universities. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Information systems and networks. 2017. No. 872. P. 229-240.
6. Krivonos O. M. Formation of information and communication competences of future informatics teachers in the process of teaching programming: dissertation. Ph.D.: 13.00.02. 2014. 284 p.
7. Discord platform as an online learning environment for emergencies / V. Kruglyk et al. Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology. 2020. Vol. 8, no. 2. P. 13–28. URL: <https://doi.org/10.32919/uesit.2020.02.02> (date of access: 10.08.2022).
8. Litvynova S. G. Virtual class as a computer-oriented learning environment for a teacher of a general educational institution. Information technologies and teaching aids. 2011. No. 2 (22) URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/331/387>
9. Litvynova S. G. A model of using a computer simulation system for the formation of students' competencies in science and mathematics subjects. Physical and mathematical education. 2019. Issue 1(19). P. 108-115.
10. Morse N.V., Kocharyan A.B., "Information and communication competence of scientific and pedagogical workers of the university. Historical development of the formation of the conceptual apparatus". Pedagogical education: theory and practice. Psychology. Pedagogy. 2015. No. 24. P. 20-31
11. Morozova T. Yu. Higher IT education in Ukraine (systemic study): monograph Luhansk: SNU publishing house named after V. Dala, 2010. 286 p 15. National strategy for the development of education in Ukraine for 2012–2021. URL: http://oneu.edu.ua/wpcontent/uploads/2017/11/nsro_1221.pdf
12. Osadchyy V.V., Osadcha K.P. Contemporary realities and trends in the development of information and communication technologies in education. Information technologies and teaching aids. 2015. Vol. 48. No. 4. P. 234-249.
13. Proskura S. L., Litvynova S. G. Training of specialists in information technology in institutions of higher education: state, problems and prospects. Information technologies in education. 2018. Vol. 2. No. 35. P. 72-88.
14. Sedov V. E. Formation of professional competence of future software engineers in the conditions of the master's degree: dissertation. Ph.D.: 13.00.04 / Kherson State University., Kherson, 2016. 238 p.
15. Standard of higher education of Ukraine in specialty 122 "Computer science" for the first (bachelor's) level of higher education. (approved and put into effect by the order of the Ministry of Education and Culture of Ukraine No. 962 dated July 10, 2019). 24 p.
16. Spirin O. M. Criteria and indicators of the quality of information and communication technologies of education/ Information technologies and means of education. 2013. No. 1 (33). URL: <http://lib.iitta.gov.ua/826/1/788-2634-1-PB.pdf>
17. Striuk K. M. Content of professional competence of future specialists in computer engineering. Collection of scientific papers [Kherson State University]. Pedagogical sciences. 2016. Issue 73(2). P. 118-122.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-12>

УДК 004.8

Кубрак Юрій Олександрович, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-1122-7580>**Плечистий Дмитро Дмитрович**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-4803-159X>**Романішин Віктор Васильович**, старш.викладач<https://orcid.org/0000-0002-5212-8116>

Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Кубрак Ю.О., Плечистий Д.Д., Романішин В.В. Принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту. У статті розкрито принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту. У рамках дослідження розглядаються поняття агента, мультиагентної системи, розглянуто основні види агентних архітектур та узагальнений підхід до побудови розподілених інтелектуальних інформаційних систем з використанням мультиагентних технологій. Наголошено, що проблематика штучних агентів та мультиагентних систем ґрунтується на досягненнях, отриманих у рамках робіт з розподіленого штучного інтелекту, розподіленого вирішення завдань та паралельного штучного інтелекту. Підкреслено, що базовим поняттям, що лежить в основі мультиагентних технологій є поняття агента. Агент визначається, як сутність, яка може сприймати навколишнє середовище за допомогою рецепторів та взаємодіяти з ним, тобто агент – сутність, здатна до сприйняття довкілля у вигляді датчиків, і впливу на довкілля у вигляді виконавчих механізмів. Зазначається, що традиційно архітектури штучних агентів поділяються на три групи: реактивні, деліберативні та гібридні агентні архітектури. Обґрунтовано, що онтологія предметної галузі зазвичай характеризує інтелектуальні властивості агентів, тобто чим точніше і коректніше побудована онтологія з позначеними зв'язками між поняттями, тим повніше агент представляє предметну область, на яку він існує. Окреслено методику проектування мультиагентних систем, яка спирається на принцип розподілу функцій між усіма агентами системи. Така система, за своєю суттю, є сукупністю окремих інтелектуальних систем, кожна з яких вирішує своє завдання відповідно до принципу розподіленого розв'язання задач. Наголошено, що при вирішенні складних завдань за допомогою мультиагентного підходу часто існує необхідність розбиття її на підзавдання, які доручаються окремим агентам. Підкреслено, що багато агентів системи можуть інтерпретувати завдання з різних точок зору, а потім інтегрувати отримані результати. Зазначається, що функціональне розподілення прикладних програм дозволяє усунути безліч недоліків класичних експертних систем.

Ключові слова: штучний інтелект, машинне навчання, мультиагенти, методологія, архітектура, система.

Kubrak Y., Plechystyy D., Romanishyn V. A multi-agent system of artificial intelligence forming principles. The article discloses the principles of forming a multi-agent system of artificial intelligence. Within the framework of the study, the concepts of an agent, a multi-agent system are considered, the main types of agent architectures and a generalized approach to the construction of distributed intelligent information systems using multi-agent technologies are considered. It is emphasized that the problems of artificial agents and multi-agent systems are based on achievements obtained in the framework of works on distributed artificial intelligence, distributed problem solving and parallel artificial intelligence. It is emphasized that the basic concept underlying multi-agent technologies is the concept of an agent. An agent is defined as an entity that can perceive the environment using receptors and interact with it, that is, an agent is an entity capable of perceiving the environment in the form of sensors and influencing the environment in the form of executive mechanisms. It is noted that traditionally the architectures of artificial agents are divided into three groups: reactive, deliberative and hybrid agent architectures. It is substantiated that the ontology of a subject field usually characterizes the intellectual properties of agents, that is, the more accurately and correctly the ontology is built with marked connections between concepts, the more fully the agent represents the subject area for which it exists. The method of designing multi-agent systems is outlined, which is based on the principle of distribution of functions between all agents of the system. Such a system, in its essence, is a set of separate intelligent systems, each of which solves its task according to the principle of distributed problem solving. It is emphasized that when solving complex tasks using a multi-agent approach, there is often a need to divide it into subtasks that are assigned to individual agents. It is emphasized that many agents of the system can interpret tasks from different points of view and then integrate the obtained results. It is noted that the functional distribution of application programs makes it possible to eliminate many shortcomings of classic expert systems.

Key words: artificial intelligence, machine learning, multiagents, methodology, architecture, system

Вступ та постановка проблеми. Класичний централізований підхід, лежить в основі наукових надбань багатьох дослідників штучного інтелекту, роботи яких більш зосереджені на експертних системах або системах, заснованих на знаннях, які походять від інженерії знань. Деякі з проблем, з якими зіткнулися сучасні науковці та практичні діячі, полягали в обмеженому контексті застосування, труднощах моделювання контексту розумного проектування, і труднощах обміну знаннями з подібними суб'єктами, тобто співпраці. На початку формування наукової думки, у межах окресленого дослідження, розподілені підходи, розширювалися і розширювали можливості класичних ізольованих і централізованих систем. В умовах сьогодення, проектування та розробка таких взаємодіючих систем стикається з кількома проблемами, наприклад, як

змоделювати знання для обміну між декількома об'єктами, як ефективно координувати розподілені об'єкти та як досягти вищої ефективності у порівнянні з централізованими системами.

Робоча область у спільноті штучного інтелекту була названа розподіленим штучним інтелектом і розглядала кілька підходів до моделювання та вирішення складних проблем у штучному інтелекті, що включають міркування, планування, навчання тощо. Умови застосування методів розподіленого штучного інтелекту демонструють такі характеристики, як великі вибірки даних, розподілені системи та/або слабо зв'язну автономну обробку даних. Розподілене вирішення проблем і мультиагентні системи є двома основними підходами в роботі штучного інтелекту.

З одного боку, методи розподіленого вирішення проблем розподіляють завдання між набором вузлів. Його головними проблемами є декомпозиція завдань, синтез знань і те, як забезпечити глобальне ефективне рішення. З іншого боку, в мультиагентних системах агенти забезпечують більш гнучкий і автономний підхід до координації своїх знань і дій, щоб моделювати проблему, яку потрібно вирішити, і це може включати співпрацю або конкуренцію між різними групами агентів.

Мультиагентні системи стають чудовим підходом до моделювання та імітації складних систем, оскільки вони можуть застосовувати традиційний підхід штучного інтелекту зверху вниз, а також підхід знизу вгору, стаючи хорошим засобом для появи нових властивостей системи, які є одними з основних характеристик складних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки з'являється все більше робіт, в яких описуються механізми та принципи застосування машинного навчання та штучного інтелекту у рамках інтелектуальних систем та систем розподіленої дії.

У [1] проведено дослідження теоретико-методологічних засад та практичних рекомендацій з питань ефективного управління інформаційними ресурсами підприємства в режимі реального часу. Наведено модель мультиагентної системи управління інформаційними ресурсами у реальному часі.

М. Ю. Сорока [2] розробив модель мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи яка забезпечує ідентифікацію ситуації в підсистемі підготовки і прийняття рішень, що виконує передачу управління на відповідний рівень ієрархії системи поведінки інтелектуального агента. Наведена математична модель інтелектуального агента в якій враховано можливість здійснення впливу на зовнішнє середовище. Особливістю розробленої структури мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи є використання моделі поведінки інтелектуальних агентів, що забезпечують змінну поведінку і можливість рішення задач підготовки і прийняття рішень своїх подальших дій за допомогою різних моделей поведінки.

Методи та системи штучного інтелекту детально представлені на сторінках [3]. У рамках дослідження розглянуті питання щодо методів та систем штучного інтелекту, проектування, розробки і застосування систем, призначених для обробки інформації, які базуються на застосування методів штучного інтелекту та суміжних з ним інтелектуальних систем.

В. П. Волков, В. М. Павленко та В. П. Кужель [4] сформуливали аналітичне дослідження агентного підходу як складового елемента мультиагентної системи, яка відрізняє її від інших систем штучним інтелектом агентів, з метою підвищення контролю технічного стану транспортних засобів.

Застосування мультиагентних технологій і систем у сфері публічного управління досліджено на сторінках [5]. Дане дослідження дозволить значно збільшити ефективність публічного управління, перш за все за рахунок збільшення простору винайдення рішень та зменшення ролі людського фактору. До інтелекту людини має бути додано ще й інтелект агента, який здатен використовувати "старі" і будувати "нові" знання для виконання встановленого завдання в заздалегідь невідомих йому ситуаціях і проблемних галузях, де цей агент застосовується як активний виконавець завдань та є окремим елементом системи інтелектуальної підтримки прийняття рішення на основі технологій штучного інтелекту і мультиагентних систем.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Idri, Abdelfettah & Boulmakoul, Azedine [6], Silva, Jesus & Lezama, Omar & Varela, Noel [7], Leppänen, Teemu [8], Sante Dino Faccini [9], Yin, H. & Liu, L. & Zhong, Y. [10], Mathur, Sumeet & Singh, Yashpal & Syed, Habeebullah Hussaini [11], Grzonka, Daniel & Jakóbi, Agnieszka & Kołodziej, Joanna & Pllana, Sabri [12], Giret, A. & Botti, V. [13], Banerjee, Indradip & Bhattacharyya, Siddhartha [14], Amirkhani, Abdollah & Barshooi, Amir [15], Yinshuang Sun, Zhijian Ji, Yungang Liu, Chong Lin [16], Bezborodova, O.E. [17], Beutner, Raven & Finkbeiner, Bernd [18] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів формування мультиагентної системи штучного інтелекту залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту

Виклад основного матеріалу. Генезис поняття мультиагентна система сягає 70-х років ХХ століття, так В. Лессер та Л. Ерман [19] здійснили прорив у сфері інформаційних технологій запропонувавши поєднання окремих систем у єдину для виконання складних задач, таке рішення здатне більш ефективно реалізувати поставлене завдання.

Сучасні мультиагентні системи поділяються за мобільністю на статичні та мобільні, за принципом міркування на колективні та реактивні, за виконуваними завданнями на інформаційні та системи управління, за основними якостями на автономні, навчання та співпрацюючі. Також зустрічаються гібридні мультиагентні системи, які поєднують кілька функцій у одну систему.

Застосування мультиагентних систем вельми широке від соціальних сфер, пошуку інформації, віртуальної реальності, робототехніки до штучного інтелекту та біологічної симуляції.

Мультиагентні системи за своєю структурою є частиною розподіленого штучного інтелекту, метою яких є вирішення складних завдань чи моделювання фізичних чи віртуальних моделей. Неприпустимо сприймати агентів як ізольовані сутності, їх варто розглядати по відношенню до інших агентів, сутностей або людей, з якими вони спілкуються. Можливість розглядати кілька автономних агентів мультиагентної системи дуже підходить для складних і розподілених завдань, можливо, включаючи складну динаміку, які дуже важко вирішити за допомогою класичних об'єктів, що централізовано програмуються.

У якості розподіленого підходу мультиагентна система зазвичай має такі характеристики, як:

- різноманітність агентів за навичками, даними та здібностями до дії та взаємодії;
- спільна мета реалізації кінцевого рішення;
- розподіленість завдань, вся система повинна мати можливість розділити завдання, які повинні виконувати агенти з урахуванням їх здібностей та можливостей обробки.

Кожен агент у системі має обмежене уявлення про проблему в цілому, про навколишнє середовище та можливості інших агентів. Іноді це згадується як наявність у агентів обмежених ресурсів (обмежена раціональність, час обчислень, обсяг пам'яті тощо), які вони повинні об'єднати, щоб вирішити проблему загалом. З цієї точки зору виникає необхідність описати або налаштувати умови та глобальну архітектуру, де має працювати мультиагентна система, що зазвичай передбачає спілкування між агентами, їхню співпрацю чи конкуренцію.

Опортуністичний характер периферійних обчислювальних систем виправдовує розподілені підходи штучного інтелекту. Централізована оркестровка та управління, не кажучи вже про оптимізацію, потребує великої кількості різних джерел даних і складних алгоритмів для аналізу зібраних великомасштабних даних. Такі централізовані алгоритми було б важко проектувати, розробляти, розгортати, підтримувати та оцінювати з огляду на динамічність системи. Виконання розподіленої та розділеної периферійної інформаційної системи добре узгоджено із загальними властивостями та можливостями парадигми програмного агента та встановлених методологій для загальної мультиагентної системи. Агенти надають засоби для розповсюдження аналізу даних, що стосуються конкретної програми, а також для вилучення й обміну відповідною контекстно-залежною інформацією. Крім того, для мультиагентних систем розроблено добре відомі методи та протоколи для взаємозв'язку компонентів на основі агентів, співпраці, кооперації та конкуренції.

Мета бездоганної роботи та реалізації мультиагентної системи штучного інтелекту полягає в тому, щоб програми були в потрібному місці в потрібний момент, щоб покращити якість реалізації для користувачів і доступність розподілених системних ресурсів. Головне – зробити систему контекстно-зрозумілою та менш непередбачуваною. На системному рівні виклики у рамках мультиагентної системи створюють численні додатки з динамічно змінюваними контекстними складовими, які конкурують за ті самі ресурси.

Фундаментальними проблемами в оркестровці мультиагентної системи штучного інтелекту є:

- прийняття рішень щодо структуризації додатків і розподілу для мінімізації використання ресурсів;
- ефективний розподіл ресурсів у межах платформи;

– мобільність витрат на керування та мінімізація міграції програм на загальній магістралі виконання.

На мережевому рівні мультиагентна система штучного інтелекту є додатковою технологією до архітектури програмно визначеної мережі, яка повторно використовує ту саму мережеву інфраструктуру. Загальна архітектура базової моделі передбачає мережеві контролери на основі програмних агентів.



Рис. 1. Мультиагентна система штучного інтелекту

Мультиагентна система штучного інтелекту (рисунок 1) представлено як набір автономних і слабозв'язаних мікросервісів [15] на основі контейнерів. Функціональність контейнерної програми можна розділити та легко розподілити в системі, оскільки кожен мікросервіс може бути розроблений різними зацікавленими сторонами за допомогою різних технологій і розгорнутий незалежно. Кожен окремий мікросервіс можна розглядати як агентів. Стандартизованим механізмом взаємодії в мультиагентній системі штучного інтелекту є принципи архітектури Representational State Transfer (REST).

У REST основною абстракцією є ресурс, якому присвоєно назву та унікальний ідентифікатор та адресу. Ресурс має представлення його поточної вартості, REST надає простий інтерфейс для доступу та керування ресурсом. Взаємодії на основі REST відповідають моделі клієнт/сервер, як у сучасному Інтернеті. Тому очікується, що агенти будуть дотримуватись парадигми REST у своїй взаємодії з компонентами системи.

Ключові показники ефективності, визначені у перспективній направленості мультиагентної системи, надають агентам загальносистемну інформацію для планування, оцінки та вдосконалення своєї поведінки щодо індивідуальних і загальних цілей у відповідності до очікуваної роботи системи. Однак варто припустити, що всі компоненти мультиагентної системи повинні бути розроблені як програмні агенти. А можливості агентів використовуються скрізь, де зацікавлені сторони вважають розподілений штучний інтелект корисним.

Програмні агенти мають здатність до реактивної та адаптивної поведінки, міркування та планування щодо своїх індивідуальних цілей, оцінки своєї поведінки та навчання демонстрації проактивної поведінки. Поведінка агента виводиться зі специфікацій мультиагентної системи на основі ролі агента в представленні конкретного компонента системи.

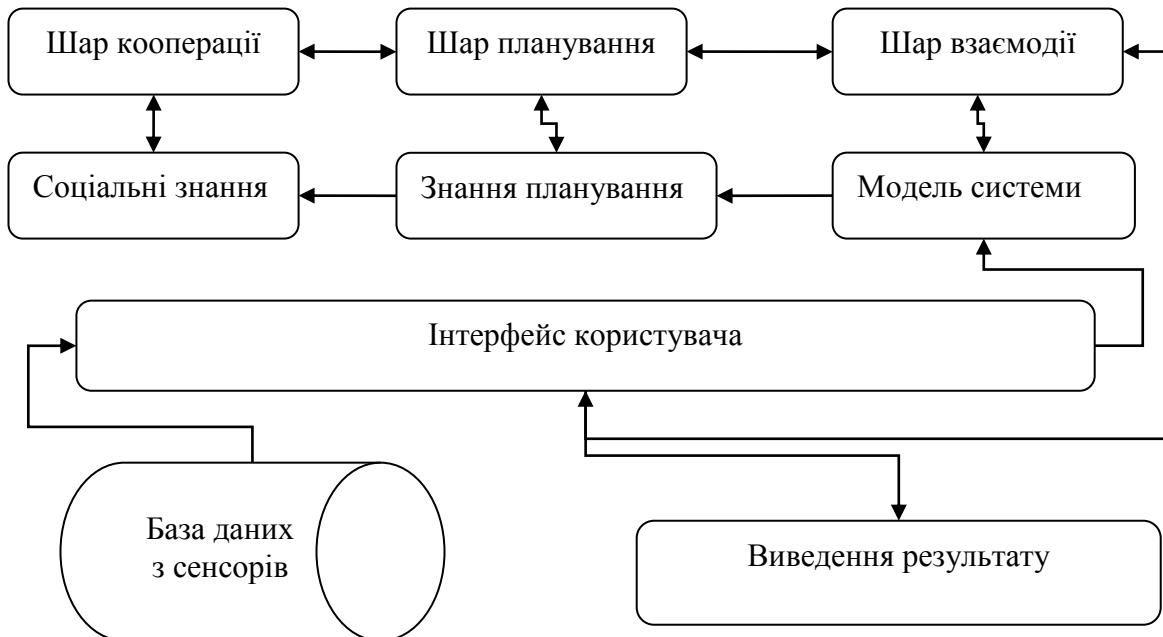


Рис. 2. Архітектура окремого агента мультиагентної системи штучного інтелекту

Після авторизації агенти керування програмами створюють і/або підтримують контексти програми. Тут для агентів корисно спільно оцінювати запити та контексти додатків, наприклад якщо кілька користувачів отримують доступ до однієї програми або кілька програм доступні одному користувачу. У такому випадку агенти можуть діяти як представники агрегованих запитів на стороні системи, зберігаючи контексти, надані користувачами, і функціонуючи як проміжна ланка між елементами системи. Такий агент зменшує потребу в синхронних з'єднаннях із користувацьким додатком і далі працює як інтелектуальний проксі-сервер у сприятливому середовищі.

Для програми обслуговування або надання послуг угода про рівень обслуговування і платіжні агенти представляють постачальників послуг, які разом із клієнтськими агентами та агентами керування програмами укладають угоди щодо використання ними послуг. Перевагою, порівняно з не агентськими підходами, є можливість використовувати добре відомі протоколи взаємодії. Тоді постачальників послуг можна було б легко абстрагувати як брокерів у таких сценаріях.

Роль єдиного простору взаємодії полягає в обробці запиту від агентів керування програмами та авторизації контекстів програми для розгортання. Це виконується агентами автентифікації додатків, які спільно та з агентами керування оцінюють багатокористувацькі або багатопрограмні запити та вимоги в контекстах. Це корисно для зменшення повторюваних і дублюючих запитів від різних зацікавлених сторін. Агенти керування додатками перевіряють раціональність контекстів у співпраці з агентом мережевого оператора, який представляє ресурси мобільної мережі, наприклад політики оператора та розташування хост-сайтів. У найкращому випадку співпраця агентів призводить до розгортання, де агенти можуть проактивно розробляти спільні плани щодо забезпечення функціональності програм. Машинне навчання на основі агентів можна використовувати для подальшої оцінки та оптимізації планів за допомогою інформації про продуктивність, отриманої від мультиагентної системи. Агенти спів взаємодії та агенти керування програмами можуть бути внутрішньо організовані як окрема ланка мультиагентної системи штучного інтелекту.

Окреслена ланка є найскладнішим компонентом у системі. Специфікації дозволяють вважати її розподіленим компонентом. Агент управління системою – має повноваження приймати рішення на системному рівні щодо життєвого циклу програми, керувати ланками і використовувати системні ресурси з урахуванням необхідних ключових показників ефективності.

Агент управління системою має містити всю інформацію про систему, як зазначено в специфікаціях. Однак інформація має розподілятися відповідно до ролей агентів у системі, причому кожен агент надає власну уточнену контекстно-залежну інформацію для прийняття рішень. Саме тут агентна парадигма демонструє свої сильні сторони, оскільки для мультиагентної системи загалом доступна низка стратегій організації, планування, оркестровки та навчання. Таким чином, архітектура управління мультиагентною системою є ієрархічною та гібридною, що складається з суб-агентів та агентів із різними ролями. Через внутрішню складність вивчення мультиагентна система є об'єднаним зусиллям, де для оптимізації підсистем впроваджують машинне навчання на основі агента з обмеженими цілями. Агент керування програмами керує життєвим циклом програм на рівні системи. Агент моніторингу ресурсів підтримує загальне уявлення про продуктивність системи та використання ресурсів, розгорнуті пакети програм і логічні топології мережі. Агент керування програмами та агент моніторингу ресурсів можуть бути розроблені різними способами, наприклад на основі агентів, специфічних для програми, агентів, специфічних для платформи чи хоста, або агентів, специфічних для типу ресурсу.

Мультиагентні системи і пов'язані з ними моделі обробки і зв'язку стали відмінними інструментами для моделювання та імітації складності в науці. Наприклад, вони використовувалися для аналізу зовнішніх властивостей, таких як глобальні структури. У той же час агенти мультиагентної системи можуть співпрацювати з іншими, за для створення більш крупних коаліцій. Всі ці ідеї разом із властивостями агрегацій (складу) і спеціалізації (наслідування) мультиагентної системи дуже цікаві для аналізу і розуміння природних систем з наукової точки зору, а для створення нових ефективних – з інженерної.

Висновки. У роботі розкрито принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту. Інтелектуальні агенти були предметом багатьох розробок за останнє десятиліття, особливо в області аналізу операцій, де потрібно моделювання розумних інтелектуальних компонентів і компонентів, що приймають рішення. Завдяки таким властивостям програмного агента, як автономність, реактивність, адаптивність, співпраця, навчання та проактивність, такий інтелект може бути вбудований у компоненти системи. Проведене дослідження продемонструвало, як існуючу структуру агента можна бездоганно інтегрувати в мультиагентну систему штучного інтелекту за допомогою принципів архітектури REST. Можливості програмного агента сприяють майбутнім периферійним обчисленням з розширеним штучним інтелектом.

Список бібліографічного опису

1. Огневий, О.В. Методи створення мультиагентних систем управління інформаційними ресурсами у реальному часі / О. В. Огневий, М. В. Заворотний, А. М. Огнева // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – №4. – С. 106-110.
2. Сорока, М. Ю. Методи побудови мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.13 / Михайло Юрійович Сорока ; Льотна академія Національного авіаційного університету МОН України. – Кропивницький, 2020. – 219 с.
3. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. / укл. Д.В. Лубко, С.В. Шаров. – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264 с.
4. Волков В.П., Павленко В. М., Кужель В.П. Дослідження агентного підходу контролю технічного стану транспортних засобів. Вісник Машинобудування та транспорту. №2(10), Вінниця, 2019. – С. 89 – 97. DOI <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-89-97>.
5. Мельников О. Ф. Застосування мультиагентних систем у публічному управлінні / І. В. Кобзев, О. Ф. Мельников, О. В. Орлов // Теорія та практика державного управління: зб. наук. пр. – Харків: Вид-во ХарПІ НАДУ "Magistr", 2020. – Вип. 3(70). – С. 8–15.
6. Idri, Abdelfettah & Boulmakoul, Azedine. (2020). A survey on Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems.
7. Silva, Jesus & Lezama, Omar & Varela, Noel. (2020). Competitions of Multi-agent Systems for Teaching Artificial Intelligence. 10.1007/978-3-030-33846-6_98.
8. Leppänen, Teemu. (2019). Distributed Artificial Intelligence with Multi-Agent Systems for MEC. 10.1109/ICCCN.2019.8846960.
9. Sante Dino Faccini (2022). Decentralized Autonomous Organizations and Multi-agent Systems for Artificial Intelligence Applications and Data Analysis. 5817-5818. 10.24963/ijcai.2022/824.
10. Yin, H. & Liu, L. & Zhong, Y. (2017). Research on a distributed artificial intelligence and multi-agent system. Agro Food Industry Hi-Tech. 28. 2122-2126.
11. Mathur, Sumeet & Singh, Yashpal & Syed, Habeebullah Hussaini. (2019). Self-organized multi agent system in artificial intelligence negotiation techniques and its applications: a study. SSRN Electronic Journal. 7. 1-8.
12. Grzonka, Daniel & Jakóbiak, Agnieszka & Kołodziej, Joanna & Pllana, Sabri. (2017). Using a multi-agent system and artificial intelligence for monitoring and improving the cloud performance and security. Future Generation Computer Systems. 86. 10.1016/j.future.2017.05.046.

13. Giret, A. & Botti, V. (2022). Multi Agent Systems of Multi Agent Systems.
14. Banerjee, Indradip & Bhattacharyya, Siddhartha. (2022). Introduction to Multi-agent Systems. 10.1007/978-981-19-0493-6_1.
15. Amirkhani, Abdollah & Barshooi, Amir. (2022). Consensus in multi-agent systems: a review. *Artificial Intelligence Review*. 55. 1-39. 10.1007/s10462-021-10097-x.
16. Yinshuang Sun, Zhijian Ji, Yungang Liu, Chong Lin (2022). On stabilizability of multi-agent systems. *Automatica*. 144. 110491. 10.1016/j.automatica.2022.110491.
17. Bezborodova, O.E.. (2022). HIERARCHICAL STRUCTURE OF A MULTI-AGENT SYSTEM. *Measuring. Monitoring. Management. Control*. 10.21685/2307-5538-2022-2-4.
18. Beutner, Raven & Finkbeiner, Bernd. (2022). A Logic for Hyperproperties in Multi-Agent Systems.
19. Erman, L.D., Lesser V.R: (1975) A multi-level organization for problem solving using many diverse cooperating sources of knowledge. *Advanced papers of the fourth IJCAI*. Tbilisi, Georgia (URSS).

References

1. Ognevy, O.V. Methods of creating multi-agent systems for managing information resources in real time / O. V. Ognevy, M. V. Zavorotny, A. M. Ogneva // *Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. – 2019. – No. 4. – P. 106-110.
2. Soroka, M. Yu. Methods of building a multi-agent environment of an intelligent training system for air traffic control dispatchers: diss. ...candidate technical Sciences: 05.22.13 / Mykhailo Yuriyovych Soroka; Flight Academy of the National Aviation University of the Ministry of Education and Culture of Ukraine. – Kropyvnytskyi, 2020. – 219 p.
3. Methods and systems of artificial intelligence: education. manual / incl. D.V. Lubko, S.V. Sharov. – Melitopol: FOP Odnorog T.V., 2019. – 264 p.
4. Volkov V.P., Pavlenko V.M., Kuzhel V.P. A study of the agent approach to control the technical condition of vehicles. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. No. 2(10), Vinnytsia, 2019. - pp. 89 - 97. DOI <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-89-97>.
5. O. F. Melnikov Application of multi-agent systems in public administration / I. V. Kobzev, O. F. Melnikov, O. V. Orlov // *Theory and practice of public administration: coll. of science pr.* - Kharkiv: "Master's" Publishing House of HarRI NADU, 2020. - Iss. 3(70). – pp. 8–15.
6. Idri, Abdelfettah & Boulmakoul, Azedine. (2020). A survey on Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems.
7. Silva, Jesus & Lezama, Omar & Varela, Noel. (2020). Competitions of Multi-agent Systems for Teaching Artificial Intelligence. 10.1007/978-3-030-33846-6_98.
8. Leppänen, Teemu. (2019). Distributed Artificial Intelligence with Multi-Agent Systems for MEC. 10.1109/ICCCN.2019.8846960.
9. Sante Dino Faccini (2022). Decentralized Autonomous Organizations and Multi-agent Systems for Artificial Intelligence Applications and Data Analysis. 5817-5818. 10.24963/ijcai.2022/824.
10. Yin, H. & Liu, L. & Zhong, Y. (2017). Research on a distributed artificial intelligence and multi-agent system. *Agro Food Industry Hi-Tech*. 28. 2122-2126.
11. Mathur, Sumeet & Singh, Yashpal & Syed, Habeebullah Hussaini. (2019). Self-organized multi-agent system in artificial intelligence negotiation techniques and its applications: a study. *SSRN Electronic Journal*. 7. 1-8.
12. Grzonka, Daniel & Jakóbk, Agnieszka & Kołodziej, Joanna & Pllana, Sabri. (2017). Using a multi-agent system and artificial intelligence for monitoring and improving the cloud performance and security. *Future Generation Computer Systems*. 86. 10.1016/j.future.2017.05.046.
13. Giret, A. & Botti, V. (2022). Multi Agent Systems of Multi Agent Systems.
14. Banerjee, Indradip & Bhattacharyya, Siddhartha. (2022). Introduction to Multi-agent Systems. 10.1007/978-981-19-0493-6_1.
15. Amirkhani, Abdollah & Barshooi, Amir. (2022). Consensus in multi-agent systems: a review. *Artificial Intelligence Review*. 55. 1-39. 10.1007/s10462-021-10097-x.
16. Yinshuang Sun, Zhijian Ji, Yungang Liu, Chong Lin (2022). On stability of multi-agent systems. *Automatica*. 144. 110491. 10.1016/j.automatica.2022.110491.
17. Bezborodova, O.E.. (2022). HIERARCHICAL STRUCTURE OF A MULTI-AGENT SYSTEM. *Measuring. Monitoring. Management. Control*. 10.21685/2307-5538-2022-2-4.
18. Beutner, Raven & Finkbeiner, Bernd. (2022). A Logic for Hyperproperties in Multi-Agent Systems.
19. Erman, L.D., Lesser V.R: (1975) A multi-level organization for problem solving using many diverse cooperating sources of knowledge. *Advanced papers of the fourth IJCAI*. Tbilisi, Georgia (USSR).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-13>

УДК 621.391:519.728

Ломоносов Юрій В'ячеславович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6115-6194>

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна

МЕТОДИ ВИДІЛЕННЯ КОНТУРІВ ПРИ БАГАТОМАСШТАБНОМУ АНАЛІЗІ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Ломоносов Ю.В. Методи виділення контурів при багатомасштабному аналізі медичних зображень. Проводиться короткий огляд існуючих методів сегментації зображень на основі виділення контурів. Розглядаються форми операторів, які широко застосовуються при обробці медичних зображень, надаються характеристики цих методів, їх переваги та недоліки. Паралельно з цими методами розглядається вейвлет аналіз зображень для стиснення їх загального обсягу. В якості приклада обраний алгоритм Маала, який базується на застосуванні квадратурних дзеркальних фільтрів при розкладанні та відновленні зображень на кожному етапі обробки. Більш детально розглянутий алгоритм MSEC (Multi Scale Edge Compensation), який є модифікацією алгоритму Маала. Головна відмінність цієї модифікації полягає в тому, що при кожному кроці обробки застосовується не пара квадратурних дзеркальних фільтрів, як це відбувається у алгоритмі Маала, а тільки один з них. Перед тим, як застосувати дію цього фільтру зображення обробляється оператором типу гауссіан, який є симетричним низькочастотним фільтром і згладжує перепади яскравості на площині зображення. Цей контур зберігається окремо для кожного етапу обробки зображення. Значною перевагою цього алгоритму є його швидкість в порівнянні з алгоритмом Маала, це відбувається за рахунок того, що застосовується тільки один фільтр, а не пара фільтрів. Така модифікація не відображується на якісних і кількісних показниках обробки зображень, але при цьому на кожному етапі розкладання застосовується один і той же оператор гауссіан для відокремлення контуру, ця процедура повторюється рекурентно до завершення обробки зображення. Характеристики оператора виділення контуру можуть змінюватися, але на кожному етапі розкладання вони однакові. Пропонується можливість застосування відомих методів сегментації медичних зображень при використанні багатомасштабного аналізу на кожному етапі розкладання. В якості багатомасштабного аналізу розглядається можливість застосування модифікації алгоритму Маала, що базується на класичному вейвлет перетворенні зображень, це - MSEC (Multi Scale Edge Compensation). Даний метод може бути використаний при обробці, пошуку і сегментації об'єктів дослідження на медичних зображеннях.

Ключові слова: медичні зображення, вейвлет аналіз, виділення контурів.

Lomonosov Yu. Methods of selecting contours in multi-scale analysis of medical images. A brief overview of existing image segmentation methods based on contour selection is given. The forms of operators that are widely used in medical image processing are considered, the characteristics of these methods, their advantages and disadvantages are given. In parallel with these methods, wavelet analysis of images is considered for compression of their total volume. As an example, Maal's algorithm is chosen, which is based on the application of quadrature mirror filters in the decomposition and restoration of images at each stage of processing. The MSEC (Multi Scale Edge Compensation) algorithm, which is a modification of Maal's algorithm, is considered in more detail. The main difference of this modification is that at each processing step, not a pair of quadrature mirror filters is used, as is the case in Maal's algorithm, but only one of them. Before applying the effect of this filter, the image is processed by a Gaussian-type operator, which is a symmetric low-pass filter that smooths out brightness differences on the image plane. This contour is stored separately for each stage of image processing. A significant advantage of this algorithm is its speed compared to Maal's algorithm, this is due to the fact that only one filter is used, and not a pair of filters. Such a modification is not reflected in the qualitative and quantitative indicators of image processing, but at the same time, at each stage of decomposition, the same Gaussian operator is used to separate the contour, this procedure is repeated recursively until the image processing is completed. The characteristics of the contour selection operator may vary, but they are the same at each stage of the decomposition. The possibility of applying known methods of segmentation of medical images when using multi-scale analysis at each stage of decomposition is proposed. As a multi-scale analysis, the possibility of applying a modification of Maal's algorithm based on the classic wavelet transformation of images, i.e. MSEC (Multi Scale Edge Compensation), is considered. This method can be used in the processing, search and segmentation of research objects on medical images.

Keywords: medical images, wavelet analysis, contour selection.

Вступ. Об'єкти дослідження на медичних зображеннях, які використовуються в ранній діагностиці, за звичай бувають невеликими за розмірами і мало контрастними в порівнянні з оточуючим середовищем. Це, в більшій мірі, стосується: рентгеновських комп'ютерних томографічних зображень (КТ), магнітно - резонансних томографічних зображень (МРТ), мікроскопічних зображень при виділенні еритроцитів на зображенні крові і т.і. При всіх цих випадках, одним з головних завдань досліджень стає – сегментація цих зображень. Крім того, на зображеннях завжди присутні шуми, викривлення, текстурні області, які схожі з об'єктом. Все це ускладнює процес виділення об'єктів та коректного відображення їх границь, тому алгоритми контуризації та сегментації відіграють дуже важливу роль у процесі обробки медичних зображень.

Мета роботи – Це є досягнення більш високої якості сегментації медичних зображення на основі контуризації інформативних областей всього зображення.

© Ломоносов Ю.В.

Данні дослідження. На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій, при вирішенні дослідницьких задач, які пов'язані з сегментацією зображень найбільш активно застосовують методи знаходження та виділення контурів об'єктів які майже не залежать від кольору, яскравості і містять необхідну інформацію для подальшої класифікації об'єкта.

До таких методів можна віднести використання операторів Собела і Превітта. У оператора Собела вплив шуму трохи менше, ніж у оператора Превітта. У кожній з масок сума коефіцієнтів дорівнює нулю.

Маски оператора Превітта:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ та } \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Маски оператора Собела:

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \text{ та } \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В операторі Собела використовується ваговий коефіцієнт 2 для середніх елементів. Це збільшене значення використовується для зменшення ефекту згладжування за рахунок надання більшої ваги середніх точок. Цим операторам властива висока чутливість до шумів і орієнтації кордонів областей, а також можливість появи розривів в контурі. На рис. 1 і 2 наводяться приклади застосування операторів Собела і Превітта.

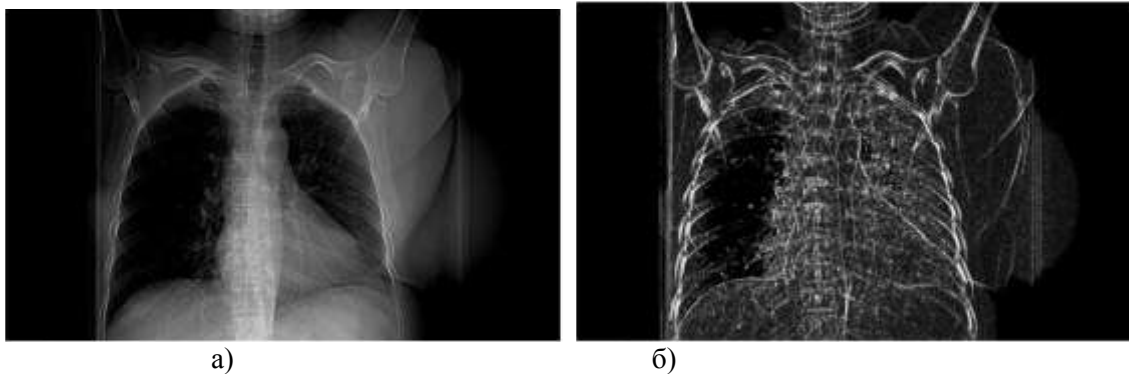


Рис.1. а) початкове зображення, б) зображення після застосування оператора Собела.

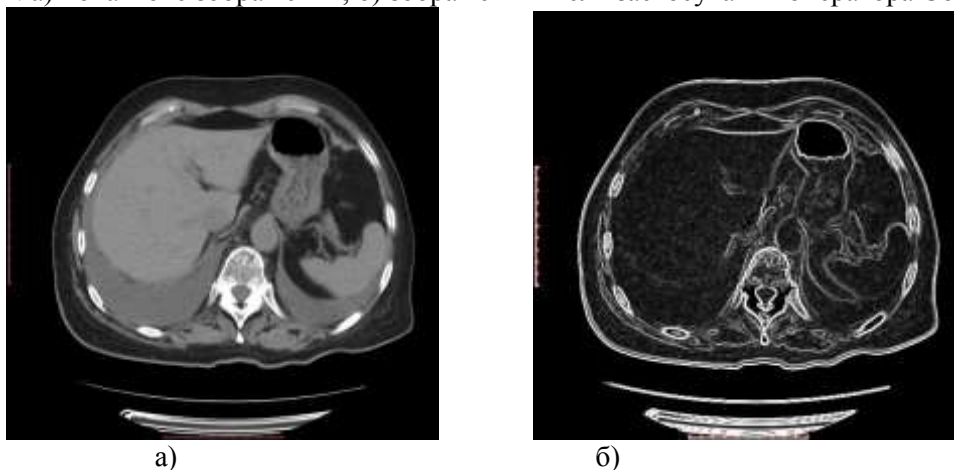


Рис.2. а) початкове зображення, б) зображення після застосування оператора Превітта.

Детектор кордонів Canny орієнтується на три основні критерії: гарне виявлення (підвищення відносини сигнал/шум); хороша локалізація (правильне визначення положення кордону); єдиний відгук на один кордон. З цих критеріїв будується цільова функція вартості помилок, мінімізацією якої знаходиться «оптимальний» лінійний оператор для згортки із зображенням. Недоліками цього методу є складність його реалізації і велика ресурсна ємність, а також те, що можливе де яке округлення кутів об'єкта, що призводить до зміни параметрів контуру. До переваг методу можна віднести слабку чутливість до шумів і орієнтації кордонів областей, то, що він чітко виділяє контур і дозволяє виявляти внутрішні контури об'єкта. Крім того алгоритм виключає помилкове виявлення контуру там, де об'єктів немає. На рис. 3 приведено результат застосування метода Canny.

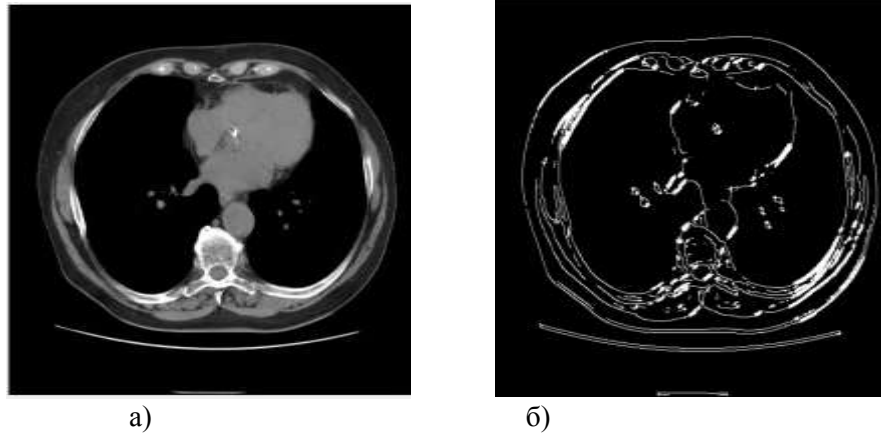


Рис. 3. а) комп'ютерна томограма з об'єктом дослідження, б) результат застосування метода сегментації Canny.

Для вирішення завдання виділення перепадів яскравості, також застосовують диференціальні оператори більш високого порядку. До них відноситься оператор Лапласа:

$$\Delta^2 f(x_1, x_2) = \frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_2^2}.$$

У дискретному випадку оператор Лапласа можна реалізувати у вигляді процедури лінійної обробки зображення ввікном 3x3. Другі похідні можна апроксимувати другими різницями:

$$\frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_1^2} = f(n_1 + 1, n_2) - 2f(n_1, n_2) + f(n_1 - 1, n_2),$$

$$\frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_2^2} = f(n_1, n_2 + 1) - 2f(n_1, n_2) + f(n_1, n_2 - 1).$$

Імпульсна характеристика фільтра для оператора Лапласа:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Основним недоліком лапласіан є дуже висока чутливість до шумів. Крім того можливі появи розривів в контурі, а також їх подвоєння. До його переваг можна віднести те, що він нечутливий до орієнтації кордонів областей. На рис. 4 приведений результат застосування оператора Лапласа до медичного зображення.

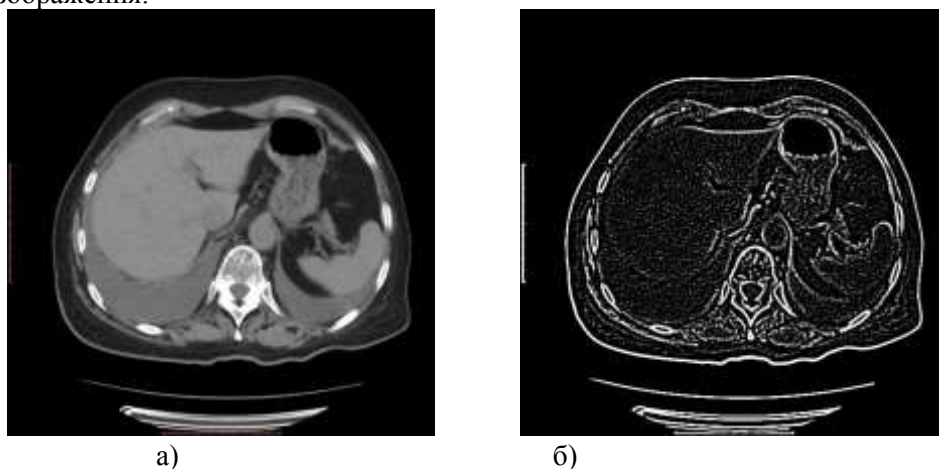


Рис. 4. а) комп'ютерна томограма з об'єктом дослідження, б) результат застосування метода Лапласа.

Всі приведені методи мають свою переваги і недоліки, але їх всіх об'єднує одна властивість – обробку кожного зображення для дослідження його властивостей можна проводити з застосування тільки одного метода контуризації.

Паралельно з цими методами контуризації і сегментації широко використовується алгоритм Маала та його модифікація MSEC (Multi Scale Edge Compensation), де замість пари квадратурних дзеркальних фільтрів використовується тільки один високочастотний фільтр і виділення контуру на кожному етапі розкладання зображення. Ці алгоритми застосовуються у мультимедійних (графічних) форматах для стиснення зображень на основі вейвлет аналізу. Основна ідея цієї модифікації полягає у наступному. [1, с. 28-34; 2, с. 700-713; 3, с. 85-90].

Пряме вейвлет перетворення за алгоритмом Маала на n -ому кроці здійснюється за виразами [3, с. 70-83]

$$d_i^{n+1} = \sum_k g_k c_{2i+k}^n \quad \text{и} \quad c_i^{n+1} = \sum_k h_k c_{2i+k}^n, \quad (1)$$

Де кінцеві набори чисел $h = \{h_k\}$ та $g = \{g_k\}$ пов'язані співвідношенням $g_i = (-1)^i h_{-i}$, однозначно визначаються масштабною функцією і мають назву квадратурні дзеркальні фільтри. Відновлення зображення здійснюється за допомогою рекурентної формули

$$c_i^n = \sum_k h_{i-2k} c_k^{n+1} + \sum_k g_{i-2k} d_k^{n+1} \quad (2)$$

Вирази (1), (2) визначають пряме та зворотне вейвлет перетворення за алгоритмом Маала. Процес розкладання одного етапу показаний на рис. 5, 6.

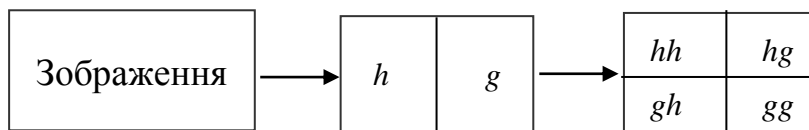


Рис.5 Схема розкладання зображення за алгоритмом Маала.

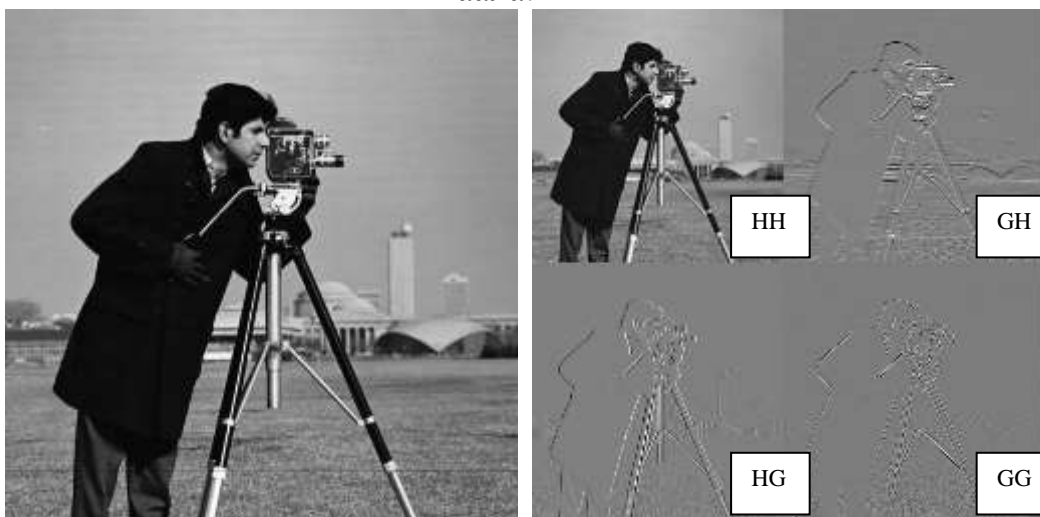


Рис. 6 Приклад одного кроку розкладання тестового зображення.

Метод MSEC можна віднести до техніки кодування зображень, яка ґрунтується на інтелектуальних методах сегментації і автоматичної класифікації зображень [4, с. 29-36; 5, с. 363-375]. Основна ідея, при розкладанні зображення методом MSEC, зводиться до наступних кроків:

1. Зображення поділяється на фон і контур і контур зберігається.
2. Застосовується вейвлет перетворення фону. В результаті залишиться тільки

низькочастотний прямокутник hh , рис. 5, 6.

Ця процедура рекурентним чином застосовується до прямокутника hh , як до початкового зображення. Схематично один крок такого розкладання показаний на рис. 7.



Рис. 7 MSEC схема одного кроку розкладання зображення.

В якості оператора, який здійснює процедуру розподілу зображення на фон і контур застосовується перетворення H типу гауссіана, що діє за правилом: $H \{x_{ij}\} = \{\xi_{ij}\}$, де $\xi_{ij} = \frac{1}{4}(x_{i-1,j} + x_{i+1,j} + x_{i,j-1} + x_{i,j+1})$ (див. рис. 8).

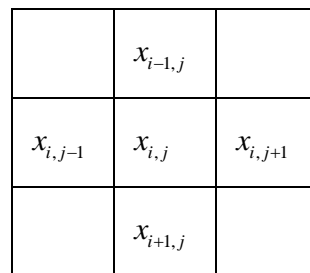


Рис 8. Схема визначення контуру в точці зображення $x_{i,j}$.

Перетворення H є симетричним низькочастотним фільтром, який згладжує перепади яскравості на площині зображення. Зазвичай використовують евристичне правило, де число ненульових значень в контурі має становити 3% - 9% від загального числа точок в зображенні.

Алгоритм розкладання зображень реалізований в схемі кодування зображень одним фільтром (h) і компенсацією контурів в площині вейвлет коефіцієнтів (MSEC), схематично представлений на рис. 9.

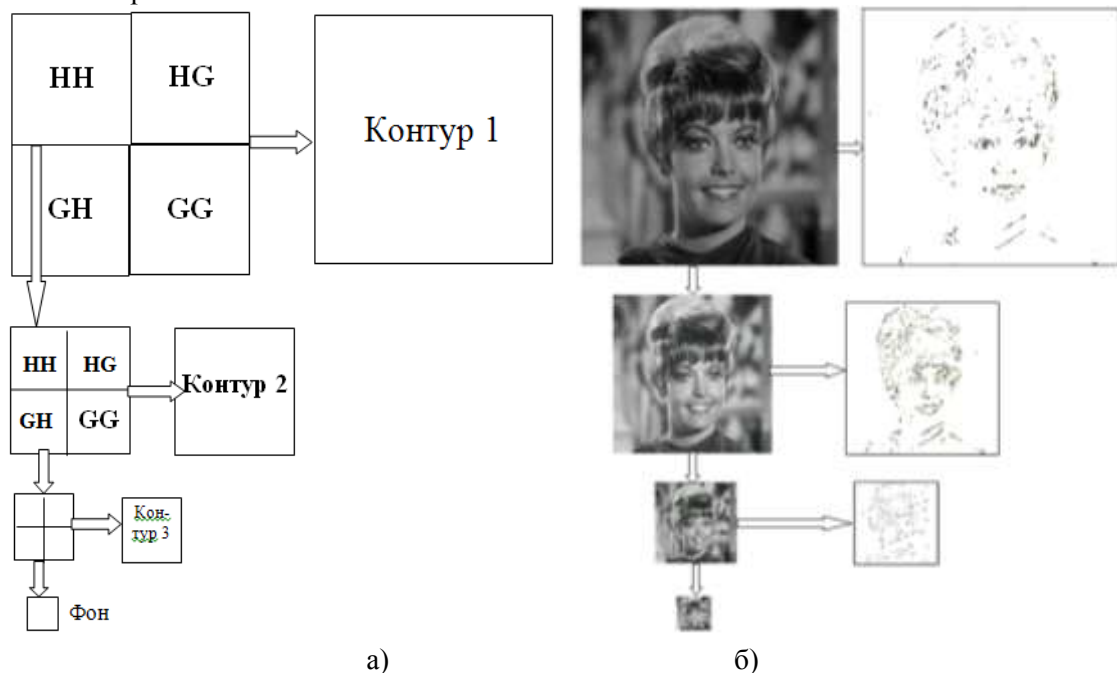


Рис.9. а) Схема розкладання зображення алгоритмом MSEC б) Приклад розкладання тестового зображення алгоритмом MSEC.

Головна мета даної роботи - це запропонувати на кожному етапі розкладання за алгоритмом MSEC використовувати окремий оператор сегментації (рис. 1-4) замість оператора гауссіана (рис. © Ломоносов Ю.В.

8). Такий підхід надасть можливість послідовно застосовувати один і той же оператор сегментації при кожному кроці розкладання зображення, або використовувати декілька різних операторів сегментації в обраній послідовності. На жаль, у даному випадку дуже складно привести кількісні показники якості запропонованого метода сегментації, але ця робота носить скоріше прикладний та рекомендований характер.

Висновки. Контури дуже часто служать основою формування різноманітних ознак для опису зображень та об'єктів на них. Головне завдання алгоритмів виділення граничних елементів, це отримання бінарного зображення, яке містить замкнуті області об'єктів зображення. Відносно медичних зображень, то такими областями можуть бути границі органів, вени, МРТ, а також пухлини.

Застосування відомих операторів сегментації дозволяє вирішувати такі завдання при дослідженні медичних зображень, але як відомо, кожен з цих методів має свої переваги та недоліки. При чому, застосовувати тій чи інший оператор сегментації можливо тільки один раз на зображенні, яке досліджується.

Використання вейвлет аналізу медичних зображень надає додаткові можливості при їх багатомасштабному розкладанні. При використанні багатомасштабного аналізу на основі вейвлет перетворень модифікованого алгоритму MSEC можливо послідовно, декілька разів застосовувати один і той же оператор сегментації на кожному етапі розкладання для одного зображення. Також з'являється можливість послідовно використати декілька різних операторів сегментації на різних рівнях розкладання зображення. Такий підхід здатний покращити якість зображення, відновити пошкоджені зображення, провести сегментацію окремих його елементів і дає додаткові можливості при розпізнанні патологічних процесів, що є однією з найбільш важливих задач обробки та аналізу медичних зображень.

Список бібліографічного опису

1. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2007). Cutting of content redundancy of images on the basis of classification of objects and background. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 39 (5), 27-36.
2. Гонсалес, Р., Вудс, Р. (2012). *Цифровая обработка изображений*. Техносфера, 1104.
3. Ломоносов, Ю.В. (2018). Вейвлет преобразование изображений с выделением контуров. *Науковий огляд*, 8 (51), 83-93.
4. Ivanov, V.G., Lomonosov, J.V., Lyubarskiy, M.G. (2009). Compression of Images on the Basis of Automatic and Indistinct Classification of Fragments. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 41 (1), 27-39.
5. Ломоносов, Ю.В. (2018). *Методи та оператори виділення контурів при компресії реалістичних зображень. Інформаційні технології: сучасний стан та перспективи*. Діса Плюс, 462.

References

1. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2007). Cutting of content redundancy of images on the basis of classification of objects and background. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, no. 39 (5), 27-36. [in English].
2. Gonsales, R., Vuds, R. (2012). *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij* [Digital image processing]. Tehnosfera, 1104. [in Russian].
3. Lomonosov, Ju.V. (2018). *Vejvlet preobrazovanie izobrazhenij s vydeleniem konturov* [Wavelet transformation of images with the selection of contours]. *Naukovij ogljad* [Scientific review], no. 8 (51), 83-93. [in Russian].
4. Ivanov, V.G., Lomonosov, J.V., Lyubarskiy, M.G. (2009). Compression of Images on the Basis of Automatic and Indistinct Classification of Fragments. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, no. 41 (1), 27-39. [in English].
5. Lomonosov, Yu.V. (2018). *Metody ta operatory vydilennia konturiv pry kompresii realistychnykh zobrazhen*. *Informatsiini tekhnolohii: suchasnyi stan ta perspektyvy* [Methods and operators of contour selection for compression of realistic images. Information technologies: current state and prospects]. Disa Plus, 462. [in Ukrainian].

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-14>

УДК 004.932

Недашківський Сергій Миколайович, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-8222-6905>

ВНЗ «Відкритий Університет розвитку людини Україна», м. Київ, Україна

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ВІДНОВЛЕННЯ ГРАФІЧНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ МОРФОЛОГІЧНИХ АЛГОРИТМІВ

Недашківський С.М. Комплексна методика відновлення графічних даних на основі морфологічних алгоритмів. Розглянуто сучасні методи відновлення графічних даних на основі математичного моделювання шумів і оптичних аберацій, визначення порогового значення, застосування морфологічних методів, а також нейромережових алгоритмів. Вказано на пріоритет таких підходів як побудова математичних моделей статистичного розподілу, оптимізації порогового значення, розробка морфологічних методів відновлення матриці кольорового зображення, застосування вейвлет-перетворення, а також налаштування нейромережової архітектури автокодувальника і багаторусного автокодувальника. Розроблена методика, що базується на застосуванні програмних алгоритмів обробки матриці зображення, яка включає у себе виділення однорідних областей за допомогою методу зв'язних компонент та подальше відновлення графічних даних через виконання процедур ерозії та дилатації. Побудова системи оцінки ефективності програмних алгоритмів відновлення матриці зображення для автоматизації процесів налаштування та оптимізації системи машинної обробки графічних даних включає у себе поняття цільових функцій та аргументів цільових функцій, а також системних обмежень, що можуть бути сформульовані відповідно поставленому завданню, що дозволило звести задачу налаштування та оптимізації до задачі пошуку екстремумів функції. Цільові функції відновлення матриці зображення програмними алгоритмами включають у себе середню похибку відновлення масиву графічних даних і відповідне значення для допоміжного каналу, а також загальний час виконання набору операцій по відновленню масиву графічних даних. Аргументи цільових функцій при цьому складаються з параметрів примітиву корекції, мінімального допустимого відхилення для кожного кольорового каналу у рамках окремого сегменту і кількості ітерацій що розраховується відповідно поставленого завдання. Вказано, що зазначений підхід може бути адаптовано до колірної схеми відповідно якої представлено графічні дані (динамічний діапазон, наявність допоміжного каналу). При цьому розроблена методика характеризується простим математичним апаратом та мінімальним навантаженням на обчислювальний ресурс.

Ключові слова: графічні дані, морфологічні алгоритми, автоматизація, масиви даних.

Nedashkivskiy S. Comprehensive method for restoring graphic data based on morphological algorithms. Modern methods of graphic data recovery based on mathematical modeling of noise distribution and optical aberrations, determination of the threshold value, the use of morphological methods, as well as neural network algorithms are considered. The priority of such approaches as development of mathematical models of statistical distribution, optimization of the threshold value, development of morphological methods for recovery of the color image matrix, application of wavelet transformation, as well as adjustment of the neural network architecture of the autoencoder and stacked autoencoder is indicated. A technique has been developed based on the application of software algorithms for processing an image matrix, which includes the selection of homogeneous areas using the method of connected principal and the subsequent restoration of graphic data through the implementation of erosion and dilatation procedures. The development of a system for evaluating the image matrix restoration effectiveness includes the concepts of objective functions and arguments of objective functions, as well as system constraints that can be formulated in accordance with the given task, which made it possible to reduce the task of setting up and optimization to the task of finding extrema of a function. The objective functions of restoring the image matrix by software algorithms include the average error of restoring the array of graphic data and the corresponding value for the auxiliary channel, as well as the total time of performing a set of operations for restoring the array of graphic data. At the same time, the arguments of the objective functions consist of the parameters of the correction primitive, the minimum permissible deviation for each color channel within a separate segment, and the number of iterations calculated accordingly for the given task. It is indicated that this approach can be adapted to the color scheme, according to which graphical data are presented (dynamic range, presence of an auxiliary channel). At the same time, the developed technique is characterized by a simple mathematical apparatus and a minimum load on the computing resource.

Keywords: graphic data, morphological algorithms, automation, data arrays.

Вступ. Широке впровадження алгоритмів автоматизації при роботі з мережевими інформаційними ресурсами та необхідність обробки великих масивів графічних даних, що пов'язано зі вдосконаленням і активним розповсюдженням засобів фото- і відеореєстрації [1-3], призвела до росту актуальності завдання оптимізації методів машинного аналізу, а також відновлення матриці зображення. У зв'язку з потребою застосування відповідних програмних алгоритмів на апаратних платформах з обмеженим обчислювальним ресурсом за умов варіювання об'єму вхідних даних у широких межах важливо розробити найбільш простий математичний апарат, що дозволить найбільшою мірою знизити навантаження на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи машинного аналізу при збереженні актуального рівня показників ефективності машинної обробки.

Аналіз сучасних досліджень *і публікацій* присвячених проблемам розробки методів машинного аналізу графічних даних вказує на широкий набір підходів, зокрема таких як побудова математичних моделей статистичного розподілу шуму [4-7] та оптичних аберацій [8], визначення оптимального порогового значення [9], застосування морфологічних методів відновлення матриці зображення [10-12], застосування вейвлет-перетворення [13, 16], а також налаштування нейромережових алгоритмів, де найбільш очевидної архітектурою є схема автокодувальника і багаторушного автокодувальника [14, 15].

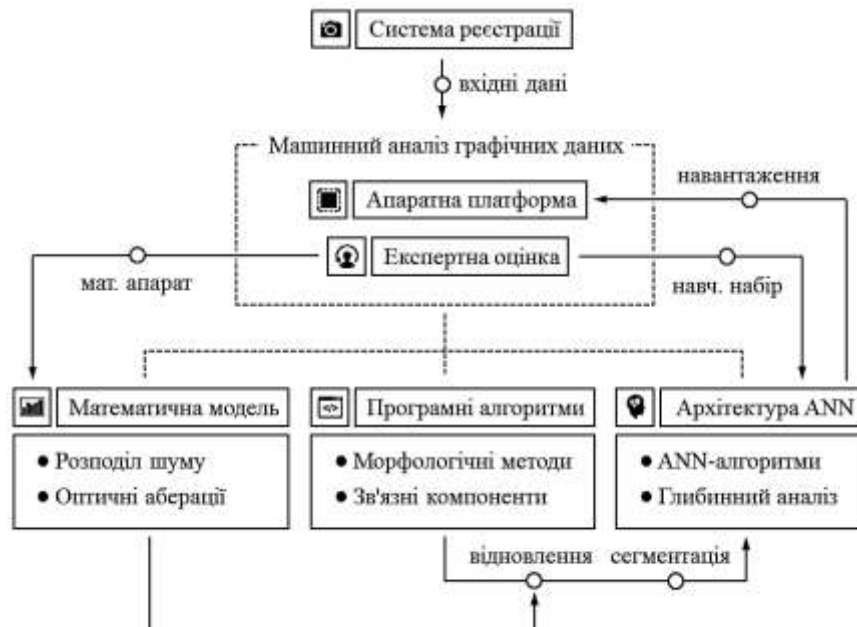


Рис. 1. Класифікація і визначення особливостей методів машинного аналізу та обробки графічних даних

Таким чином, у рамках даної роботи пропонується провести наступне поділення методів машинного аналізу графічних даних та відновлення зображення (рис. 1):

1. програмні алгоритми обробки зображення відповідно оцінки розміру структурних елементів візуальних об'єктів, що можуть базуватись на морфологічних операторах, визначенні адаптивного порогового значення та програмних алгоритмах сегментації;
2. програмні алгоритми відновлення зображення відповідно математичної моделі статистичного розподілу шуму та математичної моделі спотворення зображення в залежності від наявних оптичних аберацій, що зумовлює розробку складного математичного апарату та його налаштування відповідно системи фото- і відеореєстрації, а також конкретних умов зйомки;
3. нейромережові методи відновлення та аналізу зображення, що дозволяють не тільки відновити і сегментувати зображення, але й ефективно виділити візуальні об'єкти і їх властивості, та при цьому характеризуються високим рівнем навантаження на обчислювальний ресурс, великою затримкою при обробці даних та необхідністю підготовки навчального набору і навчання нейромережової архітектури.

Переваги першої групи методів полягають у наявності простої та універсальної математичної моделі, мінімальному навантаженні на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи машинного аналізу та широкому інструментарії по роботі з графічними даними, що може бути використано на етапі попередньої обробки зображення з метою збільшення ефективності нейромережового аналізу (рис. 1). Тим не менш, слід зазначити, що наявні підходи програмної обробки графічних даних показують рівень ефективності, що є недостатнім, що значним чином пов'язано з необхідністю адаптації методів до колірної схеми відповідно до якої представлено графічні дані, що розглядається як *невирішена частина загального дослідження*.

Таким чином, **метою дослідження** стала побудова методології програмної обробки графічних даних адаптованої до колірної схеми зображення з системою налаштування і

оптимізації відповідно оцінки навантаження на обчислювальний ресурс і затримки при обробці даних.

1. Адаптація морфологічних методів обробки графічних даних до колірної схеми представлення зображення

Для розробки системи оцінки ефективності відновлення матриці зображення програмними методами необхідно ввести поняття масиву графічних даних, що подані у цифровій формі відповідно до роздільної здатності, динамічного діапазону та колірної схеми. Представимо масив графічних даних через набір $\mathbf{G}: \{\mathbf{G}_n\}$, де $n \in [1; N]$ відповідає номеру зображення. Кожне окреме зображення характеризується роздільною здатністю $X_n \times Y_n$, та набором колірних каналів $k \in [1; K]$, а отже матриця зображення може бути представлена через набір двовимірних матриць $G_n^k: \{g_n^k(x, y)\}$, де $x \in [1; X_n]$ і $y \in [1; Y_n]$. Кожен елемент матриці зображення $g_n^k(x, y)$ визначається у обмеженому діапазоні відповідно мінімального і максимального значення яскравості колірного каналу $g_n^k(x, y) \in [G_{min}; G_{max}]$ з мінімальним кроком ΔG , при цьому на основі зазначених величин визначається динамічний діапазон колірного каналу DR (Dynamic Range):

$$DR = \frac{G_{max} - G_{min}}{\Delta G}, \text{ де } \Delta G = \min_{x \in [1; X_n], y \in [1; Y_n]} (g_n^k(x, y) - g_n^k(x', y')) \quad (1)$$

На основі вказаної моделі подання масиву графічних даних можна визначити середній показник похибки для процедури відновлення даних. Якщо контрольний набір зображень представити як $\mathbb{G}_n^k: \{g_n^k(x, y)\}$, то середня похибка відновлення масиву графічних даних складатиме:

$$\delta \bar{G} = \frac{\sum_{n=1}^N \left(\sum_{k=1}^K \left(\frac{\sum_{x,y=1}^{X_n, Y_n} |g_n^k(x, y) - \hat{g}_n^k(x, y)|}{X_n \cdot Y_n} \right) \right)}{N \cdot K} \quad (2)$$

Слід зазначити що поза набору основних каналів колірна схема може включати додатковий канал $k = K + 1$, що визначає рівень прозорості, для якого показник динамічного діапазону може відрізнитися, тобто $G_{min}^+ \neq G_{min}$, $G_{max}^+ \neq G_{max}$, $\Delta G^+ \neq \Delta G$, а отже $DR^+ \neq DR$. Відповідно до цього вираховується значення $\delta \bar{G}^+$, що виступає додатковим показником на етапі оцінки ефективності відновлення графічних даних:

$$\delta \bar{G}^+ = \frac{\sum_{n=1}^N \left(\frac{\sum_{x,y=1}^{X_n, Y_n} |g_n^{K+1}(x, y) - \hat{g}_n^{K+1}(x, y)|}{X_n \cdot Y_n} \right)}{N} \quad (3)$$

В залежності від постановки завдання показники $\delta \bar{G}$ та $\delta \bar{G}^+$ можуть бути об'єднанні, або використовуватись окремо при оцінці ефективності відновлення графічних даних.

Таким чином, застосування морфологічних методів обробки матриці зображення проводиться відповідно основних та додаткового колірних каналів. Матриця зображення \mathbf{G}_n поділяється на області відповідно наявних показників $g_n^k(x, y)$ через аналіз кожного з каналів $k \in [1; K + 1]$ колірної схеми, відповідні сегменти обробляються як монохромні зображення. Після відновлення їх елементам $g_n^k(x, y)$ повертаються усереднені показники яскравості відповідно кожного з колірних каналів, а також відповідний показник прозорості.

2. Розробка програмних алгоритмів відновлення матриці зображення

Як було зазначено вище, для застосування морфологічних операторів по відношенню до набору базових елементів вхідного масиву графічних даних, матриця зображення має бути поділена на області, що відповідає процедурі сегментації зображення. Навантаження на обчислювальний ресурс для відповідної процедури залежить від роздільної здатності матриці зображення $X_n \times Y_n$ та мінімального допустимого відхилення для кожного колірного каналу $\Delta G_S \in [\Delta G; (G_{max} - G_{min})/2]$, відповідно до якого зображення поділяється на області. При $\Delta G_S \rightarrow \Delta G$ кількість сегментів максимально зростає, що призводить до ускладнення задачі обробки, надмірного навантаження і, відповідно, затримки при машинному аналізі даних, а при $\Delta G_S \rightarrow$

$(G_{max} - G_{min})/2$ ефективність сегментації і подальшого відновлення зображення для більшості задач буде недостатньою. Для додаткового каналу вводиться окреме значення $\Delta G_S^+ \in [\Delta G^+; (G_{max}^+ - G_{min}^+)/2]$.

На етапі пошуку зв'язних компонент (Principal Component Analysis, PCA-процедура) має бути проведена необхідна кількість ітерацій у результаті чого для всіх базових елементів зображення визначається належність до набору базових елементів сегменту (матриця S_i) або до двох наборів одночасно (матриці S_i і S'_i). Перший сегмент S_1 на основі PCA-процедури визначається для базового елементу зображення $g_n(X_n/2, Y_n/2)$. Наступні вісім сегментів визначаються для базових елементів, що входять у такі три групи: $g_n(X_n/2, Y_n/2 \mp Y_n/4)$, $g_n(X_n/2 \mp X_n/4, Y_n/2)$ та $g_n(X_n/2 \mp X_n/4, Y_n/2 \mp Y_n/4)$. Таким чином, можна визначити загальний алгоритм пошуку центральних елементів наступних груп S_i на кожній з ітерацій $i \in [1; I]$:

$$g(x_{i+1}, y_{i+1}): \begin{cases} g\left(x_i \mp \frac{x_i}{2 \cdot 9^{i-1}}, y_i \mp \frac{y_i}{2 \cdot 9^{i-1}}\right) \\ g\left(x_i, y_i \mp \frac{y_i}{2 \cdot 9^{i-1}}\right) \\ g\left(x_i \mp \frac{x_i}{2 \cdot 9^{i-1}}, y_i\right) \end{cases}, \text{ для } \forall i \in [1; I]. \quad (4)$$

На певній ітерації I проведення PCA-процедури кожен елемент матриці зображення $g_n(x, y)$ до одного сегменту (матриця S_i) чи двох сегментів одночасно (матриці S_i і S'_i). Елементи, що є спільними для двох матриць алгоритм включає у одну матрицю, і, таким чином, всі сегменти поділяються на групу матриць $\{S_i^+\}$, що включає у себе надмірну кількість елементів, та групу елементів $\{S_i^-\}$, що має розриви у структурі. Слід окремо зазначити, що кожний сегмент представляється як монохромний (значення яскравості для кожного з кольорних каналів та додаткового каналу при цьому усереднюються), а отже до сегментів можна застосувати морфологічні методи відновлення зображення, представленого у бінарній формі [16-19]. По відношенню до матриць сегментів зображення $\{S_i^-\}$ застосовується процедура дилатації (Dilation Morphological Operation, DM-алгоритм), що дозволяє перекрити розриви у структурі сегменту. При цьому будується примітив корекції (матриця $P(x, y)$, де $x \in [1; X_p]$ і $y \in [1; Y_p]$) від форми та розміру якого залежить ефективність обробки зображення (відповідно до структури зображення), і використовується логічний оператор антиеквівалентності $S_i \oplus P$. В результаті дилатації матриця сегменту зображення S_i по множині примітиву корекції P , представлятиме собою множину всіх переміщень по координатам (x, y) для яких зазначені множини збігаються принаймні для одного елементу. Процедура ерозії (Erosion Morphological Operation, EM-алгоритм), у свою чергу, використовується для видалення зайвих елементів набору матриць сегментів зображення $\{S_i^+\}$. На рівні математичного опису EM-алгоритм включає у себе застосування процедури сканування матриці S_i примітивом корекції P для всіх переміщень по координатам (x, y) , при зсуві у напрямку яких множина елементів матриці P повністю міститься у матриці S_i . Виконання EM-алгоритму завжди передує застосуванню DM-алгоритму, що необхідно для відновлення початкової форми сегментів, границі яких спотворюються внаслідок ерозії. Аналогічним чином виконання DM-алгоритму завжди передує застосуванню EM-алгоритму, що є необхідним для нівелювання ефекту розширення сегменту зображення внаслідок дилатації.

3. Оптимізація програмних алгоритмів відновлення матриці зображення

Для створення системи оцінки ефективності програмних алгоритмів відновлення матриці зображення, що є необхідною для автоматизації процесів налаштування та оптимізації системи машинної обробки графічних даних, необхідно ввести поняття цільових функцій та аргументів цільових функцій, а також системних обмежень, що можуть бути сформульовані відповідно поставленому завданню. Таким чином задачу налаштування та оптимізації можна звести до задачі пошуку глобальних екстремумів цільових функцій.

Цільові функції комплексної методики відновлення матриці зображення програмними алгоритмами у загальному випадку включають у себе наступний набір:

- середня похибка відновлення масиву графічних даних $\delta\bar{G}$, а також відповідне значення для допоміжного каналу $\delta\bar{G}^+$, через визначення глобального мінімуму яких може бути отримана максимальна точність відновлення зображення;
- загальний час виконання набору операцій по відновленню масиву графічних даних T_{Σ} , через визначення глобального мінімуму якого може бути отримана максимальна швидкість відновлення зображення.

Аргументи цільових функцій відновлення матриці зображення програмними алгоритмами відповідно представлені у рамках даного дослідження методики, у свою чергу, складаються з наступного набору показників:

- примітив корекції, представлений у вигляді матриці $P(x, y)$, де $x \in [1; X_p]$ і $y \in [1; Y_p]$;
- мінімальне допустиме відхилення для кожного колірного каналу у рамках окремого сегменту ΔG_S та відповідне значення ΔG_S^+ для допоміжного каналу;
- кількість ітерацій $i \in [1; I]$ що розраховується відповідно аргументів цільових функцій та поставленого завдання.



Рис. 2. Базова схема оптимізації програмних алгоритмів відновлення матриці зображення

Нарешті, обмеження визначаються через параметри системи машинного аналізу, мінімальний час затримки при обробці даних та параметри набору графічних даних (кількість зображень N , роздільна здатність $X_n \times Y_n$, кількість колірних каналів K , а також динамічний діапазон DR і DR^+), як це показано на рис. 2. Таким чином базова схема оптимізації програмних алгоритмів відновлення матриці зображення включає складатися з постановки завдання, що вносить обмеження у діапазон визначення цільових функцій та параметри програмних алгоритмів, що формують аргументи цільових функцій. Пошук глобального мінімуму $\delta\bar{G}$, $\delta\bar{G}^+$ і T_{Σ} надає можливість визначити оптимальні показники параметрів програмних алгоритмів і провести процес налаштування системи машинного аналізу графічних даних.

Висновки. В результаті проведеного дослідження було розглянуто методи аналізу та обробки графічних даних на основі математичного моделювання шумів і оптичних аберацій, визначення порогового значення, застосування морфологічних методів а також нейромережових алгоритмів і зокрема нейромережових архітектур глибоко навчання. Вказано на пріоритет застосування у зазначеній галузі морфологічних алгоритмів при належній адаптації до колірної схеми зображення. Була запропонована методика застосування програмних алгоритмів обробки матриці зображення шляхом виділення однорідних областей за допомогою методу зв'язних компонент та відновлення графічних даних через виконання процедур ерозії та дилатації. Зазначений підхід було адаптовано до колірної схеми представлення вхідного масиву графічних даних. В результаті було запропоновано систему оцінки ефективності програмних алгоритмів

відновлення матриці зображення з метою автоматизації процесів налаштування та оптимізації системи машинної обробки графічних даних через пошук глобальних екстремумів цільових функцій. Розроблена методика, що базується на застосуванні програмних алгоритмів обробки матриці зображення, що включає у себе виділення однорідних областей за допомогою методу зв'язних компонент та подальше відновлення графічних даних через виконання процедур ерозії та дилатації. Вказано, що зазначений підхід може бути адаптовано до колірної схеми відповідно якої представлено графічні дані (динамічний діапазон, наявність допоміжного каналу). При цьому розроблена методика характеризується простим математичним апаратом та мінімальним навантаженням на обчислювальний ресурс.

References

1. Zou, J., Li, Z., Guo, Z., & Hong, D. (2019). Super-Resolution Reconstruction of Images Based on Microarray Camera. *Computers, Materials & Continua*, 60 (1), 163–177. doi: 10.32604/cmc.2019.05795.
2. Ye, H. Y. H., Gao, Z. G. Z., Qin, Z. Q. Z., & Wang, Q. W. Q. (2013). Near-infrared fundus camera based on polarization switch in stray light elimination. *Chinese Optics Letters*, 11(3), 031702–31705. doi: 10.3788/col201311.031702.
3. Prabhakara, R. S., Wright, C. H. G., & Barrett, S. F. (2012). Motion Detection: A Biomimetic Vision Sensor Versus a CCD Camera Sensor. *IEEE Sensors Journal*, 12(2), 298–307. doi: 10.1109/jsen.2010.2100039.
4. Pankaj, D., Narayanankutty, K., & Govind, D. (2018). *Image Denoising Using Total Variation Wavelet Galerkin Method. Procedia Computer Science*, 143, 481–492. doi:10.1016/j.procs.2018.10.421.
5. Jing, X. J., & Min, Y. (2015). An linearized alternating direction method for total variation image restoration. *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*. doi:10.1109/ccdc.2015.7161803.
6. Lamei, Z., & Sheng, C. (2014). A method for PET image denoising based on total variation minimization. *Advanced Computer Control*. doi:10.2495/icacc130281.
7. Sebe, N. (2001). *Improving visual matching: Similarity noise distribution and optimal metrics*. S.l.: Thesis PhD Computer Science, Leiden University.
8. Mahajan, V. N. (2014). *Aberration theory made simple*. Volume: TT93. SPIE Press. ISBN: 9780819488251.
9. Guruprasad, P. (2020). Overview of different thresholding methods in image processing. Conference: TEQIP Sponsored 3rd National Conference on ETACC. Project: Word image identification for handwritten scripts using data visualization.
10. Pankaj, D., Narayanankutty, K., & Govind, D. (2018). *Image Denoising Using Total Variation Wavelet Galerkin Method. Procedia Computer Science*, 143, 481–492. doi:10.1016/j.procs.2018.10.421.
11. Shih, F.Y. (2017). *Image processing and mathematical morphology: Fundamentals and applications*. CRC Press.
12. Goutsias, J., Vincent, L. M., & Bloomberg, D. S. (2002). *Mathematical morphology and its applications to image and signal processing*. Boston: Kluwer Academic.
13. M., R. J., & Andreadēs, I. (2000). *Special issue Mathematical morphology & nonlinear image processing*. Oxford u.a.: Pergamon.
14. Suzuki, Y., & Ozaki, T. (2017). Stacked Denoising Autoencoder-Based Deep Collaborative Filtering Using the Change of Similarity. *2017 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*. doi:10.1109/waina.2017.72.
15. Ye, X., Wang, L., Xing, H., & Huang, L. (2015). Denoising hybrid noises in image with stacked autoencoder. *2015 IEEE International Conference on Information and Automation*. doi:10.1109/icinfa.2015.7279746.
16. Starck, J.-L., Murtagh, F., & Fadili, J. M. (2010). *Sparse image and signal processing: Wavelets, curvelets, morphological diversity*. Cambridge University Press.
17. Guo, H., Ono, N., & Sagayama, S. (2008). A structure-synthesis image inpainting algorithm based on morphological erosion operation. *2008 Congress on Image and Signal Processing*. <https://doi.org/10.1109/cisp.2008.149>.
18. Dougherty, E. R., & Lotufo, R. A. (2003). *Hands-on morphological image processing*. SPIE Optical Engineering Press.
19. Hÿtch Martin, & Hawkes, P. W. (2020). *Morphological image operators*. Academic Press, an imprint of Elsevier.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-15>

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

КОНСТРУЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКОЇ МЕХАНІКИ ДИСКРЕТНОЇ МАТЕРІЇ В ЕВКЛІДОВОМУ 4-ПРОСТОРИ

Пастернак Р.М. Конструювання релятивістської механіки дискретної матерії в евклідовому 4-просторі.

У роботі запропоновано використовувати векторні об'єкти механіки в евклідовому 4-просторі замість скалярних у просторі-часі, що значно спрощує як апаратну, так і інтерпретаційну складові теорії. Виявлено, що простір релятивістської механіки містить два взаємодіючих класи об'єктів із різною вимірністю. Виходячи з гіпотези про детальну та інтегральну рівновагу матерії вироблено принципи взаємодії елементарних об'єктів. Введено поняття грубого об'єкта – маршруту – з прозорим фізичним змістом та отримано його рівняння. Подано фізичну інтерпретацію параметрів стану, понять часу та інерції. Досліджено способи вибору інерційних систем відліку у Всесвіті та на основі загальних міркувань розраховано сталу Хаббла.

Ключові слова: релятивістська механіка, елементарний об'єкт, час, простір, інерція.

Pasternak R. Construction of relativistic mechanics of discrete matter in Euclidean 4-space. In the work, it is proposed to use vector objects of mechanics in Euclidean 4 space instead of scalar ones in space-time, which greatly simplifies both the hardware and interpretive components of the theory. It was found that the space of relativistic mechanics contains two interacting classes of objects with different dimensions. Based on the hypothesis of the detailed and integral balance of matter, the principles of interaction of elementary objects were developed. The concept of a rough object - a route - with a transparent physical meaning was introduced and its equation was obtained. A physical interpretation of state parameters, concepts of time and inertia is provided. Methods of choosing inertial frames of reference in the universe were studied and the Hubble constant was calculated based on general considerations.

Keywords: relativistic mechanics, elementary object, time, space, inertia.

Вступ. Серед багатьох фізичних теорій механіка продовжує відігравати визначальну роль. На даний час співіснує ряд неоднакових за своїми можливостями та математичним апаратом теорій, в основі яких лежать поняття матерії, простору та часу. Так, релятивістська механіка Мінковського (РММ) моделює рух тіл у неоднорідному багатозв'язному просторі-часі, що містить три різних за своїми властивостями області: матерії, світла і тахіонів. Якщо світло не є об'єктом дослідження РММ (область світла нульова), то з областю тахіонів є проблеми, адже у цьому випадку може порушуватись закон збереження енергії – випромнене чи поглинуте в підсвіті тахіонів світло для підсвіту матеріальних об'єктів не матиме породжуючої причини. В природі такі процеси не зареєстровані, тому можна було б скористатись одним із пояснень: або підсвіт тахіонів порожній, або РММ у тій частині, що стосується тахіонів, неповна. Одну із вдалих паліативних спроб відійти від використання простору-часу Мінковського здійснив П. Дірак [1] при побудові релятивістського рівняння руху електрона.

Формулювання завдання. Метою даної роботи є спроба вибудувати конструкцію механіки дискретних об'єктів у евклідовому 4-просторі та подання інтерпретації основних понять і зв'язків лише на основі гіпотез про незнищимість та загальні властивості існування матерії.

1. Стохастична механіка елементарних об'єктів

1.1. Простір елементарних механічних об'єктів. Принципи рівноваги матерії.

Елементарні об'єкти механіки (ЕМО) означуватимемо N -вимірним вектором \vec{N} (параметром стану). Ще з часів І. Ньютона апарат механіки вибудовувався на основі векторної алгебри, а П. Дірак поширив цей підхід і на апарат релятивістської хвильової механіки, увівши 4-вимірну векторну Ψ -функцію (біспінор) [1] у гільбертовому просторі.

Приписування простору тих чи інших якостей – апаратна сторона виключно самої моделі. Ізотропність простору в межах орбіти Землі показали досліди Кеннеді і Торндайка [2], а його однорідність впливає з досліду Бредлі [2], адже ефект астрономічної аберації проявляє себе однаково як для зірок, що знаходяться на різних віддальх від Землі, так і під різними кутами на небесній сфері. Саме з цих міркувань при побудові механіки використовуватимемо евклідовий простір, усі координати якого рівноправні.

ЕМО – об'єкт елементарний. Він не має внутрішньої структури, тому виявити його можна лише в процесі взаємодії з іншим ЕМО. Місце взаємодії декількох ЕМО називатимемо вузлом

взаємодії. Вузли взаємодії об'єднані вітками у граф взаємодій. Метричні характеристики віток не залежать від параметра стану ЕМО.

В основу запропонованої механіки покладено наступні гіпотези:

А. Принцип детальної рівноваги матерії: не існує внутрішніх причин зміни параметра стану ЕМО.

Цей принцип поширюється і на вузли взаємодії, де його слід трактувати як незмінність векторної суми параметрів стану всіх ЕМО (до та після взаємодії):

$$\sum_i \vec{H}_i = 0. \quad (1)$$

Іншими словами: для довільної точки простору проекції результуючих векторів \vec{H} на будь-який напрям нерозривні, а вітки ЕМО прямолінійні.

В. Принцип інтегральної рівноваги матерії: параметри стану \vec{H} не мають ні стоків, ні витоків.

Даний принцип поширюється і на вузли взаємодії. Для спрощення викладу модуль вектора \vec{H} надалі називатимемо енергією ЕМО і позначатимемо H . Енергії ЕМО для віток, що входять у вузол взаємодії, умовно вважатимемо додатними, а для віток, що з вузла виходять – від'ємними. Принцип інтегральної рівноваги означає, що алгебрична сума енергій усіх ЕМО у довільному вузлі взаємодії дорівнює нулю:

$$\sum_i H_i = 0. \quad (2)$$

1.2. Види вузлів взаємодії. Розглянемо моделі різних вузлів взаємодії як наслідок наведених принципів.

А. Реалізація тривіткового вузла в евклідовому просторі неможлива. Дійсно, для випадку взаємодії двох ЕМО з параметрами стану \vec{H}_1 та \vec{H}_2 , результатом якої був би третій ЕМО з параметром стану \vec{H}_3 , повинні б виконуватися умови:

$$\vec{H}_1 + \vec{H}_2 = \vec{H}_3; \quad H_1 + H_2 = H_3. \quad (3)$$

Незалежно від значень \vec{H}_1 , \vec{H}_2 та \vec{H}_3 , сумісне виконання умов (3) в евклідовому просторі можливе лише у випадку, коли три вектори лежать на одній прямій. Беручи до уваги атомарність ЕМО доходимо висновку, що такий випадок не реалізується.

Більш важливими є зворотні висновки:

а) ЕМО стабільні. Розгалуження вітки можливе лише внаслідок дії інших ЕМО;

б) вузол утворюють не менше чотирьох ЕМО (віток).

В. Планарна реалізація чотиривіткового вузла неможлива. Без обмеження загальності розглянемо випадок, коли у вузол взаємодії входить два ортогональних ЕМО з параметрами стану \vec{H}_1 та \vec{H}_2 і покидає два ЕМО з параметрами стану \vec{H}_3 та \vec{H}_4 . Виходячи з принципів детальної та інтегральної рівноваг матерії можна показати, що вектори \vec{H}_3 та \vec{H}_4 лежать на твірних конусів із кутами розкриття α і β (рис. 1), де

$$1 - \cos \alpha = \frac{H_1(H_2 - H_4)}{H_2 H_4}. \quad (4)$$

Нагадаємо, що А. Комптон [2] вивів аналогічну до (4) формулу для кута розсіяння X-променів на нерухомих електронах, виходячи із законів збереження імпульсу та енергії.

С. Розглянемо п'ятивітковий вузол дисипативної взаємодії, зображений на рис. 2. Для нього $\vec{H}_3 = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$. Увівши умову, що $\vec{H}_5 = -\vec{H}_4$, вибором величини H_4 можна добитися виконання умови інтегральної рівноваги матерії:

$$H_1 + H_2 = H_3 + 2H_4. \quad (5)$$

Тут $2H_4 = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} - H_3$. Особливістю такого вузла взаємодії є недоозначеність вибору напрямів векторів \vec{H}_4 та \vec{H}_5 .

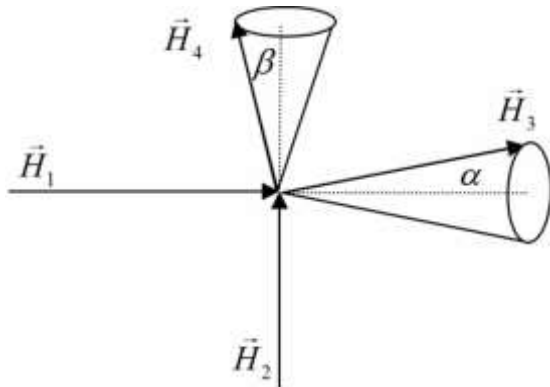


Рис. 1. Модель 4-віткового вузла

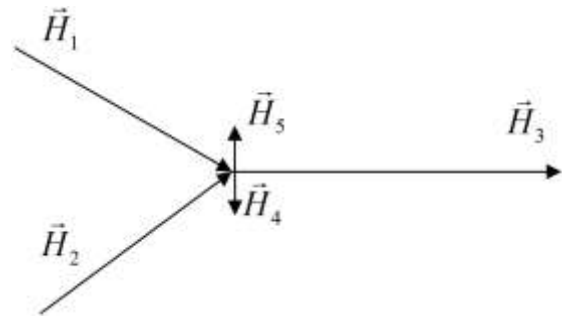


Рис. 2. Модель 5-віткового вузла

Незалежно від виду вузла взаємодії використання названих принципів породжує недетерміновану механіку з простором ЕМО, вимірність якого не менша трьох. Оскільки стохастичність елементарних процесів підтверджена експериментально і введена в ранг законів (II принцип термодинаміки чи II принцип квантування М. Борна), не варто шукати шляхів для її усунення. Основна проблема полягає у встановленні вимірності простору та виробленні механізму формування вузлів взаємодії ЕМО.

1.3. Опорний напрям. Квантування опорної складової ЕМО. При побудові механіки необхідно співвідносити параметри стану ЕМО зі світом реальних частинок та їхньою взаємодією. По-перше, у природі існує два суттєво різних класи частинок – ферміони та бозони. По-друге, речовину поділяють на матерію та антиматерію. По-третє, експериментально підтвердженим є факт існування власної енергії частинок, строго визначеної для кожного їхнього типу.

Викладені тези накладають додаткові обмеження на властивості ЕМО. Ми допускаємо, що крім трьох встановлених вище просторових координат у елементарних об'єктах існує четверта специфічна координата (пов'язана з властивостями матерії у Всесвіті), вісь якої \vec{L} ортогональна до трьох інших. Увівши поняття одиничного вектора $\vec{\pi}$ напрямку вздовж осі \vec{L} та одиничного вектора $\vec{\tau}$ напрямку параметра стану $\vec{H} = H\vec{\tau}$, усі ЕМО поділятимемо на три класи за знаком скалярного добутку цих векторів:

$$\text{sign}(\vec{\tau}, \vec{\pi}) = \begin{cases} +1 & \text{речовина;} \\ 0 & \text{нейтральний стан;} \\ -1 & \text{антиречовина.} \end{cases} \quad (6)$$

До нейтральних станів належать бозони (фотон та гіпотетичні глюони Стандартної моделі [1]). Важливо, що в ЕМО-бозонів відсутня складова уздовж опорного напрямку, натомість в ЕМО-ферміонів ця складова обов'язково присутня. (Слід зауважити, що бозонами можуть бути і зв'язані стани ферміонів, про які тут мова не іде, адже вони не є елементарними об'єктами).

Скалярний добуток $(\vec{\tau}, \vec{\pi}) = \cos \alpha$ задає косинус кута α (кут аберації) між напрямком параметра стану та віссю \vec{L} . Складову H_0 параметра стану \vec{H} уздовж опорного напрямку називатимемо власною (ферміонною) складовою енергії ЕМО:

$$H_0 = H(\vec{\tau}, \vec{\pi}). \quad (7)$$

Виходячи зі сказаного два перших принципи доповнюємо третім:

С. Принцип недисипативності: складові вектора \vec{H} уздовж опорного напрямку квантуються. У найпростішому випадку релятивістської механіки $H_0 = \text{const}$.

Принцип недисипативності не забороняє породження нових пар ЕМО, що представляють матерію, антиматерію чи нейтральні стани. На рис. 3 наведено схему шестивіткового вузла, що допускає породження додаткових пар ЕМО. Тут два ЕМО з параметрами стану \vec{H}_1 та \vec{H}_2 зіштовхуються, втрачають енергію до H_3 та H_4 , задовольняючи принцип інтегральної рівноваги $H_1 + H_2 = H_3 + H_4 + H_5 + H_6$ (принцип детальної рівноваги матерії теж виконується:

$\vec{H}_1 + \vec{H}_2 = \vec{H}_3 + \vec{H}_4$; $\vec{H}_5 + \vec{H}_6 = 0$). У вузлі породжується пара нових ЕМО \vec{H}_5 (антиречовина) та \vec{H}_6 (речовина). На приведеній схемі вважається, що опорний напрям проходить саме через новопороджені ЕМО. Оскільки реальні елементарні частинки характеризуються рядом інших параметрів стану, аналіз процесів їх породження та перетворення виходить далеко за межі простих механічних трактувань.

2. Грубі об'єкти механіки

2.1. Маршрут. Поняття часу. ЕМО унікальні та існують лише від одного вузла взаємодії до іншого; будувати ж розрахункову модель для направленого випадкового графа взаємодії багатьох ЕМО – задача непосильна. Особливістю матерії у Всесвіті є те, що ЕМО часто групуються в конгломерати, утворюючи самоузгоджені трубки ЕМО (атоми, тіла, зоряні системи, галактики). Якщо на умовно малій довжині $\Delta\eta$ в об'ємі трубки ЕМО знаходиться умовно велика кількість ЕМО, то шляхом усереднення (незалежно від типів вузлів взаємодії) можна представити елемент трубки грубим об'єктом. Як стверджував І.Р. Пригожін [3], для грубих об'єктів можна будувати оборотні та детерміновані моделі.

У випадку, коли площу поперечного перерізу трубки ЕМО вважають малою, саму трубку можна представити лінією. За наявності зовнішніх впливів ця лінія буде гладкою лише у випадку, коли на кожній довільній умовно малій ділянці $\Delta\eta$ трубки ЕМО сумарне значення H_3 зовнішніх впливів мале порівняно із сумарним значенням енергій елементів трубки ЕМО:

$$H_3 = \left| \sum_{\Delta\mu} \vec{H}_i \text{ зовнішнє} \right| \ll \left| \sum_{\Delta\mu} \vec{H}_j \text{ трубки} \right| = H. \quad (8)$$

Отже, виключаючи зовнішні впливи та не вдаючись у деталізацію процесів, що відбуваються на ділянках $\Delta\eta$ трубки ЕМО, введемо поняття домінуючого об'єкта – маршруту, який будемо моделювати гладкою кривою рис. 4. Маршрут, як одну з випадкових реалізацій трубки ЕМО, у кожній точці характеризуватимемо вектором $\vec{H} = H\vec{\tau}$, де $\vec{\tau}$ – одиничний вектор дотичної.

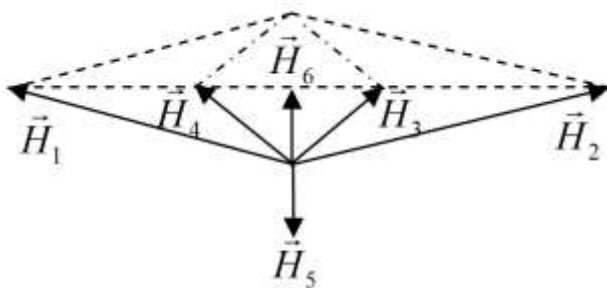


Рис. 3. Схема вузла з породженням частинок

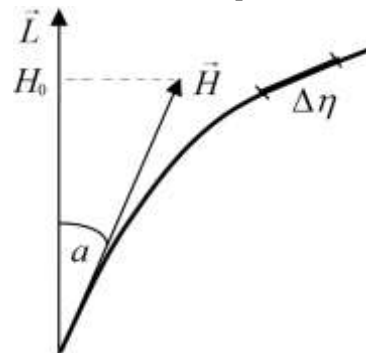


Рис. 4. Маршрут та опорний напрям

Парадигма кожної фізичної теорії опирається на інтерпретаційну складову, що розкриває внутрішню сутність моделі. Центральним поняттям механіки грубих об'єктів є час, що характеризує послідовність змін явищ та станів матерії. Для маршруту послідовність зміни явищ та станів зосереджені саме на його елементах, тому поняття проміжків часу $d\mathfrak{T}$, будемо кореспондувати саме їм пропорційно до довжини $d\eta$ маршруту:

$$d\eta = cd\mathfrak{T}. \quad (9)$$

За коефіцієнтом c зберігаємо звичну назву – фундаментальна швидкість. Оскільки ЕМО, що моделюють фотони, є бозонами (параметри стану бозонів ортогональні до опорного напрямку), тому фундаментальна швидкість c точно збігається зі швидкістю світла у вакуумі.

Маршрут – грубий об'єкт, для якого час оборотний та детермінований. Оскільки дві довільні точки 4-простору можна з'єднати маршрутами різної довжини, проміжки часу не є абсолютними. У малому, внаслідок випадковості елементарних процесів взаємодії ЕМО на елементах маршруту, хід часу напрямлений і незворотний.

2.2. Вимірність простору механіки. Фізичні міркування про те, що вимірність простору механіки повинна бути більшою двох та меншою чотирьох, можна знайти в [1]. З іншого боку, на

4-вимірність простору вказує лоренц-інваріантність рівнянь руху релятивістської механіки чи апарату квантової механіки П. Дірака, що використовує гіперкомплексні числа Кліффорда (вимагають парної вимірності простору). Наведені висновки щодо 3- та 4-вимірності простору механіки зовсім не суперечать один одному, – вони лише вказують на наявність у ньому двох класів об'єктів з різними властивостями.

Складові маршруту в підпросторі нейтральних станів можуть зазнавати неперервних змін. Ці зміни можна спостерігати, тому називатимемо ці складові спостережуваними. Зміни параметра стану уздовж опорного напрямку квантуються. У найпростішому випадку релятивістської механіки $H_0 = const$, тобто зміни уздовж опорного напрямку взагалі неможливі, отже вони будуть неспостережуваними.

Наголосимо, що поділ евклідового 4-простору на два підпростори – це наслідок виключно поділу ЕМО на класи ферміонів та бозонів. Включати четвертий вимір релятивістської механіки в уявну координату простору-часу Мінковського чи використовувати її як безпосередньо неспостережувану – не лише апаратне рішення. Використання евклідового 4-простору дозволяє спростити інтерпретацію фізичних понять, включити у розгляд світло та усунути вихолощені з фізичного змісту тахіони. Важливим експериментальним підтвердженням такого вибору вважаємо наявність поздовжньої поляризації зі ступенем $\sin \alpha$ у частинок, що породжуються в слабких взаємодіях [1] (цей результат можливий лише за умови, коли спіни частинок направлений уздовж їхнього маршруту в евклідовому 4-просторі).

2.3. Геометрія маршруту. Якщо на маршрут діють зовнішні впливи \vec{H}_3 з середньою лінійною густиною \vec{F} на одиницю його довжини, то зазнаватиме змін і вектор стану \vec{H} . За умови термодинамічної рівноваги

$$\frac{d\vec{H}}{d\eta} = -\frac{d\vec{H}_3}{d\eta} = \vec{F}. \quad (10)$$

4-вектор \vec{F} називатимемо силою. Оскільки змінюватися може як величина, так і напрям \vec{H} , перепишемо (10) із використанням формули Френе:

$$\vec{F} = \frac{d(H\vec{\tau})}{d\eta} = \frac{dH}{d\eta} \vec{\tau} + HK \vec{n}. \quad (11)$$

Тут K – головна кривина маршруту, а \vec{n} – одиничний вектор головної нормалі до маршруту.

Кожній ділянці маршруту можна приписати механічні змінні: постійну за величиною 4-вимірну швидкість

$$\vec{V} = \frac{d\eta}{d\mathfrak{S}} \vec{\tau} = c\vec{\tau} \quad (12)$$

та залежне від головної кривини K маршруту 4-вимірне пришвидження

$$\vec{A} = \frac{d\vec{V}}{d\mathfrak{S}} = c^2 K \vec{n}. \quad (13)$$

Із використанням позначень (12) та (13) перепишемо рівняння (11) маршруту в термінах механіки:

$$\vec{F} = \frac{dH}{c^2 d\mathfrak{S}} \vec{V} + \frac{H}{c^2} \vec{A}. \quad (14)$$

Домножуючи (скалярно) рівняння (14) на \vec{V} , отримуємо вираз для обчислення швидкості змін енергії елементів маршруту:

$$\frac{dH}{d\mathfrak{S}} = (\vec{F}, \vec{V}). \quad (15)$$

Тут враховано, що вектори \vec{V} та \vec{A} ортогональні, тому скалярний добуток 4-пришвидження та 4-швидкості завжди дорівнює нулю. Із врахуванням (15) рівняння (14) маршруту набуде вигляду:

$$\frac{H}{c^2} \vec{A} = \vec{F} - \frac{1}{c^2} (\vec{F}, \vec{V}) \vec{V}. \quad (16)$$

3. Системи відліку

3.1. Інтерпретація параметра стану маршруту. Основними характеристиками матеріальної точки в механіці вважають її енергію E та імпульс \vec{p} . Енергію матеріальної точки найчастіше пов'язують з її масою m , яка відповідно до гіпотези А. Айнштейна [2], пропорційна до енергії:

$$E = mc^2. \quad (17)$$

Для світла, а воно поширюється виключно у спостережуваному підпросторі, гіпотеза М. Планка [2] вказує, що енергія пропорційна до хвильового числа k

$$E = \hbar ck, \quad (18)$$

де \hbar – квант дії.

У позачасовому представленні маршрут будемо ототожнювати з поняттям матеріальна точка, а його спостережувану складову – із траєкторією матеріальної точки. Висунувши гіпотезу, що $E = H$, можна поширити формулу (18) і на параметр стану. Оскільки в загальному випадку вектор \vec{H} може мати і неспостережувані компоненти, гіпотезу М. Планка не можна застосовувати безпосередньо. У цьому випадку скористаємося формулою Л. де Бройля [1], що пов'язує імпульс \vec{p} частинки з хвильовим вектором \vec{k} . Оскільки 4-простір механіки евклідов, формула Л. де Бройля повинна виконуватися незалежно для кожної з його складових. Розширивши поняття імпульсу на 4-простір

$$\vec{P} = m\vec{V} = \frac{1}{c}\vec{H}, \quad (19)$$

поширимо на 4-простір формулу де Бройля:

$$\vec{H} = \hbar c\vec{k}. \quad (20)$$

Підкреслимо, що формула (19) вирішує також основну трудність релятивістської квантової механіки – лінійну залежність гамільтоніана Дірака від імпульсу; натомість для світла формула (20) є лише частковим випадком зв'язку (18).

У механіці маршрутів перелічені вище гіпотези А. Айнштейна, М. Планка та Л. де Бройля не вважають самостійними законами, а пов'язують лише з інтерпретацією показів вимірювальних приладів, включаючи і ефект А. Комптона [2] (різноманіття трактувань зумовлене лише історичним ходом розвитку технічних засобів вимірювань). При послідовному викладі $\hbar = c = 1$, тоді параметр стану, хвильове число та імпульс маршруту збігаються, маса та енергія стають тотожними, а умови (1) та (2) детальної та інтегральної рівноваги матерії відповідають експериментально встановленим законам збереження імпульсу та енергії замкненої системи тіл. Важливо підкреслити, що для вказування одиниць вимірювання усіх механічних величин достатньо лише метрики простору.

3.2. Інерційні системи відліку. Хоча поняття інерції використовував ще Й. Кеплер [2], воно і досі до кінця не розроблене. Із рівняння (14) маршруту випливає, що за відсутності зовнішніх впливів вектор \vec{V} не змінюється – маршрут є прямим. Тобто основною причиною класичного поняття інерції є векторний характер маршруту.

Вибір системи відліку Σ ми пов'язуємо з наявністю однорідного векторного поля $\vec{\tau}_\Sigma$, уздовж якого ніколи не діють жодні сили:

$$\left(\vec{F}, \vec{\tau}_\Sigma\right) = 0. \quad (21)$$

Тут $\vec{\tau}_\Sigma$ – 4-вимірний векторна одиниця. Умова (21) вказує, що серед компонент вектора стану в системі відліку є такі, що ніколи не змінюються. У спеціальній теорії відносності, де відсутні будь-які взаємодії, ця умова задовольняється завжди; у загальному випадку умова (21) накладає обмеження на перехід від однієї системи відліку до іншої.

Оскільки частина маршруту може містити неспостережувану компоненту, розроблено спеціальні пристрої для вимірювання елементів його довжини – годинники. Годинник є невід'ємною матеріальною складовою системи відліку і показує час t системи Σ . Зважаючи на однорідність та ізотропність простору ЕМО, відповідно до (9) темп ходу часу однаковий для довільного маршруту, тому в рівнянні (16) можна використовувати і хід часу t системи Σ . Якщо на годинник не діють жодні зовнішні сили, таку систему відліку називатимемо інерційною.

В інерційній системі відліку компоненти параметра стану та механічних змінних маршруту можна представити через спостережувані та неспостережувані складові:

$$\vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{f} \\ 0 \end{vmatrix}; \vec{V} = \begin{vmatrix} \vec{v} \\ v_{\Sigma} \end{vmatrix}; \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{a} \\ a_{\Sigma} \end{vmatrix}. \quad (22)$$

Тут \vec{f} , \vec{v} , \vec{a} – спостережувані, v_{Σ} , a_{Σ} – неспостережувані компоненти. За такого розкладу вираз (15) отримує вигляд

$$dE = (\vec{f}, \vec{v}) dt, \quad (23)$$

що точно збігається зі старанно перевіреною формулою Ж. Понселе [2] для механічної роботи. У свою чергу, рівняння (16) маршруту можна розділити на складові відповідно для спостережуваного (простору Галілея) та неспостережуваного підпросторів:

$$m\vec{a} = \vec{f} - \frac{1}{c^2} (\vec{f}, \vec{v}) \vec{v} \quad (24)$$

$$ma_{\Sigma} = -\frac{1}{c^2} (\vec{f}, \vec{v}) v_{\Sigma}. \quad (25)$$

Рівняння (24) збігається з добре перевіреним експериментально релятивістським рівнянням руху матеріальної точки. Додамо, що закони релятивістської механіки матеріальних об'єктів можна записувати у будь-якій формі відносно довільних із перелічених у (17) - (20) змінних.

Оскільки уздовж напрямку $\vec{\tau}_{\Sigma}$ не діють жодні сили, складові будь-якого з параметрів стану на цей напрям не можуть змінюватися. Наприклад, для маси отримаємо старанно перевірене співвідношення:

$$m_{\Sigma} = m(\vec{\tau}, \vec{\tau}_{\Sigma}) = m\sqrt{1 - v^2/c^2} = const. \quad (26)$$

3.3. Локальність інерційних систем відліку у Всесвіті. Найпоширеніша теорія будови і розвитку Всесвіту базується на гіпотезі Великого Вибуху [2], відповідно до якої опорні напрями Всесвіту є сферично-симетричним у гіперпросторі.

Встановлена на основі астрономічних спостережень формула Хаббла [2]

$$v = H r, \quad (27)$$

де H – стала Хаббла, пов'язує швидкість v космологічного розбігання зоряних скупчень та галактик із відстанню r до них. Відповідно до вибраної системи відліку, коли поле $\vec{\tau}_{\Sigma}$ колінеарне \vec{L} , величина r має зміст просторово-часового інтервалу, а d – відстані до цих об'єктів у 3-просторі Галілея, що обчислюється так:

$$d = r \cos \alpha. \quad (28)$$

На рис. 5 подано графічну інтерпретацію відрізків r , d та кута α . (Побудова малюнка виконана з урахуванням правила ортогональності напрямку поширення фотонів відносно опорного напрямку випромінюючого об'єкта). Оскільки

$$\sin \alpha = \frac{r}{\ell} = \frac{v}{c}, \quad (29)$$

із порівняння (27) та (29) знаходимо:

$$H = \frac{c}{\ell}. \quad (30)$$

Підставляючи числові значення, отримуємо $H = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{4,05 \cdot 10^9 \text{ пс}} = 0,0746 \frac{\text{М/с}}{\text{пс}}$, що добре узгоджується з експериментально отриманим $H = (74,2 \pm 0,12) \text{ (км/с)/Мпа}$ [4].

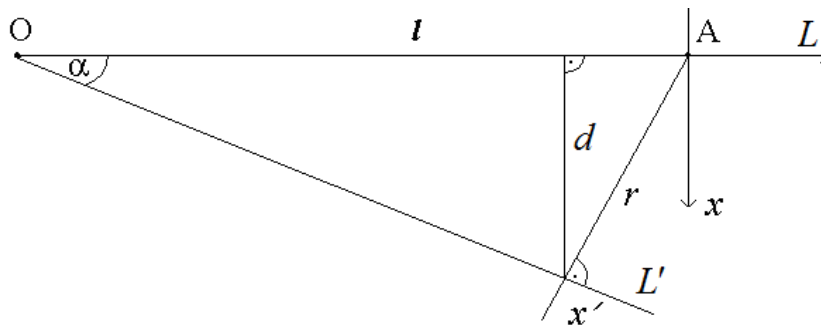


Рис. 5. Ілюстрація опорних напрямів у моделі Великого Вибуху

Відхилення порахованого значення H від експериментально знайденого може бути зумовлене як похибкою визначення відстані ℓ до центра симетрії Всесвіту, так і кривиною ліній опорних напрямів L . Проведене [5] спостереження метагалактичних джерел радіохвиль показало, що випромінювання останніх поляризоване по колу, причому перехід до спостереження протилежної частини небосхилу призводить до зміни правої поляризації на ліву. Автори [5] пояснюють такий результат обертанням Всесвіту з циклічною частотою $\omega_M = 10^{-13}$ рад/рік. У механіці маршрутів такий результат можна пояснити відхиленням зображених на рис. 5 опорних ліній L від прямих. Проведені обчислення показують, що радіус R їх кривини в околі нашої Галактики перевищує 10^{12} пс, тобто в тисячу разів більший інтервалу ℓ до центра симетрії Всесвіту [4]. Отже, використання прямих опорних ліній L на рис. 5 не викликає серйозних заперечень (по крайній мірі поза невеликим околom центра симетрії Всесвіту).

У 4-просторі Всесвіту існування однорідного векторного поля \vec{v}_Σ у принципі є неможливим. Однак, при паралельному перенесенні системи відліку у незначних межах (наприклад, уздовж нашої Галактики з поперечником у 30 кпс), кут відхилення опорних ліній L та L' не перевищуватиме 10^{-8} рад = $0'',002$. Хоча такою похибкою можна знехтувати, однак у принципі поняття інерційної системи відліку у Всесвіті носить локальний характер.

Висновки. Зосереджено увагу на розгляді поведінки та взаємодії двох різних типів механічних об'єктів – ферміонів та бозонів. Запропонований перехід до евклідового 4-простору з використанням векторних об'єктів замість скалярних у просторі-часі дозволив здійснити трактування понять інерції, часу, матерії і антиматерії. Експериментально підтвердженими є отримані аналітично рівняння руху, формула для обчислення змін енергії та значення сталої Хаббла. Особливо слід відзначити, що у пропонованій механіці замість трьох незалежних одиниць вимірювання (довжини, часу та маси) достатньо знання лише метрики простору.

Список бібліографічного опису

1. Вакарчук І. О. Квантова механіка. – Л.: ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. – 872 с.
2. Кудрявцев П.С. История физики. М.: Просвещение, т.3, 1971. – 422 с.
3. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. – 752 с.
4. Засов А. В., Постнов К. А. Общая астрофизика. – М.: ВЕК 2, 2006. – 496 с.
5. Birch P. Is the Universe rotating? Nature, 1982, v.298, p.451 - 454.

References

1. Vakarchuk I. O. Quantum Mechanics. - L.: LNU named after Ivan Franko, 2012. - 872 p.
2. Kudryavtsev P.S. History of physics. M.: Enlightenment, vol. 3, 1971. - 422 p.
3. Prigogine I., Stengers I. Order out of chaos. Moscow: Progress, 1986. – 752 p.
4. A. V. Zasov and K. A. Postnov, General Astrophysics. – M.: VEK 2, 2006. – 496 p.
5. Birch P. Is the Universe rotating? Nature, 1982, v.298, p.451 - 454.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-16>

УДК 004.415.3

Пех Петро Антонович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>

Лавренчук Світлана Василівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5453-3924>

Міскевич Оксана Іванівна, асистент

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

Дяченко Роман Олегович, магістр

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ЗАСОБАМИ MATLAB ТА MATLAB SIMULINK

Пех П.А., Лавренчук С.В., Міскевич О.І., Дяченко Р.О. Порівняльний аналіз методів розв'язування диференціальних рівнянь засобами Matlab та Matlab Simulink. В статті зроблена спроба проаналізувати методи розв'язування диференціальних рівнянь засобами Matlab та Matlab Simulink. Наведені коди програм, структурні схеми та результати моделювання двох диференціальних рівнянь.

Ключові слова: диференціальне рівняння, метод Ейлера, метод Рунге-Кутта, вирішувач, Matlab Simulink

Pekh P., Lavrenchuk S., Miskevych O., Diachenko R. comparative analysis of methods that solve differential equations by means Matlab and Matlab Simulink. The article attempts to analyze the methods of solving differential equations by means Matlab and Matlab Simulink. Program codes, structural diagrams and simulation results for two differential equations are given.

Keywords: differential equations, Euler's method, Runge-Kutta's method, solver, Matlab Simulink

Постановка задачі. Відомі різні числові методи розв'язування диференціальних рівнянь (ДР) [1,3,4]. Серед них – методи Ейлера, Адамса, Мілна, Рунге-Кутта та інші. Ці методи можуть бути реалізовані у різних програмних середовищах, зокрема і в середовищах Matlab та Matlab Simulink [2]. Варто зазначити, що саме ці два середовища найчастіше використовуються дослідниками для розв'язування ДР. У даній роботі зроблена спроба порівняти різні методи розв'язування ДР, які можна реалізувати в середовищах Matlab та Matlab Simulink.

Метою дослідження було порівняти різні методи розв'язування ДР в середовищах Matlab та Matlab Simulink з точки зору точності отримуваних результатів, складності та простоти реалізації на прикладі двох конкретних ДР.

Новизна дослідження полягає у порівняльному аналізі різних методів розв'язування ДР в середовищах Matlab та Matlab Simulink [1].

Основна частина. У даній роботі пропонуються розроблені авторами Matlab-програми, структурні схеми моделювання засобами Simulink, отримані числові результати та графічні залежності для двох звичайних ДР:

$$y' = x + \sin\left(\frac{y}{2.25}\right); \quad y(1.4) = 2.2; \quad (1)$$

$$y' = 1 + 0.2 * y * \sin x - 1.5 * y^2; \quad y(0) = 0; \quad (2)$$

ДР (1) розв'язане:

- за Matlab-програмою, яка реалізує модифікований метод Ейлера (рис. 1 – 3);
- за Matlab-програмою, побудованою на базі вирішувача ode15i (рис. 4 – 6);
- за структурною схемою Simulink (рис. 7 – 8).

ДР (2) розв'язане:

- за Matlab-програмою, яка реалізує модифікований метод Ейлера (рис. 9 – 11);
- за Matlab-програмою, побудованою на базі вирішувача ode45;
- за структурною схемою Simulink (рис. 12 – 14).

З викладеного далі можна зробити висновок, що всі три варіанти розв'язування ДР (програма, вирішувач, структурна схема) фактично забезпечують однакову точність обчислень.

З точки зору реалізації найбільш трудомісткими є варіанти розроблення Matlab-програм, які реалізують той чи інший метод. Однак такий варіант дає змогу бачити весь механізм методу і за необхідності оперативно впливати на ті чи інші його параметри.

Варіант використання вирішувачів значно спрощує процес програмування, і тому найшвидше веде до отримання результатів, однак він не розкриває внутрішньої будови методу.

Варіант розв'язування ДР засобами Simulink вимагає розроблення структурних схем, але саме цей варіант є найбільш прийнятним у випадках, коли доводиться моделювати роботу складних систем. Досить лише порівняти графіки поведінки системи, наведені на рис. 13 – 14, які отримані шляхом моделювання її роботи за різних значень діапазону моделювання.

```
function Modified Euler Method
% Розв'язування звичайного диференціального рівняння
% y'=x+sin(y/2.25) на інтервалі [1.4;2.4], якщо y(1.4)=2.2
% методом Ейлера з уточненням.
a=1.4; % Ліва межа інтервалу, на якому розв'язується рівняння
b=2.4; % Права межа інтервалу, на якому розв'язується рівняння
h=0.1; % Крок розбиття інтервалу
epsilon=0.001; % Точність обчислень розв'язків
x=a:h:b+3*h/2; % Формування вектора абсцис точок розв'язку
for i=1:10 % Обнулення вектора ординат точок розв'язку
    y(i)=0;
end
N=(b-a)/h+1;
% Виведення таблиці розв'язків диференціального рівняння:
fprintf('\nТаблиця розв'язків диференціального рівняння: \n');
fprintf(' i          x(i)          f(i)          y(i) ');
y(1)=2.2; % Реалізація початкових умов
f(1)=x(1)+sin(y(1)/2.25); % Обчислення функції f(x,y)
% в точці (x(1)=1.4; y(1)=2.2)
for i=1:N % Розрахунок ординат точок розв'язку
    yk=y(i); % Значення yk в точці x(i)
    fk=f(i); % Значення fk в точці x(i)
    ykk=1; % Наступне наближення функції ykk
    ykp=0; % Попереднє наближення функції ykp
    while abs(ykk-ykp) > epsilon % Поки точність не досягнута, виконувати...
        ykp=ykk; % Коригування попереднього наближення функції ykp
        yk1=yk+h*fk; % Допоміжна величина
        fk1=x(i+1)+sin(yk1/2.25); % Допоміжна величина
        ykk=yk+(fk+fk1)*h/2; % Наступне наближення функції ykk
    end

    fprintf('\n%3d    %10.4f %10.4f %10.4f ',i, x(i), f(i), y(i));
    y(i+1)=ykk; % Формування значення y(i+1) в точці x(i+1)
    f(i+1)=x(i+1)+sin(y(i+1)/2.25); % Формування значення f(i+1) в точці x(i+1)
end
fprintf('\n');
% Побудова графіка функції, яка є розв'язком диференціального рівняння
x=x(1:N);
y=y(1:N); % Відкидання останнього розрахованого значення вектора y
graf(x,y);
end

% Побудова графіка функції, яка є розв'язком диференціального рівняння
function graf(x,y)
figure(1);
plot(x,y,'r');
title('Графік розв'язку рівняння dx/dy=x+sin(y/2.25)');
xlabel('Значення аргумента x');
ylabel('Значення функції y');
grid on
end
```

Рис. 1. Matlab-програма розв'язування ДР (1) модифікованим методом Ейлера

Таблиця розв'язків диференціального рівняння:

i	x(i)	f(i)	y(i)
1	1.4000	2.2293	2.2000
2	1.5000	2.3821	2.4305
3	1.6000	2.5281	2.6759
4	1.7000	2.6648	2.9355
5	1.8000	2.7895	3.2082
6	1.9000	2.8998	3.4927
7	2.0000	2.9937	3.7874
8	2.1000	3.0696	4.0906

Рис. 2. Результати розв'язування ДР (1) модифікованим методом Ейлера

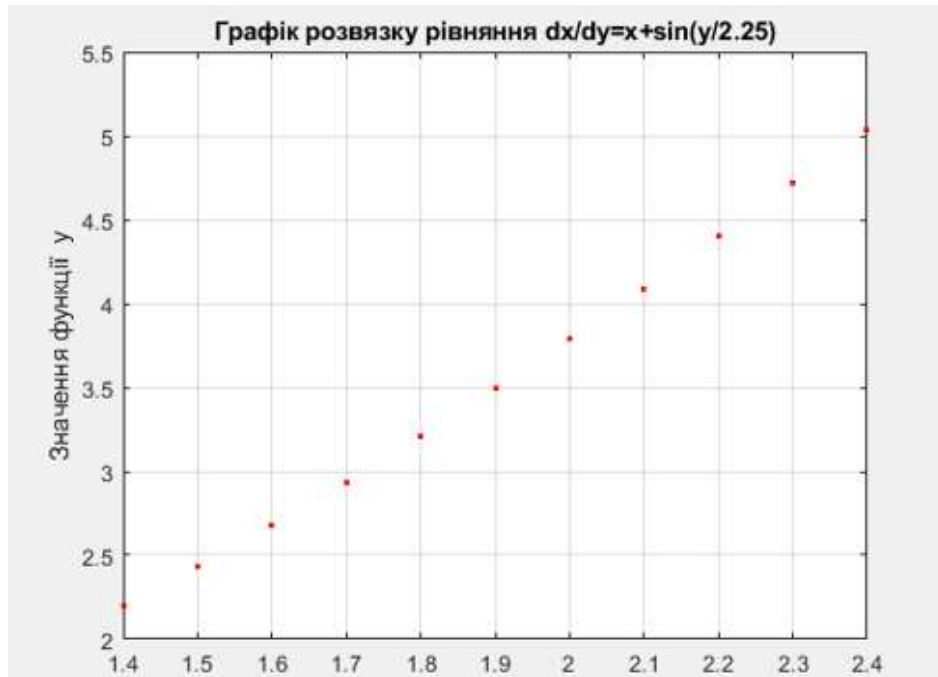


Рис. 3. Графік розв'язку ДР (1) модифікованим методом Ейлера

```
function Differential_Equation_ode15i
% Розв'язування звичайного диференціального рівняння
% y'=x+sin(y/2.25) на інтервалі [1.4; 2.4] за початкових умов y(1.4)=2.2
% за допомогою функції ode15i(@Differential_Equation_ode15i_F, [1.4 2.4],[2.2]).

[X Y]=ode15i(@Differential_Equation_ode15i_F, [1.4 2.4],[2.2]);
fprintf('\nТаблиця розв'язків [X Y] диференціального рівняння dy/dx=x+sin(y/2.25):\n');
[X Y]
figure(1);
plot(X,Y,'r. '), grid on;
title('Графік розв'язку рівняння dx/dy=x+sin(y/2.25)');
xlabel('Значення аргумента x');
ylabel('Значення функції y');
[X Y]=ode45(@lab_work_21_03_F, [1.4 2.4],[2.2]);
fprintf('\nТаблиця розв'язків [X Y] диференціального рівняння dy/dx=x+sin(y/2.25):\n');
[X Y]
Figure(2);
plot(X,Y,'r. '), grid on;
title('Графік розв'язку рівняння dx/dy=x+sin(y/2.25)');
xlabel('Значення аргумента x');
ylabel('Значення функції y');
end
```

Рис. 4. Matlab-програма розв'язування ДР (1) на базі підпрограми ode15i

Таблиця розв'язків [X Y] ДР $dy/dx=x+\sin(y/2.25)$:

i	x(i)	y(i)	i	x(i)	y(i)	i	x(i)	y(i)
1	1.4000	2.2000	10	1.7500	3.0798	19	2.0750	4.0150
2	1.4500	2.3134	11	1.7750	3.1394	20	2.1000	4.0915
3	1.4750	2.3715	12	1.8250	3.2789	21	2.1500	4.2458
4	1.5250	2.4906	13	1.8500	3.3497	22	2.2000	4.4015
5	1.5500	2.5516	14	1.9000	3.4934	23	2.2250	4.4798
6	1.6000	2.6762	15	1.9250	3.5662	24	2.2750	4.6372
7	1.6250	2.7398	16	1.9750	3.7136	25	2.3000	4.7162
8	1.6750	2.8697	17	2.0000	3.7882	26	2.3500	4.8748
9	1.7000	2.9359	18	2.0500	3.9389	27	2.4000	5.0339

Рис. 5. Результати розв'язування ДР (1) за допомогою вирішувача ode15i

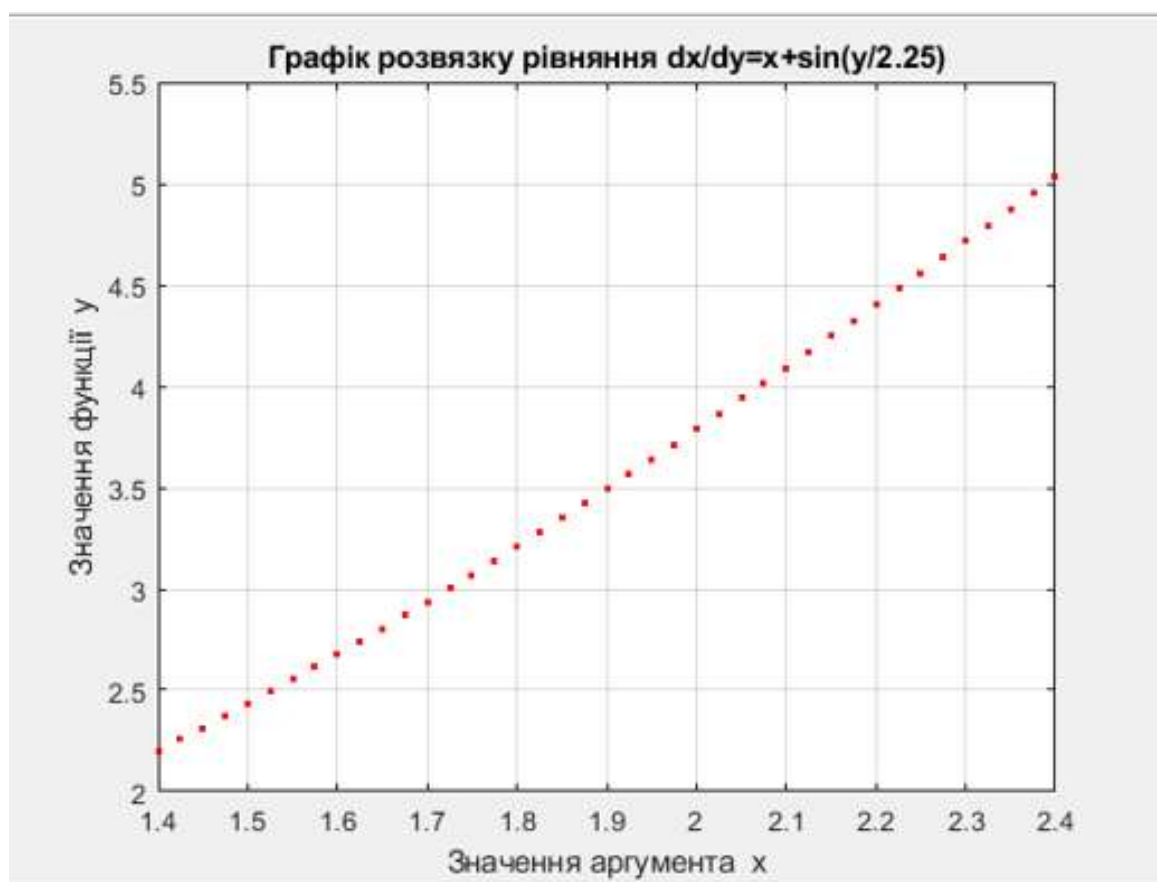


Рис. 6. Графік розв'язку ДР (1) за допомогою вирішувача ode15i

Диференціальне рівняння $dy/dx = x + \sin(y/2.25)$ за початкових умов $y(1.4) = 2.2$ на інтервалі $[1.4; 2.4]$ з кроком $h=0.1$

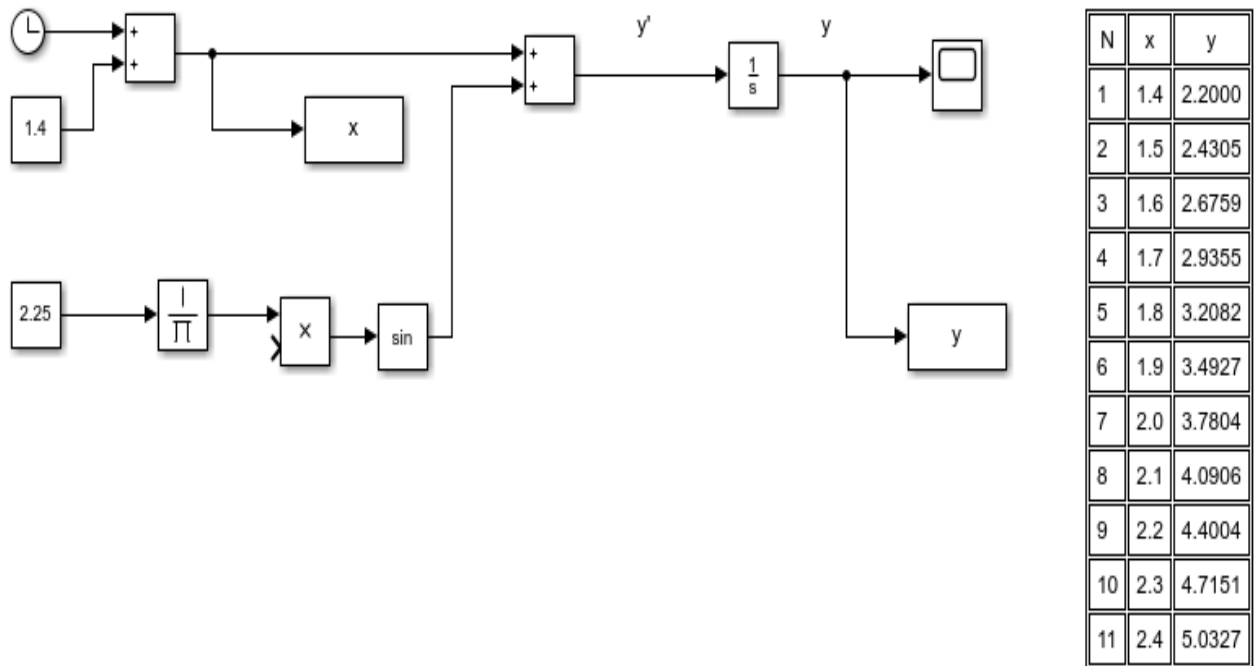


Рис. 7. Структурна схема та результати моделювання ДР (1) засобами Simulink

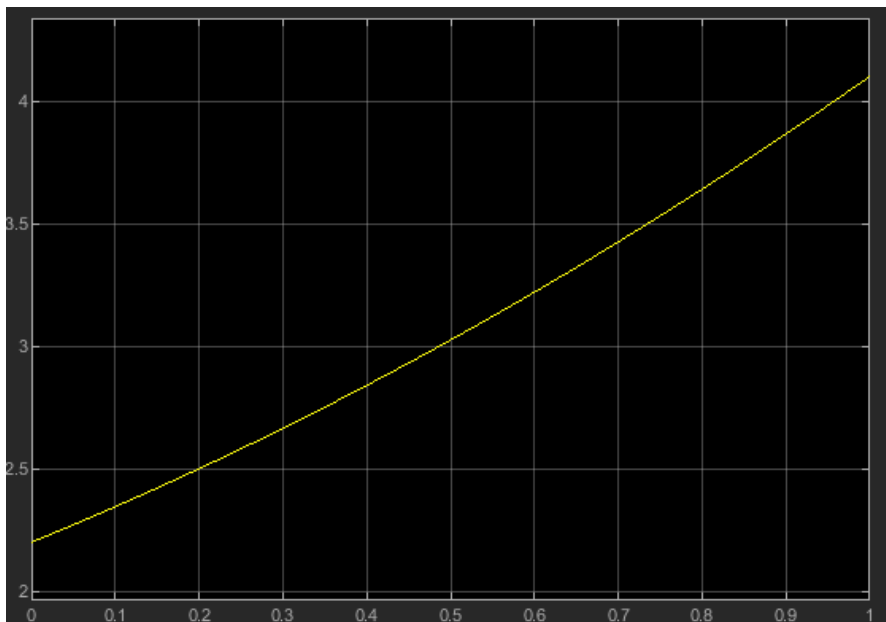


Рис. 8. Графік розв'язку ДР (1) засобами Simulink

```
function Runge Kutta Method
% Розв'язування звичайного диференціального рівняння
% y'=1+0.2*y*sin(x)-1.5*y.^2 на інтервалі [0;1] з кроком h=0.1
% за початкових умов y(0)=0 методом Рунге-Кутта.
a=0; % Ліва межа інтервалу, на якому розв'язується рівняння
b=1; % Права межа інтервалу, на якому розв'язується рівняння
h=0.1; % Крок розбиття інтервалу
epsilon=0.001; % Точність обчислень розв'язків
x=a:h:b+h/2; % Формування вектора абсцис точок розв'язку
for i=1:10 % Обнулення вектора ординат точок розв'язку
    y(i)=0;
end
y(1)=0; % Реалізація початкових умов
% Обчислення функції f(x,y) в точці (x(1)=0; y(1)=0):
f(1)=1+0.2*y(1)*sin(x(1))-1.5*y(1).^2; % Обчислення функції f(x,y)
N=(b-a)/h+1; % Кількість точок розбиття інтервалу [a;b] з кроком h
% Виведення таблиці розв'язків диференціального рівняння:
fprintf('\nТаблиця розв'язків диференціального рівняння: \n');
fprintf(' i          x(i)          y(i)          k1(i)          k2(i)          k3(i)          k4(i)
        dy(i)          y(i+1)');
for i=2:N+1 % Розрахунок ординат точок розв'язку
    % Обчислення допоміжних величин методу Рунге-Кутта:
    f(i)= 1+0.2*y(i-1)*sin(x(i-1))-1.5*y(i-1).^2;
    k1(i)=(1+0.2*y(i-1)*sin(x(i-1))-1.5*y(i-1).^2);
    k2(i)=(1+0.2*(y(i-1)+h*k1(i)/2)*sin(x(i-1)+h/2)-1.5*(y(i-1)+h*k1(i)/2).^2);
    k3(i)=(1+0.2*(y(i-1)+h*k2(i)/2)*sin(x(i-1)+h/2)-1.5*(y(i-1)+h*k2(i)/2).^2);
    k4(i)=(1+0.2*(y(i-1)+h*k3(i))*sin(x(i-1)+h)-1.5*(y(i-1)+h*k3(i)).^2);
    dy(i)=h*(k1(i)+2*k2(i)+2*k3(i)+k4(i))/6; % Приріст функції на i-ому кроці
    y(i)=y(i-1)+dy(i); % Значення y(i) в точці x(i)
    fprintf('\n%3d      %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f
%10.4f ',i-1, x(i-1), y(i-1), k1(i), k2(i), k3(i), k4(i), dy(i), y(i));
end

fprintf('\n');
% Побудова графіка функції, яка є розв'язком диференціального рівняння
y=y(1:N); % Відкидання останнього розрахованого значення вектора y
graf(x,y);
end

function graf(x,y)
% Побудова графіка функції, яка є розв'язком диференціального рівняння
figure(1);
plot(x,y,'r. ');
title('Графік розв'язку рівняння dx/dy=1+0.2*y*sin(x)-1.5*y^2');
xlabel('Значення аргумента x');
ylabel('Значення функції y');
grid on
end
```

Рис. 9. Matlab-програма розв'язування ДР (2) методом Рунге-Кутта

Таблиця розв'язків диференціального рівняння:

i	x(i)	y(i)	k1(i)	k2(i)	k3(i)	k4(i)	dy(i)	y(i+1)
1	0.0000	0.0000	1.0000	0.9967	0.9968	0.9871	0.0996	0.0996
2	0.1000	0.0996	0.9871	0.9712	0.9715	0.9498	0.0970	0.1966
3	0.2000	0.1966	0.9498	0.9227	0.9236	0.8918	0.0922	0.2888
4	0.3000	0.2888	0.8919	0.8561	0.8578	0.8187	0.0856	0.3745
5	0.4000	0.3745	0.8188	0.7773	0.7797	0.7363	0.0778	0.4523
6	0.5000	0.4523	0.7365	0.6923	0.6953	0.6505	0.0694	0.5217
7	0.6000	0.5217	0.6507	0.6064	0.6098	0.5659	0.0608	0.5825
8	0.7000	0.5825	0.5661	0.5237	0.5273	0.4859	0.0526	0.6350
9	0.8000	0.6350	0.4862	0.4469	0.4505	0.4127	0.0449	0.6799
10	0.9000	0.6799	0.4130	0.3777	0.3811	0.3474	0.0380	0.7179
11	1.0000	0.7179	0.3477	0.3166	0.3197	0.2902	0.0318	0.7498

Рис. 10. Результати розв'язування ДР (2) методом Рунге-Кутта

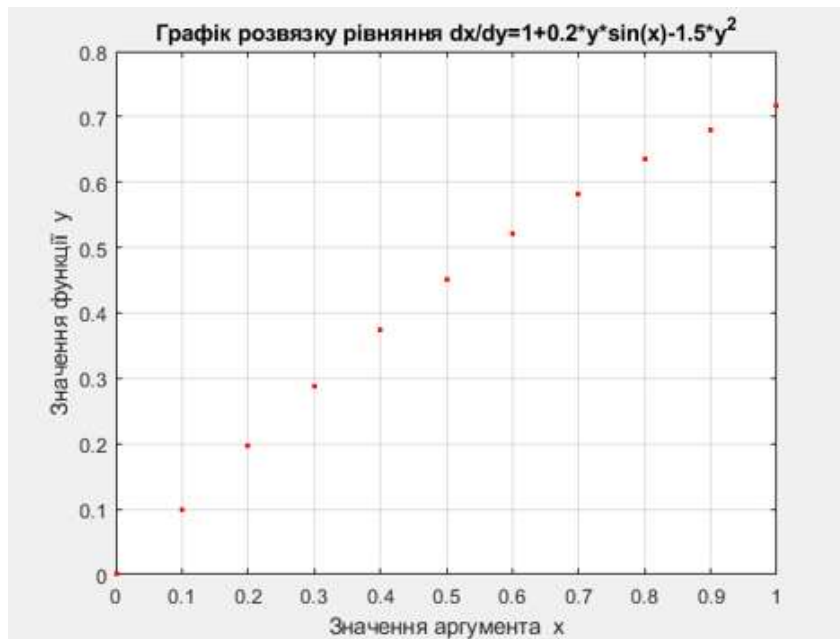


Рис. 11. Графік розв'язку ДР (2) методом Рунге-Кутта

Диференціальне рівняння $dy/dx = 1 + 0.2 * y * \sin(x) - 1.5 * y^2$ за початкових умов $y(0) = 0$ на інтервалі $[0; 1]$ з кроком $h=0.1$

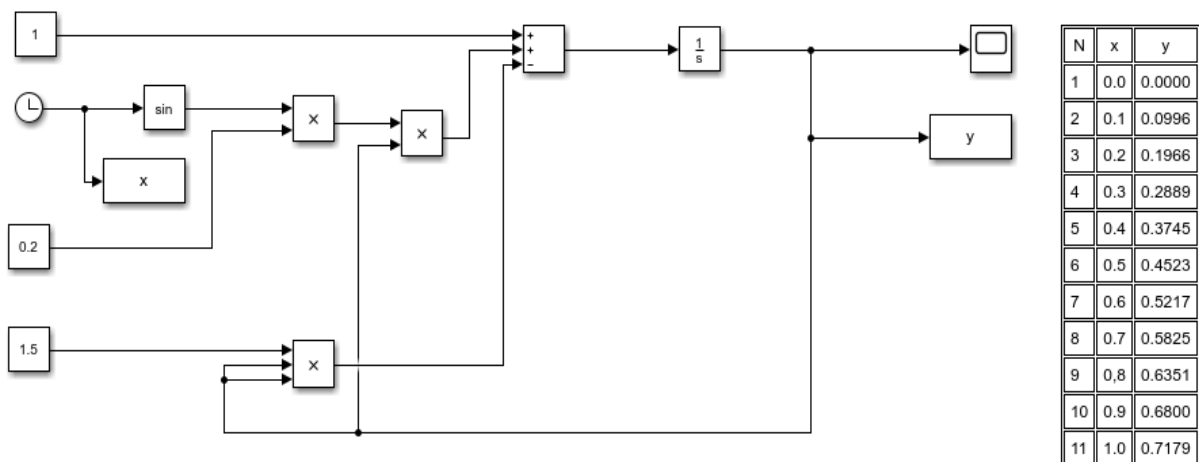


Рис. 12. Структурна схема та результати моделювання ДР (2) засобами Simulink

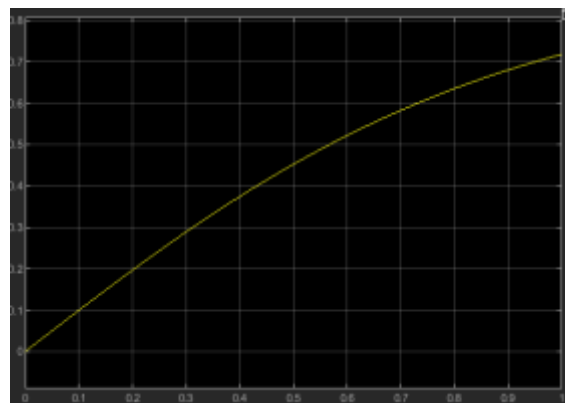


Рис. 13. Графік розв'язку ДР (2) засобами Simulink у разі $t=0 \dots 1$

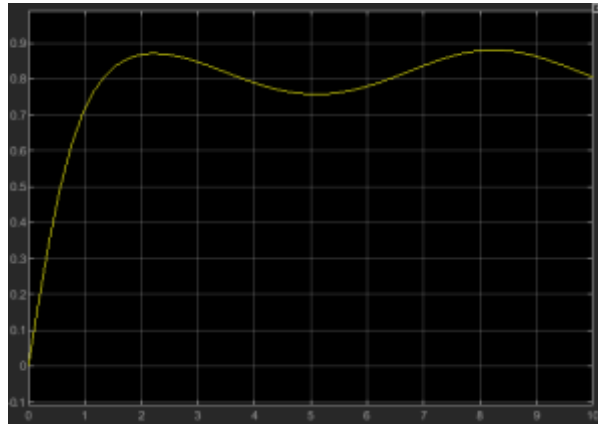


Рис. 14. Графік розв'язку ДР (2) засобами Simulink у разі $t=0\dots 10$

Висновок. У статті запропоновані дано порівняльний аналіз різних методів розв'язування ДР в середовищах Matlab та Matlab Simulink з точки зору точності отримуваних результатів, складності та простоти реалізації на прикладі двох конкретних ДР.

Список бібліографічного опису

1. Бахвалов, М.С. Чисельні методи: Підручник / М.С. Бахвалов, М.П. Жидков, Г.М. Кобельков. - М.: Біном. ЛЗ, 2011. - 636 с.
2. Дьяконов В.П. Matlab і Simulink для радіоінженерів. – М.: «ДМК-Пресс», 2011. -976 с.
3. Залізник, В.С. Чисельні методи. Основи наукових обчислень: Підручник і практикум для академічного бакалаврату / В.С. Залізник. - Люберці: Юрайт, 2016. - 356 с.
4. Чисельні методи / Під ред. Лапчика М.П. - М.: Academia, 2017. - 608 с.

References

1. Bakhvalov, M.S. Numerical methods: Textbook / M.S. Bakhvalov, M.P. Zhidkov, H.M. Kobelkov. - M.: Bynom. LZ, 2011. - 636 с.
2. Dyakonov V.P. Matlab and Simulink for radio engineers. - M.: "DMK-Press", 2011. -976 p.
3. Zaliznyak, V.E. Numerical Methods. Basics of scientific calculations: Textbook and practical for academic bachelor's degree / V.E. Railwayman - Lyubertsy: Yuright, 2016. - 356 с.
4. Numerical methods / Ed. Lapchyka M.P. - M.: Academia, 2017. - 608 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-17>

УДК 004.415.3

Пех Петро Антонович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., ст. викладач

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Кучерук Олександр Сергійович, магістр

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ СОРТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПОСЛІДОВНИХ КОНТЕЙНЕРІВ ЗАСОБАМИ C++ БІБЛІОТЕКИ СТАНДАРНИХ ШАБЛОНІВ STL

Пех П.А., Христинець Н.А., Кучерук О.С. Реалізація алгоритмів сортування елементів послідовних контейнерів засобами C++ бібліотеки стандартних шаблонів STL. В статті запропоновані кілька програм на базі різних алгоритмів сортування елементів послідовних контейнерів. Наведені коди програм та результати їх тестування.

Ключові слова: контейнер-вектор, контейнер-черга, контейнер-список, шаблон класу, бібліотека шаблонів

Pekh P., Khrystynets N., Kucheruk O. Implementation of algorithms for sorting elements of sequential containers by means of library of standard templates STL. The article offers several programs based on various algorithms for sorting elements of sequential containers. The program codes and results of their testing are given.

Keywords: container-vector, container-deque, container-list, class template, template library

Постановка задачі. Відомо [1,2], що контейнерні класи бібліотеки стандартних шаблонів STL (standard template library) поділяються на послідовні (vector, deque, list) та асоціативні (set та multiset, map та multimap). Кожен з цих класів реалізує певну абстрактну структуру даних. У випадку послідовних контейнерів – це вектори, черги, списки, у випадку асоціативних контейнерів – це множини та карти. Дане дослідження спрямоване лише на роботу з послідовними контейнерами, оскільки у ній розв'язується задача сортування елементів контейнерів за зростанням чи спаданням значень, яка стосується перш за все векторів, черг та списків.

Метою дослідження було розроблення низки програм з використанням алгоритмів бібліотеки STL для реалізації задачі сортування елементів послідовних контейнерів.

Новизна дослідження полягає у підході до програмування алгоритмів сортування саме за допомогою бібліотеки стандартних шаблонів [1, 3-4].

Основна частина. У даній роботі пропонуються три програми, розроблені за єдиною схемою, зображеною на рис. 1. Як можна бачити з цієї схеми, перший розділ програми містить директиви препроцесора, з допомогою яких під'єднуються заголовні файли. Їх призначення подані у вигляді коментарів. Другий розділ програми містить необхідні визначення класів, функцій чи їх шаблонів. Основна частина програми знаходиться у третьому розділі програми. Для кожної програми наведені результати її тестування. Таким чином, достатньо вставити у наведену на рис. 1 схему вміст другого та третього розділів, як ми тут же отримаємо готову програму на базі того чи іншого алгоритму STL. Використовуючи такий підхід, ми розробили програми сортування елементів послідовних контейнерів на базі використання алгоритмів STL: sort та stable_sort (рис. 2 – рис. 4); lower_bound та upper_bound (рис. 5 – рис. 7); binary_search (рис. 8 – рис. 10).

Функції sort і stable_sort сортують елементи діапазону у порядку зростання. Елементи порівнюються або за допомогою оператора менше (<), або за допомогою допоміжної функції compare. Функція sort не гарантує рівність упорядкування елементів, але stable_sort збереже відносний порядок рівних елементів після операції. Це означає, що коли є два рівних елементи a і b, і a передує b, то після сортування елемент a все одно передує елементу b. Функція lower_bound повертає ітератор до першого елемента діапазону [first, last], який не менше (тобто він більше або дорівнює) значення value, або якщо такого елемента немає, повертається ітератор до last. Для цього функція lower_bound порівнює елементи, використовуючи або оператор (<), або допоміжну функцію порівняння compare. Щоб ця функція працювала коректно, діапазон елементів повинен бути попередньо відсортований. Аналогічно працює функція lower_bound. Функція binary_search шукає елементи зі значенням, що дорівнює значенню всередині діапазону [first, last]. Якщо такий елемент знайдений, функція повертає значення true; якщо ні, то повертається false.

```

#include <iostream> // прототипи функцій для стандартного вводу та виводу в C++
#include <conio.h> // прототипи функцій для консольного вводу та виводу в C++
#include <string> // прототипи функцій для роботи зі стрічковими даними
#include <windows.h> // прототипи функцій для роботи з кирилицею
#include <algorithm> // прототипи функцій для підключення методів контейнерів
#include <iterator> // прототипи функцій для роботи з ітераторами
#include <vector> // прототипи функцій для роботи з контейнерами-векторами
#include <deque> // прототипи функцій для роботи з контейнерами-чергами
#include <list> // прототипи функцій для роботи з контейнерами-списками
using namespace std; // підключення простору службових імен

//-----
// Оголошення функцій та шаблонів
//-----

int main() {
    system("cls"); // очищення екрана від попередньої інформації
    SetConsoleCP(1251); // використання кирилиці при введенні даних
    SetConsoleOutputCP(1251); // використання кирилиці при виведенні даних
    //-----
    // Основна частина
    //-----
    return 0;
}

```

Рис. 1. Загальна структура програм, які розроблені у даній статті

```

template<class T>
void print(const T& value) {
    cout << value << " ";
}

char t(char c) {
    return tolower(c);
}

string toLower(const string& v) {
    string ret(v);
    transform(ret.begin(), ret.end(), ret.begin(), t);
    return ret;
}

bool descending_caseinsensitive(const string& a, const string& b) {
    return toLower(b) < toLower(a);
}

bool descending_casesensitive(const string& a, const string& b) {
    return b < a;
}

bool ascending_caseinsensitive(const string& a, const string& b) {
    return toLower(a) < toLower(b);
}

```

Рис. 2. Визначення шаблонів та функцій програми на базі алгоритмів sort та stable_sort


```
string t[] = { "AB", "dC", "ba", "aB", "BC", "bc", "BA", "cd", "Cd", "ab" };
vector<string> v1(10);
copy(t, t + 10, v1.begin());
cout << "Контейнер-джерело (вектор v1):\n";
cout << "v1: "; for_each(v1.begin(), v1.end(), print<string>); cout << endl;
cout << "\nСортування у порядку зростання:\n";
cout << "Сортування за допомогою функції sort :\n";
sort(v1.begin(), v1.end());
cout << "v1: "; for_each(v1.begin(), v1.end(), print<string>); cout << endl;
cout << "Сортування за допомогою функції stable_sort:\n";
copy(t, t + 10, v1.begin());
stable_sort(v1.begin(), v1.end(), ascending_caseinsensitive);
cout << "v1: "; for_each(v1.begin(), v1.end(), print<string>); cout << endl << endl;
cout << "Сортування у порядку спадання:\n";
cout << " Сортування за допомогою функції sort:\n";
sort(v1.begin(), v1.end(), descending_casesensitive);
cout << "v1: "; for_each(v1.begin(), v1.end(), print<string>); cout << endl;
cout << " Сортування за допомогою функції stable_sort:\n";
copy(t, t + 10, v1.begin());
cout << "v1: "; for_each(v1.begin(), v1.end(), print<string>); cout << endl << endl;
```

Рис. 3. Основна частина програми на базі алгоритмів sort та stable_sort

```
Контейнер-джерело (вектор v1):
v1: AB dC ba aB BC bc BA cd Cd ab
Сортування у порядку зростання:
Сортування за допомогою функції sort:
v1: AB BA BC Cd aB ab ba bc cd dC
Сортування за допомогою функції stable_sort:
v1: AB aB ab ba BA BC bc cd Cd dC
Сортування у порядку спадання:
Сортування за допомогою функції sort:
v1: dC cd bc ba ab aB Cd BC BA AB
Сортування за допомогою функції stable_sort:
v1: dC cd Cd BC bc ba BA AB aB ab
```

Рис. 4. Результати тестування програми на базі алгоритмів sort та stable_sort

```
template <class T> void print(T start, T end) {
    for (; start != end; ++start) {
        std::cout << *start << " "; } }
bool compare(int a, int b) {
    return b < a; }
```

Рис. 5. Визначення класу та функцій програми на базі алгоритмів lower_bound та upper_bound

```

int t[] = { 1, 10, 8, 4, 5, 6, 3, 9, 7, 2 };
deque<int> d1(t, t + 10);
cout << "Контейнер-джерело (deque):\n";
cout << "d1: "; print(d1.begin(), d1.end()); cout << endl;
cout << "\nСортування у порядку зростання:\n";
sort(d1.begin(), d1.end());
cout << "d1: "; print(d1.begin(), d1.end()); cout << endl;
cout << "Пошук елементів з діапазону [4,6]:\n";
deque<int>::iterator it1 = lower_bound(d1.begin(), d1.end(), 4);
deque<int>::iterator it2 = upper_bound(d1.begin(), d1.end(), 6);
print(it1, it2); cout << endl;
cout << "Пошук одного значення з діапазону за допомогою equal_range:\n";
pair<deque<int>::iterator, deque<int>::iterator> p = equal_range(d1.begin(), d1.end(), 4);
print(p.first, p.second); cout << endl << endl;
cout << "-----\n";
cout << "\nСортування у порядку спадання:\n";
sort(d1.begin(), d1.end(), compare);
cout << "d1: "; print(d1.begin(), d1.end()); cout << endl;
cout << "Пошук елементів з діапазону [6,4]:\n";
it1 = lower_bound(d1.begin(), d1.end(), 6, compare);
it2 = upper_bound(d1.begin(), d1.end(), 4, compare);
print(it1, it2); cout << endl;
cout << "Пошук одного значення з діапазону за допомогою equal_range:\n";
p = equal_range(d1.begin(), d1.end(), 4, compare);
print(p.first, p.second); cout << endl;

```

Рис. 6. Основна частина програми на базі алгоритмів lower_bound та upper_bound

```

Контейнер-джерело (deque):
d1: 1 10 8 4 5 6 3 9 7 2
Сортування у порядку зростання:
d1: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Пошук елементів з діапазону [4,6]:
4 5 6
Пошук одного значення з діапазону за допомогою equal_range:
4
-----
Сортування у порядку спадання:
d1: 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
Пошук елементів з діапазону [6,4]:
6 5 4
Пошук одного значення з діапазону за допомогою equal_range:
4

```

Рис. 7. Результати тестування програми на базі алгоритмів lower_bound та upper_bound

```
template <class T> void print(T start, T end) {  
    for (; start != end; ++start) {  
        std::cout << *start << " ";  
    }  
}  
bool compare(int a, int b) {  
    return b < a;  
}
```

Рис. 8. Визначення класу та функцій програми на базі алгоритму binary_search

```
int t[] = { 1, 10, 8, 4, 5, 6, 3, 9, 7, 2 };  
deque <int> d1(t, t + 10);  
cout << "Джерело-контейнер (deque):\n";  
cout << "d1: "; print(d1.begin(), d1.end());cout << endl;  
cout << "\nСортування у порядку зростання:\n";  
sort(d1.begin(), d1.end());  
cout << "d1: "; print(d1.begin(), d1.end());cout << endl;  
cout << "Пошук елемента [5]:\n";  
printMessage(binary_search(d1.begin(), d1.end(), 5), 5);  
cout << "-----\n";  
cout << "Пошук елемента в контейнері, який належним чином не відсортований:\n";  
cout << "Пошук елемента [5] - припускаючи, що контейнер відсортований за спаданням:\n";  
printMessage(binary_search(d1.begin(), d1.end(), 5, compare), 5); cout << endl;  
cout << "-----\n";  
cout << "\nСортування у порядку спадання:\n";  
sort(d1.begin(), d1.end(), compare);  
cout << "d1: "; print(d1.begin(), d1.end());cout << endl;  
cout << "Пошук елемента [5]:\n";  
printMessage(binary_search(d1.begin(), d1.end(), 5, compare), 5);
```

Рис. 9. Основна частина програми на базі алгоритму binary_search

```
Джерело-контейнер (deque):  
d1: 1 10 8 4 5 6 3 9 7 2  
Сортування у порядку зростання:  
d1: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
Пошук елемента [5]:  
Елемент 5 знайдено!  
-----  
Пошук елемента в контейнері, який належним чином не відсортований:  
Пошук елемента [5] - припускаючи, що контейнер відсортований за спаданням:  
Елемент 5 не знайдено!  
-----  
Сортування у порядку спадання:  
d1: 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1  
Пошук елемента [5]:  
Елемент 5 знайдено!
```

Рис. 10. Результати тестування програми на базі алгоритму binary_search

Висновок. У статті запропоновані різні варіанти програм, які реалізують алгоритми сортування елементів послідовних контейнерів шляхом використання відповідних методів бібліотеки стандартних шаблонів STL. Такий підхід дозволяє значно прискорити процес розроблення програм.

Список бібліографічного опису

1. Х.М.Дейтел, И.Дж.Дейтел. Как программировать на С++: Пятое издание. М.: ООО «Бином-Пресс», 2011. - 1456 с.
2. Архангельский Ф.Я. Программирование в С++Builder. М.: ООО «Бином-Пресс», 2010. -896 с.
3. Пех П.А., Костюк Ю.Ю., Кравченко М.Б. До питання конструювання класів з конструкторами різного типу // Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво" –Луцьк: Видавництво Луцького НТУ. –Вип. 39. -2020. С. 197-203.
4. Пех П.А., Корець Р.С. Реалізація основної функції калькулятора – обчислення виразів – за допомогою Java-класів // Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво" –Луцьк: Видавництво Луцького НТУ. –Вип. 35. -2019. С. 172-176.

References

1. H.M. Deitel, I.J., Deitel. How to program in C++: Fifth edition. M.: "Bynom-Press" LLC, 2011. -1456 p.
2. Arkhangelsky F.Ya. Programming in C++Builder. M.: "Bynom-Press" LLC, 2010. -896 p.
3. Pekh P.A., Kostyuk Yu.Yu., Kravchenko M.B. On the issue of designing classes with different types of constructors // Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production" - Lutsk: Publishing House of Lutsk National Technical University. - Issue 39. -2020. P. 197-203.
4. Pekh P.A., Korets R.S. Realization of the main function of the calculator - calculation of expressions - with the help of Java classes // Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production" - Lutsk: Publishing House of Lutsk National Technical University. - Issue 35. -2019. P. 172-176.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-18>

УДК 004.738+004.43

Хомутник Дмитро Юрійович, бакалавр,

<https://orcid.org/0000-0002-3130-8839>

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

ВИСОКОРІВНЕВИЙ СПОСІБ ОПИСУ РЕСУРСІВ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Хомутник Д.Ю., Марченко О.І. Високорівневий спосіб опису ресурсів хмарної інфраструктури. У даній статті запропонований спосіб, який дозволяє стисло описувати хмарну інфраструктуру провайдера хмарних ресурсів AWS. Розглянутий спосіб базується на ідеї спрощення опису найпоширеніших видів хмарних ресурсів шляхом використання абстракцій високого рівня. Результатом роботи способу є згенерований код мовою Terraform, у якому використовуються абстракції найнижчого рівня.

Ключові слова: хмарна інфраструктура, опис хмарних сервісів, автоматизація, хмарні ресурси, комп'ютерні мережі, AWS, Terraform.

Khomutnyk D., Marchenko O. High-level technique for description of cloud infrastructure resources. This article proposes a technique that allows us to concisely describe a cloud infrastructure of the cloud resources provider AWS. The considered technique is based on the idea of simplified description of the most common cloud resources through using high-level abstraction. The result of the technique is the generated code in Terraform language that uses low-level abstractions.

Keywords: cloud infrastructure, cloud service description, automatization, cloud resources, computer networks, AWS, Terraform.

Постановка проблеми. Використання хмарних технологій набуло значної популярності за останні роки, і з часом ця популярність лише зростає. Все більше організацій з комп'ютерним парком різного розміру переносять свою комп'ютерно-мережеву інфраструктуру з локальних серверів на хмарні ресурси, що надаються постачальниками (провайдерами) хмарних послуг (рис. 1) [1]. На цьому рисунку по вертикальній осі позначений відсоток компаній у країнах ЄС, які користуються послугами хмарних провайдерів, по горизонтальній – рік проведення статистичних замірів. З набуттям все більшої популярності таких послуг у користувачів починають формуватися конкретні очікування від можливостей засобів опису комп'ютерно-мережевих інфраструктур, що надаються провайдерами, наприклад: можливість створення віртуальних машин у підмережах з публічними або приватними IP-адресами, можливість створення систем керування реляційними базами даних з декількома копіями для збільшення завадостійкості тощо. Зі зростаючою популярністю хмарних технологій постає потреба в реалізації зручних та простих способів опису створення та використання таких ресурсів, які були б орієнтовані на менш досвідчених користувачів хмарних послуг.

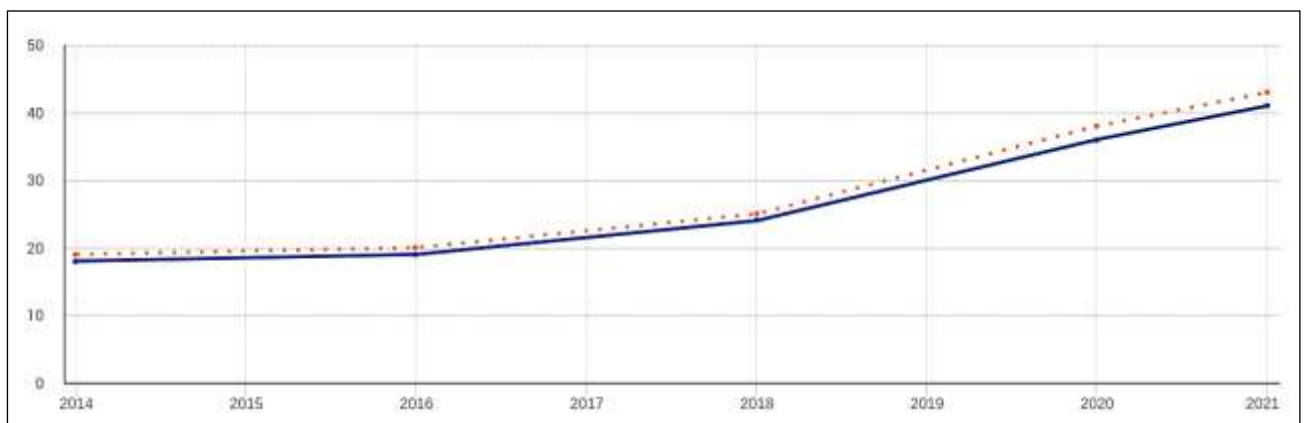


Рис. 1. Відсоток компаній у країнах ЄС, які використовують хмарні технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] описано загальне визначення хмарних сервісів та стандартні сервісні моделі — програмне забезпечення як сервіс, платформа як сервіс та інфраструктура як сервіс. Хоч це і стандартизує принципи моделей розповсюдження

хмарних ресурсів, але опис самих ресурсів залишається не визначеним. У роботі [3] описані можливі причини відсутності стандартних рішень для опису ресурсів у різних провайдерів. У роботі [4] наведено проблеми стандартизації опису хмарних ресурсів та запропоновано можливий варіант створення універсального способу для опису будь-яких ресурсів будь-яких провайдерів.

Попри всі проведені дослідження, досі не існує такого способу опису хмарної інфраструктури, який би надавав можливості опису ресурсів на більш високому абстрактному рівні та який був би орієнтований на менш досвідчених користувачів хмарних послуг.

Постановка завдання. Запропонувати новий спосіб опису хмарної інфраструктури, який буде відрізнятися від існуючих більш високим абстрактним рівнем опису ресурсів хмарної інфраструктури та генерацією на основі такого опису детальних низькорівневих скриптів мовою Terraform.

Термінологія.

Хмарні ресурси — ресурси, які фізично знаходяться на серверах, підключених до мережі Інтернет.

Провайдер хмарних послуг/сервісів — компанія, що надає користувачам можливість створювати та використовувати хмарні ресурси.

ОС — операційна система.

AWS – Amazon Web Services.

VPC — Virtual Private Cloud — ресурс, що об'єднує в умовну групу інші ресурси [5].

EC2 — Elastic Compute Cloud — ресурс, що надає користувачам віртуальні машини [6].

AMI — Amazon Machine Images — образ ОС, який використовується віртуальними машинами AWS [7].

Засоби автоматизації хмарної інфраструктури. Зі зростанням популярності хмарних технологій вже були вжиті певні кроки для полегшення роботи з опису та керування хмарними ресурсами. Одним з таких кроків є створення засобів для автоматизації “розгортання” хмарних ресурсів, які можна використовувати замість ручного налаштування кожного окремого ресурсу [8]. Цей підхід називається “інфраструктура як код” [9].

На сьогодні найбільші провайдери хмарних сервісів надають власні способи та засоби для опису хмарних інфраструктур. Наприклад: CloudFormation у AWS [10], Azure Resource Manager у Microsoft Azure [11], та Deployment Manager у Google Cloud Provider [12]. Всі ці засоби надають користувачам можливість описувати хмарну інфраструктуру у декларативний спосіб. Це дозволяє забезпечити однорідність створюваної інфраструктури (кожен раз створена інфраструктура буде ідентична попередній) та уникнути більшості помилок при ручному налаштуванні ресурсів.

Однак головними їх недоліками є велика детальність властивостей ресурсів, які треба описувати, та низький рівень власне способу опису цих ресурсів. Користувачу необхідно знати усі тонкощі роботи кожного способу опису, особливості роботи з певним засобом і конкретні деталі ресурсів провайдерів для створення базової інфраструктури. Це висуває високі вимоги до кваліфікації розробників та призводить до виникнення чималої кількості дрібних помилок через необхідність включення великої кількості цих деталей до опису інфраструктури, а також вимагає багато часу на дослідження структури кожного ресурсу та пошук помилок, які можуть виникнути.

Для полегшення роботи користувачів з ресурсами, що надаються провайдерами, компанією HashiCorp було розроблено спосіб опису на основі декларативної мови Terraform [13], що надає можливість описувати ресурси різних провайдерів у модульному стилі. Ця мова вирішує проблему, коли потрібно використовувати ресурси різних провайдерів, а засоби опису у кожного провайдера різні, та надає можливість модульного підходу до опису ресурсів. Однак основні проблеми – вимога високої кваліфікації розробника та необхідність робити описи ресурсів на детальному рівні – залишаються. Тому, новий користувач має витратити багато часу для вивчення специфіки опису ресурсів кожного провайдера.

Однією з причин високих вимог до детальності опису кожного ресурсу є відсутність стандарту опису для однакових ресурсів у різних хмарних провайдерів. Хоч хмарні технології і набувають популярності, ця сфера ще відносно нова для багатьох користувачів, і тому з часом все більше користувачів формують свої власні очікування від хмарних ресурсів, наприклад: створення віртуальної машини або контейнера, у якому будуть запускатись необхідні програми; створення реляційних або нереляційних баз даних з налаштуванням резервних копій тощо. Крім того, сама структура і організація провайдерів зазнавала значних змін у процесі формування і зростання ринку хмарних технологій, що унеможливило достатню стандартизацію опису ресурсів [9, 14].

Попри це, на сьогоднішній день найбільші провайдери хмарних ресурсів надають користувачам вже досить стандартний набір цих ресурсів. І хоч користувач знає, що у нього є можливість створити умовну віртуальну машину, на якій буде виконуватись користувацький код, йому все ж необхідно вивчити велику кількість конкретних деталей опису цього ресурсу того провайдера, послугами якого він хоче скористатись. І у випадку, якщо користувач захоче скористатись послугами іншого провайдера, цей процес необхідно буде повторити знову. Відповідно, навіть зі стандартними наборами хмарних ресурсів у окремих провайдерів, перед користувачами постає проблема з надмірною деталізацією і відмінністю їхніх описів, що й висуває вимогу високої кваліфікації розробника.

Опис простої інфраструктури різними способами. В якості прикладу опису інфраструктури для порівняння різних способів опису було обрано створення VPC з однією підмережею та однією віртуальною машиною EC2. У цієї віртуальної машини буде доступ до будь-якого вхідного та вихідного трафіку, однак вона буде прихована від зовнішнього світу. Для створення публічної підмережі необхідні додаткові налаштування таблиць маршрутизації та створення окремої публічної IP-адреси для EC2, що дещо ускладнює наведений приклад.

Для більш чіткого виділення відмінностей, а також підкреслення недоліків вище зазначених способів опису хмарних ресурсів, нижче наведено лістинги створення віртуальної машини у приватній підмережі для провайдера AWS за допомогою способів опису, які надають засіб CloudFormation (рис. 2) та мова Terraform (рис. 3). На цих рисунках числами в кружечках показані відповідності між оголошеннями ресурсів та їхніми параметрами в обох способах.

```
AWSTemplateFormatVersion: 2010-09-09
Resources:
  ExampleVPC: ①
    Type: AWS::EC2::VPC
    Properties:
      CidrBlock: 172.22.0.0/16 ②
  ExampleSubnet: ③
    Type: AWS::EC2::Subnet
    Properties:
      VpcId: !Ref ExampleVPC ④
      CidrBlock: 172.22.10.0/24 ⑤
      AvailabilityZone: eu-north-1a ⑥
  ExampleSecurityGroup: ⑦
    Type: AWS::EC2::SecurityGroup
    Properties:
      VpcId: !Ref ExampleVPC ⑧
      GroupName: example-security-group ⑨
      GroupDescription: 'Allow all ingress traffic'
      SecurityGroupIngress:
        - IpProtocol: -1 ⑩
          FromPort: -1
          ToPort: -1
          CidrIp: 0.0.0.0/0
  ExampleNetworkInterface: ⑪
    Type: AWS::EC2::NetworkInterface
    Properties:
      SubnetId: !Ref ExampleSubnet ⑫
      GroupSet:
        - !Ref ExampleSecurityGroup ⑬
      PrivateIpAddresses:
        - PrivateIpAddress: 172.22.10.4 ⑭
          Primary: 'true'
  ExampleEC2: ⑮
    Type: AWS::EC2::Instance
    Properties:
      ImageId: 'ami-078e13ebe3b027f1c' ⑯
      InstanceType: t3.micro ⑰
      NetworkInterfaces:
        - NetworkInterfaceId: !Ref ExampleNetworkInterface ⑱
          DeviceIndex: '0'
```

Рис. 2. Спосіб опису хмарної інфраструктури засобу CloudFormation

Як видно з наведених рисунків, при використанні цих способів опису, кожна деталь повинна описуватись явно і точно. Оголошення VPC (1) потребує визначення простору IP-адрес (2) для ресурсів, що в ньому розміщуються. Оголошення підмережі (3) потребує прив'язки до VPC (4), а також визначення підпростору IP-адрес (5) для мережевих карт, що у ній розміщені. Також необхідно вказати одну із зон доступності (6) для визначення фізичного розташування ресурсів всередині цієї підмережі.

Для надання дозволу зовнішніх підключень до віртуальної машини оголошено групу правил безпеки (7). У ній також описується зв'язок з VPC (8) та інші параметри (9): ім'я групи, її опис тощо. Після цього описано правило для вхідного трафіку з вказанням дозволених HTTP-протоколів підключення, портів та просторів IP-адрес (10).

У віртуальної машини за замовчуванням відсутня мережева карта, і, відповідно, відсутній доступ до будь-яких підключень. Для створення і налаштування мережевої карти потрібно оголосити мережевий інтерфейс (11), який необхідно розмістити у підмережі (12), вказати йому групи правил безпеки (13) та виділити конкретну IP-адресу (14).

Наостанок, для оголошення віртуальної машини (15) необхідно визначити операційну систему (AMI), яка буде на ній працювати (16), а також її фізичні характеристики (17). Також необхідно прив'язати до віртуальної машини мережевий інтерфейс (18), що був оголошений раніше.

```

resource "aws_vpc" "ExampleVPC" { ①
  cidr_block = "172.22.0.0/16" ②
}

resource "aws_subnet" "ExampleSubnet" { ③
  vpc_id      = aws_vpc.ExampleVPC.id ④
  cidr_block  = "172.22.10.0/24" ⑤
  availability_zone = "eu-north-1a" ⑥
}

resource "aws_security_group" "ExampleSecurityGroup" { ⑦
  name        = "example-security-group" ⑨
  description = "Allow all ingress traffic"
  vpc_id      = aws_vpc.ExampleVPC.id ⑧

  ingress {
    protocol = "-1"
    from_port = 0 ⑩
    to_port   = 0
    cidr_blocks = ["0.0.0.0/0"]
  }
}

resource "aws_network_interface" "ExampleNetworkInterface" { ⑪
  subnet_id      = aws_subnet.ExampleSubnet.id ⑫
  private_ips    = ["172.22.10.4"] ⑭
  security_groups = [aws_security_group.ExampleSecurityGroup.id] ⑬
}

resource "aws_instance" "ExampleEC2" { ⑮
  ami           = "ami-078e13ebe3b027f1c" ⑯
  instance_type = "t3.micro" ⑰

  network_interface { ⑱
    network_interface_id = aws_network_interface.ExampleNetworkInterface.id
    device_index         = 0
  }
}

```

Рис. 3. Спосіб опису хмарної інфраструктури мовою Terraform

Розглянуті приклади опису показують, що в обох випадках присутня однакова кількість оголошених ресурсів та їхніх параметрів. Хоч спосіб опису мовою Terraform і вирішує проблему модульності опису, але високі вимоги до кваліфікації розробників, що виконують перенесення

комп'ютерно-мережевої інфраструктури у хмару, та необхідність писати достатньо багато тексту залишаються на тому ж самому рівні.

Якщо віртуальну машину потрібно налаштувати з більш розширеним переліком ресурсів, ніж базовий, як в наведеному прикладі (а це необхідно майже у всіх випадках), то кількість явно прописаних зв'язків між ресурсами і їх параметрів також буде зростати відповідно. Такий підхід з явним описом абсолютно всіх ресурсів та їх параметрів може виявитись корисним, коли користувач точно знає які ресурси йому потрібні, як їх потрібно описувати, а також має достатню кваліфікацію, щоб зробити це. Однак в більшості випадків такі детальні описи є достатньо стандартними і можна обійтись більш стислим описом інфраструктури на більш високому абстрактному рівні з автоматичною генерацією детальних частин, що скоротить сам опис і прискорить його виконання, а також знизить вимоги до рівня кваліфікації розробника.

Запропонований спосіб опису. Авторами пропонується новий спосіб опису хмарної інфраструктури, який відрізняється від існуючих більш високим та наближеним до користувача рівнем опису ресурсів хмарної інфраструктури з генерацією скриптів мовою Terraform для провайдера AWS, приклад використання якого показаний на рисунку 4. На цьому рисунку, так само, як і на рис. 2 та 3, числами в кружечках показані відповідності між оголошеннями ресурсів та їхніми параметрами.

У оголошенні VPC (1) та присвоєнні йому простору IP-адрес (2) немає суттєвих відмінностей від попередніх способів опису. Однак замість визначення конкретних зон доступності для підмереж, користувач вказує лише регіон (6), у якому будуть розміщені всі ресурси в даному VPC. Хоча, при бажанні, у користувача залишається можливість і такого самого детального опису, як у попередніх способів.

Підвищення рівня абстракції опису та спрощення цього опису полягає в тому, що, вказавши регіон розміщення ресурсу VPC, користувач може опустити вибір конкретних зон доступності при оголошенні підмереж. У випадку, коли користувач оголошує декілька підмереж всередині однієї VPC, транслятором може бути згенеровано автоматичне розподілення цих підмереж по різних зонах доступності, що, крім спрощення опису, також збільшує надійність всієї інфраструктури.

```
VPC ExampleVPC { (1)
  cidr_block = "172.22.0.0/16" (2)
  region = "eu-north-1" (6)

  Subnet ExampleSubnet { (3)

    EC2 ExampleEC2 { (15)
      (16) ami = "ami-078e13ebe3b027f1c"
      (17) instanceType = "t3.micro"

      (11) networking {
        ingress = all (10)
      }
    }
  }
}
```

Рис. 4. Запропонований спосіб опису хмарної інфраструктури.

Завдяки вкладеній структурі описаних ресурсів користувачу не потрібно посилатись на ресурси в коді щоб створити зв'язки між ними. Підмережа описана в блоці VPC (3), а віртуальна машина описана в блоці підмережі (15). Таким чином, при генерації вихідних скриптів мовою Terraform з'являється можливість створювати потрібні зв'язки між ресурсами виходячи з їхньої вкладеності, а не явно прописаних зв'язків.

Крім того, зазначимо, що при використанні запропонованого способу опису серед параметрів оголошеної підмережі відсутній простір IP-адрес, адреси з якого будуть виділятися ресурсам в цій підмережі. Транслятор зможе сам генерувати ці простори для всіх підмереж, оголошених користувачем, враховуючи їхню належність до конкретних VPC та можливі конфлікти адрес цих просторів.

Ще одне спрощення полягає в тому, що, описуючи віртуальну машину, користувач може вказувати як конкретний ідентифікатор АМІ (16), так і більш загальну назву ОС (наприклад, Linux або Windows Server) – в такому випадку транслятор згенерує коректний ідентифікатор АМІ з обраною ОС в обраному регіоні. Користувач має можливість також вказати фізичні характеристики віртуальної машини (17).

Наступне спрощення опису стосується підключення віртуальної машини до мережі Інтернет, для чого необхідно визначити відповідний блок всередині EC2 (11), у якому можна описати необхідні правила доступу (10). При запропонованому способі немає необхідності описувати конкретні деталі створення мережевих інтерфейсів та правил доступу через мережу Інтернет. Для цього користувачу надається набір загальних ключових слів, якими можна замінити детальний опис найпоширеніших правил доступу до віртуальної машини (наприклад, доступ до підключень через SSH, HTTP/HTTPS, FTP тощо).

Запропонований спосіб надає можливість ще одного підвищення рівня опису хмарних ресурсів. Оголосивши ресурс VPC і вказавши у ньому блок внутрішніх IP-адрес, у нас з'являється можливість автоматично згенерувати відповідні IP-адреси для усіх підмереж і віртуальних машин, розташованих в цьому VPC. Користувач може вказати лише конкретні IP-адреси як для ресурсів EC2, так і для їхніх підмереж, а транслятор збиратиме усю необхідну інформацію з наявного опису та буде генерувати Terraform-скрипти з оптимальними налаштуваннями.

Слід наголосити, що запропонований спосіб дозволяє користувачу робити опис також і на такому самому рівні деталізації, як і при використанні мови Terraform. В такому випадку транслятор згенерує вихідні скрипти, в яких автоматичні налаштування будуть мінімальними. Однак, в даному випадку це не так важливо, оскільки метою нового способу опису ресурсів є полегшення процесу розробки інфраструктури шляхом приховування цих деталей від розробника при використанні високорівневих, а не детальних конструкцій опису.

Висновки. Авторами було запропоновано новий спосіб опису хмарної інфраструктури, який відрізняється від існуючих більш високим та наближеним до користувача рівнем опису ресурсів хмарної інфраструктури з генерацією скриптів мовою Terraform для провайдера AWS і дозволяє спростити процес опису та знизити вимоги до кваліфікації розробника. Для прикладу було обрано базові налаштування та створення однієї віртуальної машини всередині публічної підмережі. Шляхом порівняння нового способу опису з вже існуючими на конкретному прикладі було наведено основні відмінності між цими способами, а також показана більша стислість та більш високий рівень опису запропонованого способу.

У реальних комп'ютерно-мережевих інфраструктурах для ефективного використання створених ресурсів необхідно визначити різні ресурси на детальному рівні, наприклад: публічна IP-адреса для віртуальної машини, таблиця маршрутизації та її правильне налаштування в підмережі, перетворювачі адрес та інше. Описуючи це все мовою Terraform, розробнику необхідно детально розуміти усі принципи опису та використання цих ресурсів. Використання запропонованого способу опису дозволяє велику кількість деталей опису згенерувати автоматично, що усуне всі технічні помилки, які роблять розробники при детальному описі, збереже час розробника, який він мав би витратити на детальне вивчення синтаксису і структури описаних ресурсів, а також понизити рівень кваліфікації розробника до рівня користувача.

Одним з можливих шляхів подальшого розвитку запропонованого способу може бути автоматичне визначення найкращих налаштувань інфраструктури за такими параметрами як ціна, розмір віртуальних машин, швидкість створення інфраструктури та інші. Також запропонований спосіб можна розширити на використання для більш ніж одного провайдера хмарних послуг.

Список бібліографічного опису

1. Cloud computing services [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_cicce_use/default/line/.
2. Mell P. The NIST definition of cloud computing [Електронний ресурс] / P. Mell, T. Grance // Special Publication 800-145. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-145/>.
3. Cloud interchangeability - redefining expectations [Електронний ресурс] / A. Monteiro, J. S. Pinto, C. Teixeira, T. Batista // Proceedings of the 1st International Conference on Cloud Computing and Services Science. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.5220/0003393301800183/>.
4. Ghazouani S. A survey on Cloud Service Description [Електронний ресурс] / S. Ghazouani, Y. Slimani // Journal of Network and Computer Applications. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.04.013/>.
5. Amazon Virtual Private Cloud (Amazon VPC) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aws.amazon.com/vpc/>.

6. Amazon EC2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aws.amazon.com/ec2/>.
7. Amazon Machine Images (AMI) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/AMIs.html>.
8. Prassanna J. A review of existing cloud automation tools [Електронний ресурс] / J. Prassanna, P. R. Anjali, V. Neelanarayanan // *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10s1.20519/>.
9. Rahman A. A systematic mapping study of infrastructure as code research [Електронний ресурс] / A. Rahman, R. Mahdavi-Hezaveh, L. Williams // *Information and Software Technology*. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.12.004/>.
10. AWS CloudFormation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aws.amazon.com/cloudformation/>.
11. Azure Resource Manager Overview [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-resource-manager/management/overview/>.
12. Google Cloud Deployment Manager [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cloud.google.com/deployment-manager/docs/>.
13. Terraform documentation [Електронний ресурс] // Terraform – Режим доступу до ресурсу: <https://www.terraform.io/docs>.
14. Shein E. The most important cloud advances of the decade [Електронний ресурс] / Esther Shein // *TechRepublic*. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techrepublic.com/article/the-most-important-cloud-advances-of-the-decade/>.

References

1. “Cloud Computing Services.” *European Commission, Eurostat*, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_cicce_use/default/line/. Accessed 5 Sep. 2022
2. Mell, Peter, and Timothy Grance. “The NIST Definition of Cloud Computing.” 2011, <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-145/>. Accessed 5 Sep. 2022
3. Monteiro, André, et al. “Cloud Interchangeability - Redefining Expectations.” *Proceedings of the 1st International Conference on Cloud Computing and Services Science*, 2011, pp. 180–183., <https://doi.org/10.5220/0003393301800183/>. Accessed 7 Sep. 2022
4. Ghazouani, Souad, and Yahya Slimani. “A Survey on Cloud Service Description.” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 91, 2017, pp. 61–74., <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.04.013/>. Accessed 5 Sep. 2022
5. “Amazon Virtual Private Cloud (Amazon VPC).” *Amazon, Amazon Web Services, Inc.*, <https://aws.amazon.com/vpc/>. Accessed 6 Sep. 2022
6. “Amazon EC2.” *Amazon, Amazon Web Services, Inc.*, <https://aws.amazon.com/ec2/>. Accessed 6 Sep. 2022
7. “Amazon Machine Images (AMI).” *Amazon, Amazon Web Services, Inc.*, <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/AMIs.html/>. Accessed 6 Sep. 2022
8. J. Prassanna, et al. “A Review of Existing Cloud Automation Tools.” *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 10, no. 13, 2017, p. 471., <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10s1.20519/>. Accessed 7 Sep. 2022
9. Rahman, Akond, et al. “A Systematic Mapping Study of Infrastructure as Code Research.” *Information and Software Technology*, vol. 108, 2019, pp. 65–77., <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.12.004/>. Accessed 7 Sep. 2022
10. “AWS CloudFormation.” *Amazon, Amazon Web Services, Inc.*, <https://aws.amazon.com/cloudformation/>. Accessed 4 Sep. 2022
11. “Azure Resource Manager Overview.” *Azure Resource Manager Microsoft Docs*, <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-resource-manager/management/overview/>. Accessed 5 Sep. 2022
12. “Google Cloud Deployment Manager Documentation.” *Google Cloud Deployment Manager*, Google, <https://cloud.google.com/deployment-manager/docs/>. Accessed 5 Sep. 2022
13. “Terraform Documentation.” *Terraform, HashiCorp*, <https://www.terraform.io/docs/>. Accessed 6 Sep. 2022
14. Shein, Esther. “The Most Important Cloud Advances of the Decade.” *TechRepublic*, 27 Nov. 2019, <https://www.techrepublic.com/article/the-most-important-cloud-advances-of-the-decade/>. Accessed 7 Sep. 2022

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-19>

УДК 004.932

Юхта Олександр Андрійович¹, студент

<https://orcid.org/0000-0002-4057-3052>

Ройко Олександр Юрійович², к.т.н., викладач

<https://orcid.org/0000-0001-8642-7707>

¹Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна

²Відокремлений структурний підрозділ «Волинський фаховий коледж Національного університету харчових технологій», м. Луцьк, Україна

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ШТРИХ-КОДІВ НА БАЗІ КАМЕРИ

Юхта О.А., Ройко О.Ю. Алгоритмічне забезпечення розпізнавання штрих-кодів на базі камери.

Представлено огляд алгоритмів виявлення та декодування штрих-кодів на прикладі одновимірних штрих-кодів. Запропоновано алгоритм, що забезпечує розпізнавання за допомогою камери та розшифрування штрих-кодів для подальшої роботи з асоційованими з ними даними.

Ключові слова: штрих-код, камера, локалізація, декодування, розшифрування, Code 128.

Yukhta O., Roiko O. Algorithmic support for camera-based barcode reading. An overview of the algorithms for detecting and decoding barcodes on the example of one-dimensional barcodes is presented. An algorithm that provides camera-based recognition and decoding of barcodes for further work with the data associated with them is proposed.

Keywords: barcode, camera, localization, decoding, decryption, Code 128.

Постановка наукової проблеми. Незважаючи на те, що технологія штрих-кодів існує з 1960-х років, декодери на основі камер додають нових викликів в процес їх декодування. Наприклад, тепер ми повинні подбати про роздільну здатність зображення. Хоча сучасні камери є багатопіксельними, штрих-код на захопленому зображенні зазвичай насправді міститься в невеликій підобласті області зображення. Таким чином, роздільна здатність може бути обмежена, якщо ніхто навмисно не максимізує її, що зазвичай не є доцільним на практиці. Зчитування штрих-кодів на великих відстанях є ще однією проблемною ділянкою, де має значення роздільна здатність. Крім того, ще однією перешкодою для зчитування може бути шум від спотворення зображення штрих-коду. Такі викривлення та дефекти можуть бути результатом різноманітних умов навколишнього середовища, включаючи нерівномірне освітлення, кут камери під час зйомки зображення і фізичну поверхню, наприклад, вигнуті або відбиваючі. Під час пошуку штрих-коду на зображенні виникає багато ускладнень – ця проблема відома як локалізація. Тому додатково необхідно приділити увагу проблемі ідентифікації початкової та кінцевої послідовностей штрих-коду для того, щоб мати опорні точки для його декодування. [1]

Нарешті, для роботи слід мати та використовувати практичний алгоритм. Навіть для найкращих умов щодо якості та чіткості вихідного зображення, за яким буде відбуватися зчитування штрих-коду, існує великий попит на швидкі та ефективні алгоритми. Практичність і функціональність вимагають того, щоб штрих-коди можна було сканувати та декодувати протягом кількох мілісекунд.

У цій роботі вивчаються алгоритми виявлення, зчитування та декодування штрих-кодів для їх адаптації під вирішення практичних задач.

Аналіз досліджень. Зчитування штрих-кодів досліджується десятиліттями. Після постійного вдосконалення тепер воно представлене усталеними промисловими стандартом. Донедавна зчитування штрих-кодів виконувалося майже виключно за допомогою спеціального обладнання. Незважаючи на те, що використання зчитувачів на основі камери зростає, більшість проблем, пов'язаних із цим методом, ще належить вирішити. Комерційні сканери, які використовуються в супермаркетах, освітлюють штрих-код смугою імпульсного світла та записують інтенсивність його відображення. Оскільки сканер використовує активне освітлення, він робить штрих-коди практично нечутливими до змін навколишнього освітлення. Крім того, їх структура часто вимагає, щоб штрих-коди були відносно близько до сканера, щоб успішно сканувати їх. Загалом ці спеціальні пристрої створюють високоякісний сигнал, який дозволяє надійно зчитувати штрих-код. З іншого боку, читання штрих-кодів за допомогою камер створює нові проблеми. Основною проблемою є низька якість зображення через шум або низький контраст. [2,6]

Ораціо Галло і Роберто Мандучі запропонували новий підхід до декодування штрих-кодів, який обходить процес бінаризації. Їх метод заснований на шаблонах, що деформуються, при цьому використовуючи всю інформацію про градації сірого кожного пікселя. Вони використали символ штрих-коду UPC-A та представили новий алгоритм декодування штрих-коду (локалізація та зчитування), який може працювати з розмитими зображеннями з шумом і низькою роздільною здатністю. [4]

Люпін Фан і Хао Ксі представили алгоритм, який може виявляти підобласть штрих-коду навіть на складному фоні за допомогою аналізу зображення на основі області. На відміну від традиційного аналізу зображень на основі області, алгоритм обробляється з інтегральним зображенням. Він може працювати з зображеннями, які розмиті, містять похило розташовані області штрих-коду та зняті при різному освітленні. [5]

Сяньон Фан запропонував швидкий і надійний метод розпізнавання штрих-коду Code 39, що містить шум. Запропонований метод складається з двох етапів: пошуку та декодування. На першому кроці всі зірочки на зображенні виявляються рівномірно визначеними лініями сканування, а потім ці лінії з однаковими напрямками зіставляються разом, щоб отримати дійсну область штрих-коду. На другому кроці для усунення шуму в області штрих-коду застосовується локальний метод усунення шуму. Крім того, для декодування штрих-коду використовується фільтр середньої смуги. Цей метод також має певні недоліки. Для зображень, роздільна здатність яких значно відрізняється від 2400x3500, цей підхід не може успішно розпізнати штрих-код автоматично, оскільки багато граничних значень потрібно встановити знову, наприклад, локальний поріг шумозаглушення. [6]

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. У багатьох напрямках сфери обслуговування спостерігається сильний рух від традиційного лазерного сканування та декодування до декодування на основі камери, зокрема і з допомогою камери мобільних пристроїв. Замість проходження лазером по штрих-коду, штрих-код фіксується камерою, що дозволяє потенційно більше надійне декодування зашифрованої у ньому інформації.

Штрих-коди можуть бути одновимірними (лінії чорних і білих смуг) або двовимірними (концентричні кільця або квадрати модулів) і існувати в різних формах та розмірах з різною ємністю та можливістю виправлення помилок. Ми визначаємо символіку як представлення будь-якого символу ASCII послідовністю нулів та одиниць. Щоб перетворити це на зображення штрих-коду, «0» та «1» замінюються білими та чорними модулями відповідно певного фіксованого розміру. [1]

Оскільки деякі символіки підходять певним програмам краще, ніж інші, існує багато різних застосувань штрих-кодів. Штрих-коди використовуються для інвентаризації, програм охорони здоров'я, продажів, виробництва, поштових застосувань, складування, доставки, віртуальних квитків та багатьох інших програм. Незважаючи на те, що розробляються нові технології, які виконують подібні функції, штрих-коди залишаються широко використовуваними сьогодні завдяки своїй недорогій вартості, гнучкості та надійності.

Оскільки проблема, для якої планується застосувати спроектований алгоритм, передбачає роботу з одновимірними штрих-кодами, то результати будуть описані саме для них.

Система зчитування штрих-кодів на основі камери передбачає два етапи автоматичного сканування всіх штрих-кодів:

1. Знайти положення штрих-коду.
2. Розшифрувати штрих-код.

Більш детально, процес декодування штрих-коду за допомогою камери починається із захоплення зображення, що містить штрих-код. Штрих-код локалізується та виявляються його межі. Особливості, характерні для символіки, визначаються та використовуються для визначення параметрів камери. Коли матриця камери відома, двійковий код відновлюється шляхом запуску жадібного алгоритму для локалізованого зображення. Вхідне зображення можна додатково спростити до простої смужки з N пікселів, яка зчитує послідовність значень, що представляють інтенсивність зображення в пікселях. [3, 9]

У цій системі запропонований алгоритм виявляє область штрих-коду за допомогою методу градієнта, а потім цю область обрізає. Модуль попередньої обробки зображення перетворює обрізане зображення штрих-коду в попередньо оброблене зображення у градаціях сірого, а потім зменшує шум і покращує контраст між смугами та пробілами в цьому попередньо обробленому зображенні. Потім це попередньо оброблене зображення передається в алгоритм декодування для

вилучення номера зі штрих-коду. Порівняння цього числа з відповідним полем бази даних дозволяє знайти та отримати запис з потрібною інформацією.

Було виявлено, що простий і швидкий алгоритм, представлений Ораціо Галло та Роберто Мандучі, забезпечує чудові результати навіть у складних ситуаціях. Цей алгоритм локалізації припускає, що зображення штрих-коду фіксується орієнтованою на камеру системою таким чином, що його вертикальна вісь приблизно паралельна смугам, як показано на рис. 1. Це зображення далі перетворюється на зображення у відтінках сірого, як показано на рис. 1. Таким чином, щодо штрих-коду слід очікувати розширену область, представлену сильними горизонтальними градієнтами та слабкими вертикальними градієнтами. [8]



Рис. 1. Оригінальне зображення та зображення у відтінках сірого

Відповідно, ми обчислюємо горизонтальні та вертикальні похідні $I_x(n)$ та $I_y(n)$ для кожного пікселя n . Потім ми об'єднуємо їх нелінійним способом, заданим як $I_e(n) = |I_x(n)| - |I_y(n)|$. Доцільно припустити, що багато точок у штрих-коді повинні мати велике значення $I_e(n)$. Ми запускаємо блоковий фільтр над $I_e(n)$, отримуючи згладжену карту $I_s(n)$.

У разі декодування на основі попередньо виявленої кінцевої точки рядка сканування просторове розташування обчислюється для кожного сегмента цифри в штрих-коді.

Розмір фільтра було обрано на основі діапазону розмірів вхідних зображень штрих-коду та мінімального розміру штрих-коду, який можна зчитувати нашим методом. Зауважте, що фільтрація блоків може бути реалізована настільки ефективно, щоб вимагалася лише кілька операцій на піксель. Зрештою, ми бінаризуємо $I_s(n)$ з одним порогом, який вибираємо за допомогою методу, запропонованого Оцу, і вихідне зображення виглядає як показано на рис. 2. [7]



Рис. 2. Зображення з застосування фільтру Гауса

Ця бінаризація використовується лише для локалізації штрих-коду, тоді як декодування виконується на зображенні в градаціях сірого. Через порогове значення карта $I_s(n)$ може містити більше одного двійкового блоба. Замість обчислення пов'язаних компонентів порогової карти просто вибирається піксель N_0 , який максимізує $I_s(n)$, з припущенням, що правильний блоб (той, що відповідає штрих-кодові) містить такий піксель. Потім розгортаємо вертикальну та горизонтальну лінії від N_0 та формуємо прямокутник зі сторонами, паралельними осям зображення штрих-коду та що містить точки перетину цих ліній, із краєм блоба. Слід зауважити, що тиха зона, тобто біла область навколо штрих-коду, яка полегшує локалізацію, межує з крайньою лівою та правою смугами штрих-коду. Тиха зона та великий розмір блок-фільтра гарантують, що вертикальні сторони прямокутника виходять за межі області штрих-коду принаймні на кілька пікселів, як показано на рис.3.



Рис. 3. Зображення зони штрих-коду

Коли зображення береться для сканування, разом із штрих-кодом також додається інша непотрібна інформація, наприклад літери та слова, що оточують штрих-код. Таким чином, дуже важливо видалити шум і отримати лише область штрих-коду для належного сканування та декодування. Після локалізації штрих-коду видно лише область штрих-коду, а навколишня інформація видаляється шляхом встановлення всіх інших пікселів рівними 0. Потім ми виконуємо кадрівання, спостерігаючи за інтенсивністю кожного пікселя та вилучаючи рядки штрих-коду, тобто пікселі з інтенсивністю більше 0.

У зображенні штрих-коду в реальному часі контраст між білими та чорними смугами низький через розмитість. Отже, необхідно покращити контрастність зображення, щоб розрізнити смуги. Це виконується, роблячи чорні смуги на один відтінок темнішими в градаціях сірого порівняно з білими смугами, як показано на рис. 4.



Рис. 4. Відкадроване та покращене за контрастністю зображення штрих-коду

Зображення з посиленням контрасту спочатку піддається бінаризації. Але через отримання в реальному часі це зображення спотворюється. Щоб перетворити його на ідеальне зображення, кожен стовпець сканується та перевіряється на максимальну кількість пікселів інтенсивності 0 або 1. Якщо певний стовпець містить більше пікселів з інтенсивністю 1, ніж 0, тоді весь стовпець перетворюється до пікселів з інтенсивністю 1. На рис. 5 показано ідеальне зображення штрих-коду.



Рис. 5. Ідеальне зображення штрих-коду

Межа – це піксель, у якому відбувається раптова зміна інтенсивності. Створюється масив таких пікселів, який формує межі смужок зображення штрих-коду. Ширина смуги обчислюється шляхом віднімання послідовних елементів масиву вершин, що відповідають за межі. Ці ширини смуг надаються як вхідні дані для алгоритму декодування. [9]

Даний алгоритм локалізації та розпізнавання може бути застосований для будь-якого типу штрих-коду на вході. Подальші процеси бінаризації та декодування залежать від конкретного типу штрих-коду. Для прикладу розглянемо роботу алгоритму для штрих-коду Code 128, який використовується для багатьох документів посвідчення особи, зокрема і для студентських квитків.

Номер штрих-коду розшифровується за допомогою масиву значень ширини штрихів. Таким чином, кодування штрих-коду включає чорні та білі лінії, що чергуються, змінної ширини від 1 до 4. Код починається з Start-символу і закінчується End-символом, між якими розташовуються зашифровані символи, кожен представлений 6 смужками (3 чорними та 3 білими). Розшифровка вимагає виконання зчитування смуги відповідно до стандарту EAN-128. Наприклад, штрих-код містить необроблене повідомлення 21121412241112214221114221114134111131222231112. Перевіряємо перші 6 цифр, що відповідають першим 3 чорним смугам і 3 білим смугам. У нашому прикладі 211214 означають Start-символ для Code 128B, отже розшифрування буде відбуватися відповідно до цього стовпця таблиці символів Code 128. Розділяємо повідомлення на блоки по 6

символів і розшифруємо їх. Послідовність 122411 за таблицею відповідатиме символу «h», 112214 – символу «e» і т.д. Повідомленням, що міститься в штрих-кодi, є слово «hello».

Також цей масив може бути перетворений до послідовності формату
1101001000010011000010101100100001100101000011001010000100011110101000
10011001100011101011

Процес декодування полягатиме в тому, що масив розбивається на 11-бітні блоки і повідомлення отримується посимвольно, оскільки у штрих-кодi Code 128 відповідно до кодування – типу А, В або С – набором з 11 бітів можуть бути літери або числа від 00 до 99. У представленій послідовності теж зашифровано слово «hello».

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Використавши розглянуті адаптовані та модифіковані алгоритми можна реалізувати систему ідентифікації та обліку студентів навчального закладу за їх студентськими квитками, на яких міститься штрих-код, за допомогою камери. У штрих-кодi зашифрований номер квитка, що складається лише з цифр. Після його зчитування та декодування за розшифрованим номером можна отримати інформацію про студента з існуючої бази даних та провести дії з запису певних даних, за якими будуть вестись статистика та формуватися звіти для керівництва.

Список бібліографічного опису

1. Roger C. Palmer. The Bar Code Book. Trafford Publishing, 2007.
2. Bhaskar Raj, Barcodes Technology and implementation, McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 346 p.
3. Chai D, Hock F, "Locating and Decoding EAN-13 Barcodes from Images Captured by Digital Cameras," Information, Communications and Signal Processing, 2005 Fifth International Conference, pp.1595-1599.
4. Gallo, O., Manduchi, R., "Reading 1D Barcodes with Mobile Phones Using Deformable Templates," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, vol.33, no.9, pp.1834,1843.
5. Luping Fang; Chao Xie, "1-D Barcode Localization in Complex Background," Computational Intelligence and Software Engineering (CiSE), 2010 International Conference, pp.1,3.
6. Xianyong Fang, FuLi Wu, Bin Luo, Haifeng Zhao and Peng Wang, "Automatic Recognition of Noisy Code-39 Barcode," Artificial Reality and Telexistence-Workshops, 2006. (ICAT '06), pp.79,82.
7. N. Otsu, "A Thresold Selection Method from Gray-Level Histograms" IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, vol.9, no.1, pp.62-66.
8. Thomas, V.M., "A Universal Code for Lifecycle Management of Products," Electronics & the Environment, Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium, pp.180,183.
9. Sampada S. Upasani, Adarsh N. Khandate, Ankita U. Nikhare, Rupali A. Mange, R.V.Tornekar. Robust Algorithm for Developing Barcode Recognition System using Web-cam. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, pp. 82-86.

References

1. Roger C. Palmer. The Bar Code Book. Trafford Publishing, 2007.
2. Bhaskar Raj, Barcodes Technology and implementation, McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 346 p.
3. Chai D, Hock F, "Locating and Decoding EAN-13 Barcodes from Images Captured by Digital Cameras," Information, Communications and Signal Processing, 2005 Fifth International Conference, pp.1595-1599.
4. Gallo, O., Manduchi, R., "Reading 1D Barcodes with Mobile Phones Using Deformable Templates," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, vol.33, no.9, pp.1834,1843.
5. Luping Fang; Chao Xie, "1-D Barcode Localization in Complex Background," Computational Intelligence and Software Engineering (CiSE), 2010 International Conference, pp.1,3.
6. Xianyong Fang, FuLi Wu, Bin Luo, Haifeng Zhao and Peng Wang, "Automatic Recognition of Noisy Code-39 Barcode," Artificial Reality and Telexistence-Workshops, 2006. (ICAT '06), pp.79,82.
7. N. Otsu, "A Thresold Selection Method from Gray-Level Histograms" IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, vol.9, no.1, pp.62-66.
8. Thomas, V.M., "A Universal Code for Lifecycle Management of Products," Electronics & the Environment, Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium, pp.180,183.
9. Sampada S. Upasani, Adarsh N. Khandate, Ankita U. Nikhare, Rupali A. Mange, R.V.Tornekar. Robust Algorithm for Developing Barcode Recognition System using Web-cam. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, pp. 82-86.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-20>

УДК 621.391.8

Залужний Олексій Вікторович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8722-4087>

Радзівілов Григорій Данилович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6047-1897>

Козубцова Леся Михайлівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7866-8575>

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

АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАВАДОСТІЙКИХ КОДІВ У СИСТЕМАХ ОДНОСТОРОННЬОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Залужний О.В., Радзівілов Г.Д., Козубцова Л.М. Аналіз цифрових методів модуляції та особливостей застосування завадостійких кодів у системах одностороннього радіозв'язку. Проведено аналіз цифрових методів модуляції та особливостей використання завадостійких кодів у системах радіозв'язку з односторонньою передачею дискретних повідомлень. Визначено напрямки досліджень, що направлені на підвищення достовірності передачі інформації при обмеженому частотному, часовому, енергетичним ресурсі та в умовах відсутності інформації про факт посилки корисного сигналу і можливості адаптації до сигнально-завадової обстановки.

Ключові слова: системи одностороннього радіозв'язку, цифрові методи модуляції, завадостійке кодування, завадостійкість.

Zaluzhnyi O., Radzivilov H., Kozubtsova L. Analysis of digital modulation methods and features of the use of error-correcting codes in one-way radio communication systems. The analysis of digital modulation methods and features of the use of error-correcting codes in radio communication systems with one-way transmission of discrete messages is carried out. The directions of researches are determined, which are aimed at increasing the reliability of information transmission with a limited frequency, time and energy resource, in the absence of information about the fact of sending a useful signal and the possibility of adapting to a signal-interference environment.

Keywords: one-way radio communication systems, digital modulation methods, noise immunity coding, noise immunity.

Постановка завдання і зв'язок її з важливими науковими завданнями. Сучасні тенденції розвитку телекомунікаційних систем, в основному, спрямовані на підвищення швидкості передачі даних та ефективності використання частотного ресурсу. Проте для систем телеметрії, моніторингу віддалених об'єктів та оповіщення основним завданням є максимізація надійності та достовірності доведення інформації. Останнє є важливим при використанні їх в умовах проведення спеціальних операцій, для охорони підприємств, установ, організацій, що можуть стати об'єктом терористичних атак та ін. Для покращення електромагнітної сумісності різних засобів, зменшення енергоспоживання, масо габаритних показників, затрат на розгортання та експлуатацію обладнання, а також, що особливо важливо, з метою приховати місце знаходження кореспондента, окреме місце у вказаних системах, як вітчизняного так і зарубіжного виробництва знаходить одностороння радіопередача [1 – 6]. Основними недоліками якої є відсутність інформації про факт посилки корисного сигналу і можливості адаптації до сигнально-завадової обстановки. Часто в таких системах обмеженим є вибір оптимальних методів модуляції і способів прийому та обробки сигналів, завадостійкого кодування, що зумовлено обмеженим частотним, часовим, енергетичним ресурсом і необхідністю функціонуванням в умовах високого насичення радіоефіру та впливу засобів радіоелектронної боротьби противника. У зв'язку з цим, важливим завданням є здійснення аналізу цифрових методів модуляції (далі – методів маніпуляції) та завадостійкого кодування, за критерієм мінімуму середнього значення ймовірності помилки на біт, з метою визначення перспектив їх використання в системах одностороннього радіозв'язку (СОР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу результатів досліджень за обраним напрямком можна зробити висновок, що вони, переважно, спрямовані на підвищення ефективності використання частотного, енергетичного ресурсу при забезпеченні необхідної швидкості та завадостійкості передачі інформації [7 – 13]. Проте відсутній узагальнений аналіз методів маніпуляції та особливостей використання завадостійких кодів в сучасних СОР. Основним завданням яких є доведення інформації з високою достовірністю в довільно складній завадовій обстановці.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Одностороння радіопередача застосовується в розвідувально-сигналізаційних системах [1, 2]. В технологіях Internet of Things (IoT) з односторонніми протоколами взаємодії (напр.: технологія Sigfox та Weightless-N) [3, 4], у системах радіозв'язку короткохвильового діапазону при передачі тактичних повідомлень ("Military Messaging", протокол ACP 142 (A)) [5, 6] та ін. Визначаючими факторами, що впливають на завадостійкість прийому повідомлень в цих системах є обрані методи маніпуляції, завадостійкого кодування, способи прийому та обробки сигналів.

Технологія Sigfox [4] підтримує як односторонній так і двосторонній режим роботи. В односторонньому режимі передача інформації здійснюється тільки висхідною лінією. Для досягнення великої дальності зв'язку при обмеженій потужності передачі (максимальна потужність передачі становить 25 мВт) використовується ультра-вузькосмуговий діапазон частот. Бітова швидкість на фізичному рівні – 100 біт/с (в Європі). Використовується differential binary phase-shift keying (DBPSK) маніпуляція. Завадостійкі коди з виправленням помилок не застосовуються [14].

Технологія Weightless-N [3, 15] повністю базується на односторонній радіопередачі висхідною лінією. Всі пристрої відправляють повідомлення на центральну базову станцію без синхронізації та підтвердження. В системі використовується DBPSK маніпуляція в поєднанні з згортковим кодом, що дозволяє виправляти помилки [16].

В стандартизованих цифрових модемах засобів радіозв'язку КХ діапазону в складній завадовій обстановці використовується BPSK маніпуляція в поєднанні зі згортковим кодом, швидкість якого обмежується необхідною пропускну здатністю каналу [17].

Таким чином, в розглянутих системах з односторонньою радіопередачею здебільшого використовується DBPSK та BPSK маніпуляція. Доцільність використання таких методів маніпуляції пояснюється результатами розрахунків, що здійснені за аналітичними виразами, які наведено в [10, 11]. При цьому кількісною мірою завадостійкості COP, що визначає достовірність прийнятого сигналу при впливові завад є ймовірність помилки на біт [10].

При когерентній (КГ) обробці сигналів з BPSK, binary frequency shift keying (BFSK) та binary amplitude shift keying (BASK) маніпуляцією достовірність прийому повідомлення в каналі з білим гаусовим шумом визначається за узагальненою формулою [10]:

$$p_{\text{біт}} = Q(\sqrt{\alpha\gamma_{\text{біт}}}), \quad (1)$$

де коефіцієнт $\alpha = 2$ для сигналів з BPSK, $\alpha = 1$ для – BFSK, $\alpha = 0,5$ для – BASK; $\gamma_{\text{біт}} = E_{\text{біт}}/N_0$ – відношення енергії біта $E_{\text{біт}}$ до спектральної щільності потужності шуму N_0 (ВЦШ); $p_{\text{біт}}$ – ймовірність помилки на біт; $Q(x)$ – функція, яка використовується для визначення площі під частиною гаусівської функції щільності розподілу ймовірностей.

Ймовірності помилки на біт для КГ приймання сигналів з DBPSK розраховується за наступним аналітичним виразом [10, 11]:

$$p_{\text{біт}} = 2Q(\sqrt{2\gamma_{\text{біт}}}) \cdot (1 - Q(\sqrt{2\gamma_{\text{біт}}})) \quad (2)$$

Значення $p_{\text{біт}}$ при некогерентній (НКГ) DBPSK визначається за формулою [10, 11]:

$$p_{\text{біт}} = 0,5 \cdot e^{-\gamma_{\text{біт}}} \quad (3)$$

Результати розрахунків, що зроблені за формулами (1), (2), (3) наведено на рисунку 1. Вони свідчать про те, що найбільшу потенційну завадостійкість мають сигнали з фазовою та відносно фазовою (при КГ чи НКГ прийомі) видами маніпуляції. Перехід від BPSK до DBPSK призводить до погіршення завадостійкості, яке стає все суттєвішим з зменшенням ВЦШ (при $p_{\text{біт}} = 10^{-1}$ енергетичний вигравш від використання сигналів з BPSK в порівнянні з DBPSK становить 2 дБ). Використання когерентного DBPSK у порівнянні з некогерентним дає незначний енергетичний вигравш.

З метою здійснення аналізу завадостійкості сигналів з різними видами фазової маніпуляції в реальному, наприклад – релейському каналі було проведено розрахунки за аналітичними виразами, які наведено в [11, 12].

Ймовірність помилки на біт в релейському каналі для сигналів з BPSK визначається як:

$$p_{\text{біт}} = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_b}{\gamma_b + 1}} \right) \quad (4)$$

Ймовірність помилки на біт в релеевському каналі для сигналів з КГ DBPSK обчислюється за наступним аналітичним виразом:

$$P_{\text{біт}} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{\gamma_b}{\gamma_b + 1}} \cdot \arctan \sqrt{\frac{\gamma_b}{\gamma_b + 1}} \right). \quad (5)$$

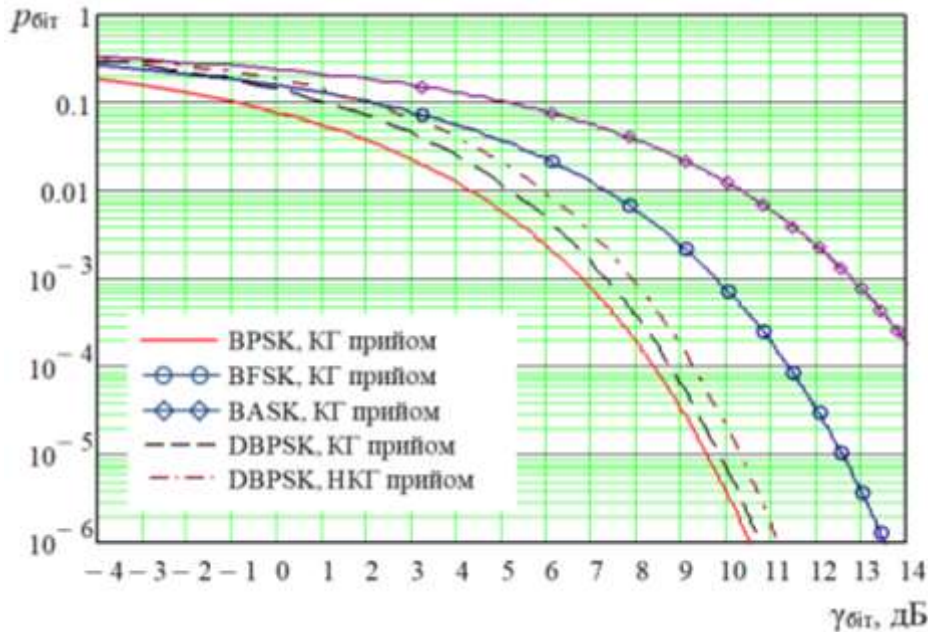


Рис. 1. Ймовірність помилки на біт для сигналів з BPSK, BFSK, BASK, DBPSK

Ймовірність помилки на біт в релеевському каналі для сигналів з НКГ DBPSK розраховується за формулою:

$$P_{\text{біт}} = \frac{1}{2\gamma_b + 2}. \quad (6)$$

Результати розрахунків, які зроблені за формулами (4), (5), (6) наведено на рисунку 2, з яких видно, що перехід від DBPSK до BPSK в релеевському каналі дозволить підвищити завадостійкість прийому повідомлень (енергетичний виграв становить 2 – 2,5 дБ). Втрати при переході від КГ DBPSK до НКГ DBPSK є незначними.

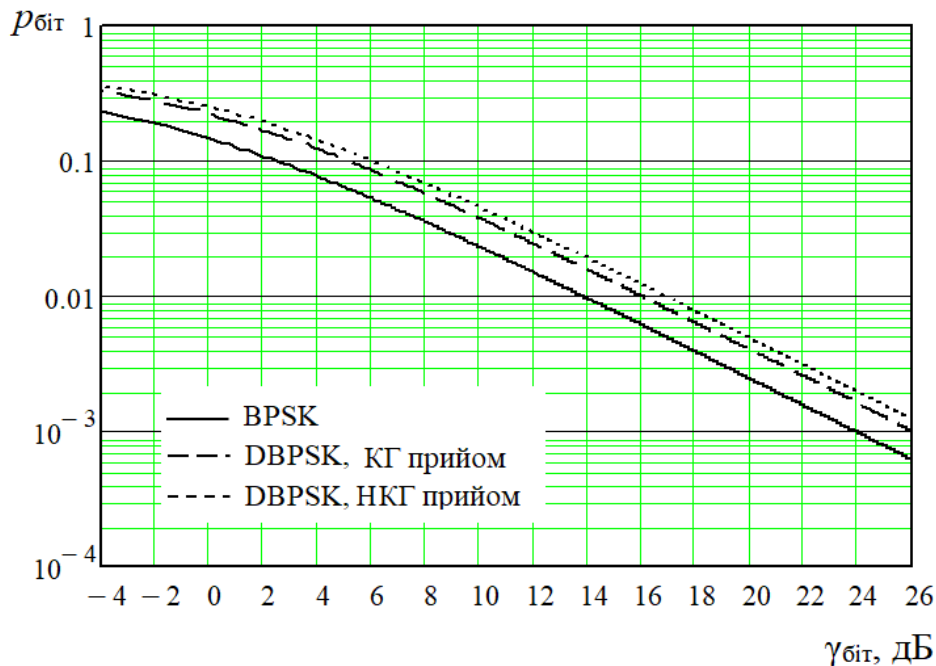


Рис. 2. Ймовірність помилки на біт для сигналів з BPSK, DBPSK при КГ та НКГ прийомі в релеєвському каналі

Загалом варто зазначити, що при односторонній передачі, в основному, використовується DBPSK маніпуляція. Такий вибір є цілком обґрунтованим, адже відомо, що сигнали з BPSK, хоч і є більш завадостійкими, проте потребують складних схем оцінки фази, які б забезпечили когерентний прийом та мінімізували можливість виникнення явища зворотної роботи. Якщо початкова фаза елементів сигналу, що приймається – невідома і не може бути оцінена за передісторією то когерентний демодулятор просто непрацездатний. [11]. Тому для досягнення найкращих результаті по достовірності передачі повідомлень в СОР необхідно вирішувати завдання з побудови ефективних схем оцінки фази прийнятого сигналу з BPSK.

Крім вибору методів маніпуляції з потенційно високою завадостійкістю, зменшення ймовірності помилкового прийому символу повідомлення при передачі його по радіоканалу може бути досягнуто шляхом застосування коректуючих кодів. Однак в складній заводовій обстановці та умовах активного впливу засобів радіоелектронної боротьби противника, обмеженому часовому, частотному ресурсі їх використання ускладнюється і може призвести до розмноження помилок [18 – 20]. У цьому випадку, одним з шляхів підвищення достовірності є використання мажоритарного принцип кодування, який по своїй суті не призводить до виникнення вказаного явища. Така його особливість є основною підставою для використання при постановці різних видів навмисних завод. Воно полягає в тому, що в канал посилається непарне число разів одне і те ж повідомлення, а на приймальній стороні відбувається порівняння між собою однойменних кодових комбінацій (або однойменних двійкових розрядів). На прийомі обирається та кодова комбінація (або біт), яка була прийнята більше число разів [21].

Ймовірність помилкового прийому двійкового символу повідомлення при використанні мажоритарного кодування визначається за виразом [21]:

$$p_{\text{бітмаж}} = \sum_{i=\frac{c+1}{2}}^c C_c^i \cdot p_{\text{біт0}}^i \cdot (1 - p_{\text{біт0}})^{c-i}, \quad (7)$$

де c – кількість повторів передачі повідомлення або біта;

$p_{\text{біт0}}$ – бітова помилка без використання надлишкового кодування.

Результати розрахунків, що отримані за формулою (7) для різної міри надлишковості та в умовах складної заводовій обстановки наведено в таблиці 1. Вони свідчать про те, що використання такого способу завадостійкого кодування дозволяє підвищити достовірність прийому навіть в критичній заводовій обстановці ($p_{\text{біт0}} = [0,3; 0,2; 0,1; 10^{-1}; 10^{-2}]$), проте з зменшенням $p_{\text{біт0}}$ вигравш зменшується.

Таблиця 1. Залежність $p_{\text{біт}}$ від кратності мажоритарного кодування

Надлишковість кодування c	Ймовірність помилки на біт			
	0.3	0.2	10^{-1}	10^{-2}
без кодування	0.3	0.2	10^{-1}	10^{-2}
3	0.22	$1.04 \cdot 10^{-1}$	$2.8 \cdot 10^{-2}$	$2.98 \cdot 10^{-4}$
5	0.16	$5.79 \cdot 10^{-2}$	$8.56 \cdot 10^{-3}$	$9.85 \cdot 10^{-6}$
7	0.12	$3.33 \cdot 10^{-2}$	$2.73 \cdot 10^{-3}$	$3.4 \cdot 10^{-7}$
9	$9.98 \cdot 10^{-2}$	$1.96 \cdot 10^{-2}$	$8.91 \cdot 10^{-4}$	$1.22 \cdot 10^{-8}$
11	$7.82 \cdot 10^{-2}$	$1.17 \cdot 10^{-2}$	$2.96 \cdot 10^{-4}$	$4.43 \cdot 10^{-11}$
13	$6.24 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$9.93 \cdot 10^{-5}$	$1.63 \cdot 10^{-11}$
15	$5 \cdot 10^{-2}$	$4.24 \cdot 10^{-3}$	$3.36 \cdot 10^{-5}$	$6.05 \cdot 10^{-13}$

Недоліком мажоритарного кодування є те, що надлишковість інформації зростає пропорційно кількості повторень одного і того ж повідомлення (біта), аналогічно зростають і витрати часу на передачу усього блоку. З урахуванням цього, актуальним є вирішення завдань щодо зменшення надлишковості мажоритарного кодування при необхідному рівні достовірності передачі даних.

Необхідно зазначити, що застосування методів завадостійкого кодування в розглянутих системах можливе тільки за рахунок зменшення швидкості передачі повідомлень і ні в якому разі шляхом збільшення ансамблю сигналів. Це пов'язано з тим, що в розглянутих СОР використовуються бінарні методи маніпуляції. Тому потрібно враховувати максимально допустимий час для передачі повідомлень.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Отже варто підкреслити, що для забезпечення максимально-можливої завадостійкості односторонньої передачі дискретних повідомлень у розглянутих системах доцільно використовувати сигнали з BPSK маніпуляцією в поєднанні з мажоритарним кодуванням. При цьому необхідно вирішити завдання щодо оцінки фази прийнятого сигналу та оптимального вибору надлишковості мажоритарного кодування.

Можливими напрямками подальших досліджень є здійснення аналізу ефективності існуючих методів оцінки фази прийнятого сигналу з BPSK маніпуляцією та їх вдосконалення. Вирішення завдань щодо оптимального вибору надлишковості мажоритарного кодування для підвищення достовірності прийому повідомлень в СОР.

Список бібліографічного опису

1. Військова розвідка: навч. посібник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016. 335 с.
2. Нікіфоров М. М., Жиров Г. Б., Пампуха І. В. Можливості інтегрованої системи пасивного моніторингу простору в умовах застосування високоточної зброї. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2016. Вип. 54. С. 55-62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpviku_2016_54_9.
3. MAC Layer Protocols for Internet of Things. Luiz Oliveira, Joel J. P. C. Rodrigues, Sergei A. Kozlov, Ricardo A. L. Rabêlo, Victor Hugo C. de Albuquerque. *Journal Future Internet*. 2019. Vol. 11(1). P. 16. URL: https://www.researchgate.net/publication/330381472_MAC_Layer_Protocols_for_Internet_of_Things_A_Survey/fulltext/5c3d680992851c22a375d03d/MAC-Layer-Protocols-for-Internet-of-Things-A-Survey.pdf.
4. A Sigfox Energy Consumption Model. Carles Gomez, Juan Carlos Veras, Rafael Vidal, Lluís Casals. *Journal Sensors*. 2019. Vol. 19. P. 681. URL: https://www.researchgate.net/publication/330947889_A_Sigfox_Energy_Consumption_Model/fulltext/5c5ced9d45851582c3d5a09e/A-Sigfox-Energy-Consumption-Model.pdf.
5. Steve Kille. Nato military messaging. *MilsatMagazine*. 2008. November. P. 71. URL: http://www.milsatmagazine.com/2008/Nov08_MSM.pdf.
6. ACP 142(A). P_MUL – a protocol for reliable multicast in bandwidth constrained and delayed acknowledgement (EMCON) environments. *Unclassified CCEB publication*. 2008. 58 p. URL: <http://www.cfans.ca/ACPs/acp142/ACP142A.pdf>.
7. Мальцев Г.Н. Чернявский Е.В. Кодирование сообщений в системах радиуправления без обратного информационного канала. *Информационно-управляющие системы*. 2011. № 4. С. 60.
8. Васильківський М.В., Мельничук О.І., Реаскос С. Підвищення завадостійкості систем телеметрії на основі IoT технології. *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи: всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція*. (Вінниця, 11–30 трав. 2019 р.). ВНТУ, 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/6391/5260>.
9. Зайцев С.В. Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних: дис. д-ра техн. наук: 05.13.06. Чернігів, 2016. 397 с.
10. Корнейко О.В., Кувшинов О.В., Лежнюк О.П., Лівенцев С.П. Теорія електров'язку: підручник. Київ: НВП Славутин-Дельфін, 2006. Т.2. 292 с.
11. Окунев Ю.Б. Цифровая передача информации фазоманипулированными сигналами. Москва: Радио и связь, 1991. 296 с.
12. Вовченко В.С., Нух Таха Насиф., Видничук А.Г., Лихоман А.А. Анализ вероятности битовой ошибки в релейских каналах связи SISO. *Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій "PT – 2013"*: матеріали 9-ої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції (м. Севастополь, 2013 р.). Севастополь: Севастопольський національний технічний університет, 2013. С. 149.
13. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
14. Buurman V., Kamruzzaman J., Karmakar G. and S. Islam. Low-Power Wide-Area Networks: Design Goals, Architecture, Suitability to Use Cases and Research Challenges. *in IEEE Access*, vol. 8, pp. 17179-17220, 2020, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2968057.
15. Abbas R., Al-Sherbaz A., Bennecer A., Picton P. A new channel selection algorithm for the Weightless-N Frequency Hopping with lower collision probability. 8th International Network of the Future (NoF) Conference Proceedings. London: IEEE (In Press). 2017. URL: <http://nectar.northampton.ac.uk/id/eprint/9777>.
16. Bembe, M., Abu-Mahfouz, A., Masonta, M. A survey on low-power wide area networks for IoT applications. *Telecommun Syst* 71, 249–274 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11235-019-00557-9>.
17. MIL-STD-188-110D. Interoperability and performance standards for data modems. 2017. 270 p. URL: <http://tracebase.nmsu.edu/hf/MIL-STD-188-110D.pdf>.

18. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. Москва: Техносфера, 2005. 320 с.
19. Самойленко С.И., Давыдов А.А., Золотарев В.В., Третьякова Е.И. Вычислительные сети: адаптивность, помехоустойчивость, надежность. Москва: Наука, 1981. 277 с.
20. Золотарев В.В. Теория и алгоритмы многопорогового декодирования // Под научной редакцией члена-корреспондента РАН Ю.Б.Зубарева. М.: «Радио и связь», «Горячая линия – Телеком», 2006. 276 с.
21. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. Пер. с англ.; под ред. В.В. Маркова. Москва: Связь, 1979. 592 с.

References

1. Zaitsev D.V., Nakonechnyi A.P., Pakhariev S.O., Lutsenko I.O. Military intelligence: textbook. Kyiv: Kyiv University Publishing and Printing Center Kyivskiy universytet, 2016. 335 p. (in Ukrainian).
2. Nikiforov N.N., Zhyrov G.B., Pampuha I.V. Possibilities of the integrated system of passive monitoring of space in the conditions of application of the high-precision weapon. *Scientific works collection of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. 2016. Vip. 54. pp. 55-62. (in Ukrainian).
3. MAC Layer Protocols for Internet of Things. Luiz Oliveira, Joel J. P. C. Rodrigues, Sergei A. Kozlov, Ricardo A. L. Rabêlo, Victor Hugo C. de Albuquerque. *Journal Future Internet*. 2019. Vol. 11(1). P. 16. URL: https://www.researchgate.net/publication/330381472_MAC_Layer_Protocols_for_Internet_of_Things_A_Survey/fulltext/5c3d680992851c22a375d03d/MAC-Layer-Protocols-for-Internet-of-Things-A-Survey.pdf.
4. A Sigfox Energy Consumption Model. Carles Gomez, Juan Carlos Veras, Rafael Vidal, Lluís Casals. *Journal Sensors*. 2019. Vol. 19. P. 681. URL: https://www.researchgate.net/publication/330947889_A_Sigfox_Energy_Consumption_Model/fulltext/5c5ced9d45851582c3d5a09e/A-Sigfox-Energy-Consumption-Model.pdf.
5. Steve Kille. Nato military messaging. *MilsatMagazine*. 2008. November. Pp. 71. URL: http://www.milsatmagazine.com/2008/Nov08_MSM.pdf.
6. ACP 142(A). P_MUL – a protocol for reliable multicast in bandwidth constrained and delayed acknowledgement (EMCON) environments. *Unclassified CCEB publication*. 2008. 58 p. URL: <http://www.cfars.ca/ACPs/acp142/ACP142A.pdf>
7. Maltsev G.N., Cherniavskiy E.V., Coding of messages in radio control systems without reverse information channel. *Information and management systems*. 2011. № 4. Pp. 60. (in Russian).
8. Vasylykivskiy M.V., Melnychuk O.I., Reaskos S. Increasing noise immunity of telemetry systems based on IoT technology. Youth in science: research, problems, prospects: All-Ukrainian scientific-practical Internet conference. 2019 Vinnytsia: VNTU, 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/6391/5260>. (in Ukrainian).
9. Zaitsev S.V. Methods and models for ensuring the constant reliability of information in wireless data transmission systems: dis. dr. tech. science: 05.13.06. Chernihiv, 2016. 397 p. (in Ukrainian).
10. Kornieiko O.V., Kuvshynov O.V., Lezhniuk O.P., Liventsev S.P. Theory of telecommunication: textbook. Kyiv: Slavutych-Delfin, 2006. Vol.2. 292 p. (in Ukrainian).
11. Okunev Yu.B. Digital transmission of information by phase-manipulated signals. Moscow: Radio and Communication, 1991. 296 p. (in Russian).
12. Vovchenko V.S., Nuh Taha Nasif., Vidnichuk A.G., Likhoman A.A. Bit error probability analysis in SISO relay communication channels. *Modern problems of radio engineering and telecommunications "RT - 2013"*: materials of the 9th International Youth Scientific and Technical Conference (Sevastopol, 2013). Sevastopol: Sevastopol National Technical University, 2013. P. 149. (in Russian, in Ukrainian).
13. Prokis J. Digital communication. Translation from English. Under the editorship of D.D. Kloviskiy. - M.: Radio and communication, 2000. 800 p. (in Russian).
14. Buurman B., Kamruzzaman J., Karmakar G. and S. Islam. Low-Power Wide-Area Networks: Design Goals, Architecture, Suitability to Use Cases and Research Challenges. in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 17179-17220, 2020, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2968057.
15. Abbas R., Al-Sherbaz A., Bennecer A., Picton P. A new channel selection algorithm for the Weightless-N Frequency Hopping with lower collision probability. 8th International Network of the Future (NoF) Conference Proceedings. London: IEEE (In Press). 2017. URL: <http://nectar.northampton.ac.uk/id/eprint/9777>.
16. Bembe, M., Abu-Mahfouz, A., Masonta, M. A survey on low-power wide area networks for IoT applications. *Telecommun Syst* 71, 249–274 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11235-019-00557-9>.
17. MIL-STD-188-110D. Interoperability and performance standards for data modems. 2017. 270 P. URL: <http://tracebase.nmsu.edu/hf/MIL-STD-188-110D.pdf>.
18. Morelos-Zaragosa R. The art of error-correcting coding. Methods, algorithms, application. Moscow: Technosphere, 2005. 320 p. (in Russian).
19. Samoilenko S.I., Davydov A.A., Zolotarev V.V., Tretyakova E.I. Computing networks: adaptability, noise immunity, reliability. Moscow: Nauka, 1981. 277 p. (in Russian).
20. Zolotarev V.V. Theory and algorithms of multithreshold decoding. M.: "Radio and Communication", "Hotline – Telecom", 2006. 276 p. (in Russian).
21. Spilker J. Digital satellite communication. Translation from English; under the editorship of V.V. Markov. Moscow: Communications, 1979. 592 p. (in Russian).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-21>

УДК 681.326.74

Круліковський Борис Борисович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-7944-551X>

Рейнська Вікторія Борисівна, к.е.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-3969-2054>

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНАЦІЙНОГО СУМАТОРА В ЗАДАЧАХ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Круліковський Б.Б., Рейнська В.Б. Математичне моделювання комбінаційного суматора в задачах технічної діагностики. В роботі розглядається метод моделювання комбінаційного однорозрядного суматора з можливими несправностями. Вказаний тип математичних моделей використовується при вирішенні прямих та зворотніх задач технічної діагностики. Запропоновано узагальнену математичну модель, яку доцільно використовувати при побудові перевіряючих тестових наборів.

Ключові слова: однорозрядний суматор, автомат з можливими несправностями, математична модель, технічна діагностика, параметр несправності, константна несправність.

Krulikovskyi B., Reinska V. Mathematical modeling of a combinational adder in the tasks of technical diagnostics. The paper considers the method of modeling a combinational one-bit adder with possible malfunctions. The specified type of mathematical models is used in solving direct and inverse problems of technical diagnostics. A generalized mathematical model is proposed, which is advisable to use when building verification test sets.

Key words: one-digit adder, automatic machine with possible malfunctions, mathematical model, technical diagnostics, malfunction parameter, constant malfunction.

Постановка наукової проблеми. Проблема підвищення швидкодії технічних засобів та продуктивності процесорів обробки двійкових сигналів не втрачає своєї актуальності протягом всього часу розвитку обчислювальної техніки. Тому регулярно з'являються публікації з описом тенденцій і результатів досліджень, спрямованих на підвищення продуктивності засобів обчислювальної техніки не тільки за рахунок збільшення робочих частот. Одним із прогресивних напрямків вважається розробка нових спеціалізованих архітектурних рішень традиційних компонентів обчислювальних систем з мінімізацією параметрів часової та структурної складності апаратних засобів обробки двійкових сигналів [1]. Один з варіантів реалізації вказаних принципів представлений в [2].

Дослідження та практична реалізація нових розробок апаратних засобів неможлива без попередньої підготовки до вирішення питань їх технічної діагностики, що неодмінно постануть на етапі експлуатації таких засобів в складі обчислювальних систем. В свою чергу формалізація методів побудови алгоритмів діагностування технічного стану будь якого об'єкта передбачає наявність формального опису об'єкта та його поведінки в справному та несправних технічних станах. Такий формальний опис прийнято називати математичною моделлю об'єкта діагностування [3]. На основі таких математичних моделей формуються і розв'язуються прямі та зворотні задачі технічної діагностики, що лежать в основі процедур із забезпечення достатніх параметрів надійності технічних засобів при їх експлуатації за призначенням.

Досліджуваний суматор рекомендовано використовувати як швидкодіючий повнофункціональний компонент багаторозрядних та багатокаскадних суматорів арифметико-логічних пристроїв мікропроцесорів, матричних та матрично-модульних перемножувачів та проблемно-орієнтованих процесорів шифрування даних.

Тому питанням розробки математичної моделі вищевказаного однорозрядного суматора і присвячена дійсна робота.

Аналіз досліджень.

Різноманітні підходи до математичного моделювання об'єктів технічної діагностики опубліковані ще до широкого використання засобів обчислювальної техніки для розв'язування прикладних задач [4, 5, 6].

Поява та поширення обчислювальної техніки надала можливість машинної обробки математичних моделей у вигляді правильної логічної мережі, що являє собою сукупність пов'язаних між собою логічних вентилів, кожний з яких виконує зазначену логічну функцію в базисі Буля. Для дискретних об'єктів такого базиса найбільш повною вважається математична

модель у вигляді автомата з можливими несправностями (АМН) [5], в якій пропонується вихідний сигнал \tilde{x} сигнальної лінії з врахуванням можливих дефектів описувати оператором:

$$\tilde{x} = \bar{\alpha} \cdot x \vee \beta \cdot \bar{x} = \begin{cases} x, & \text{справний технічний стан: } \alpha = 0, \beta = 0; \\ 1, & \text{дефект } \equiv 1: \quad \alpha = 0, \beta = 1; \\ 0, & \text{дефект } \equiv 0: \quad \alpha = 1, \beta = 0; \\ \bar{x}, & \text{інверсія } x: \quad \alpha = 1, \beta = 1. \end{cases} \quad (1)$$

Моделювання справного стану шини описується значеннями $\alpha=0, \beta=0$. В цьому випадку сигнал на шині без дефекта (з нульовою несправністю) дорівнює $x^0 = 1 \cdot x \vee 0 \cdot \bar{x} = x$. Наявність несправності типу "const 1" моделюється зміною значення β з 0 на 1, поява несправності "const 0" зміною значення α з 0 на 1. Внаслідок цього параметр α називається параметром несправності типу " $\equiv 0$ ", а параметр β - параметром несправності типу " $\equiv 1$ ". Дефекти, що приводять до фіксації сигналів в схемі константами 1 та 0 називаються константними. Вони є наслідком фізичних стійких несправностей в електронних схемах типу "обрив" та "коротке замикання" і складають приблизно 90% всіх можливих дефектів електронних дискретних схем. Четвертий технічний стан шини x називається інверсним дефектом, при якому сигнал на шині перетворюється в свою інверсію, що моделюється зміною значень обох параметрів несправності $\alpha = 1, \beta = 1$. Такою моделлю описується приблизно 5% можливих дефектів.

Таким чином, оператор (1) дозволяє проводити найбільш повне моделювання переважної більшості логічних несправностей. Така повнота моделі є причиною появи її недоліку, який проявляється у випадку моделювання появи дефектів вказаної складності.

Приблизно 5% дефектів цифрових систем проявляються в короткочасному спотворенні логічного сигналу і носять назву "збій". Для їх ідентифікації використовуються спеціальні методи технічної діагностики, що виходять за рамки даної роботи. Тому в задачах технічної діагностики переважно моделюються константні дефекти.

В технічній діагностиці важливе значення має клас можливих несправностей, які враховуються при моделюванні. Логічними називаються несправності, поява яких змінює виконувану об'єктом логічну функцію. Якщо передбачається, що в логічній схемі можлива тільки одна логічна несправність, тобто несправність одного входу/виходу одного логічного елемента, то мова йде про одиничні логічні несправності. Кратною несправністю називається сукупність одночасно існуючих двох або більшого числа одиничних несправностей, які в такому випадку називають складовими кратною несправності [3].

Суттєвим недоліком моделі (1) є складність моделювання роботи схеми при наявності несправностей із заданою кратністю.

При формулюванні і вирішенні достатньо розповсюдженої зворотньої задачі технічної діагностики обчислення перевіряючих тестових наборів для класа одиничних константних несправностей необхідно порівняти математичну модель справного цифрового пристрою з математичною моделлю несправного пристрою при появі одиничної логічної несправності. Перетворення моделі справного об'єкта в модель несправного з одиничним константним дефектом за виразом (1) здійснюється зміною значення одного параметра несправності. Для моделювання появи одиничної несправності типу "інверсія" треба в (1) модифікувати вже два параметри. Ця обставина суттєво ускладнює процедуру модифікації логічної схеми при необхідності створення моделі несправного пристрою із заданою кратністю одиничних дефектів.

Мета роботи. Метою дослідження є розробка для вирішення зворотніх задач технічної діагностики такої математичної моделі суматора, за допомогою якої алгоритмічно просто перетворювати опис справного пристрою в математичну модель пристрою із заданою кратністю одиничних несправностей.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Тенденція підвищення продуктивності засобів обчислювальної техніки не переставє бути актуальною протягом всієї історії її розвитку, тому нові розробки в цьому напрямку з'являються регулярно. Одне з таких рішень представлено в [2], де з метою підвищення швидкодії та розширення функціональних можливостей засобів ОТ запропоновано швидкодіючий

однорозрядний суматор з розширеними функціональними можливостями як компонент багаторозрядних і багатокаскадних спеціалізованих процесорів обробки двійкових даних.

Використання таких розробок потребує опрацювання протягом життєвого циклу питань технічної діагностики таких пристроїв ще на етапі їх проектування з метою забезпечення достатнього рівня контролепридатності і можливості ефективно вирішувати прямі задачі технічної діагностики [3] під час використання суматора за прямим призначенням в складі спеціалізованих обчислювачів. Розв'язування зворотніх задач технічної діагностики для засобів обчислювальної техніки здійснюється на етапі проектування шляхом математичного моделювання роботи пристрою в справному технічному стані а також при наявності певного класу дефектів.

Принципи моделювання технічних станів дискретних пристроїв.

Одною з форм опису роботи дискретного пристрою (ДП) з врахуванням можливих дефектів є узагальнена логічна модель (УЛМ). Така модель являє собою структурну систему узагальнених булевих функцій логічних елементів (ЛЕ), що входять до складу ДП .

Використаний метод моделювання передбачає вказання значень двох ПН для кожної шини схеми: β – ПН типу $\equiv 1$ та α – ПН типу $\equiv 0$. Значення сигналу x в узагальненому стані має вигляд:

$$\tilde{x} = \alpha \cdot x \vee \beta = \begin{cases} x, & \text{справний технічний стан: } \alpha = 1, \beta = 0; \\ 1, & \text{дефект } \equiv 1: & \alpha = 1, \beta = 1; \\ 0, & \text{дефект } \equiv 0: & \alpha = 0, \beta = 0; \end{cases} \quad (2)$$

УЛМ мінімальної складності будуються за алгоритмами, запропонованими в [7].

Логічна схема суматора.

Логічна схема однорозрядного суматора [2] представлена на рис.1 і містить наступні вхідні полюси з незалежними двійковими сигналами:

- x_1 - перший інформаційний вхід- прямий сигнал операнда b ;
- x_2 - четвертий інформаційний вхід – інверсний сигнал операнда $/b$;
- x_3 - третій інформаційний вхід a –прямий сигнал операнда a ;
- x_4 - п'ятий інформаційний вхід - інверсний сигнал операнда $/a$;
- x_5 - перший вхід блокування результату;
- x_6 - другий вхід блокування результату;
- x_7 – (вхід)- прямий сигнал переносу з молодшого E-1 розряду суми;
- x_8 – (вхід) - інверсний сигнал переносу з молодшого E-1розряду суми.

Відповідно вихідні сигнали суматора:

- z_1 – вихідний прямий сигнал суми в даному розряді;
- z_2 - вихідний інверсний сигнали суми в даному розряді;
- z_3 - прямий сигнали переносу в старший розряд;
- z_4 - інверсний сигнали переносу в старший розряд.

Класична дворангова реалізація забезпечує мінімальну затримку розповсюдження вхідних сигналів, а значить і максимальну швидкодію пристрою.

Елементи рангу 1 виконують первинну обробку вхідних сигналів, а елементи рангу 2 формують вихідні прямі та інверсні сигнали суми і переносу в старший розряд. Виходи груп елементів рангу 2 поєднані за схемою монтажного АБО.

Структурна система логічних функцій суматора.

Узагальнену математичу модель (УЛМ) зручно будувати на основі структурної системи логічних функцій [3], що представляє собою проіндексовану сукупність логічних операторів всіх логічних елементів схеми в термінах їх входів.

Крім зазначених вище вхідних (x_i) та вихідних (z_j) сигналів в логічних рівняннях структурної системи використовуються символи внутрішніх змінних y_i , що позначають вихідні сигнали логічних елементів, які не є зовнішніми виходами схеми .

При таких позначеннях структурна система логічних операторів елементів 1 рангу має вигляд:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 \cdot x_5; \\ y_2 &= x_2 \vee \overline{x_5}; \\ y_3 &= x_3 \cdot x_6; \end{aligned} \quad (3)$$

$$y_4 = x_4 \vee \overline{x_6}.$$

Елементи другого рангу описуються наступною системою структурних операторів:

$$\begin{aligned} y_5 &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_8}; \\ y_6 &= \overline{y_2 \cdot y_3 \cdot x_8}; \\ y_7 &= \overline{y_2 \cdot y_4 \cdot x_7}; \\ y_8 &= \overline{y_2 \cdot y_4 \cdot x_8}; \\ y_9 &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_8}; \\ y_{10} &= \overline{y_1 \cdot y_4 \cdot x_7}; \\ y_{11} &= \overline{y_2 \cdot y_3 \cdot x_7}; \\ y_{12} &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_7}; \\ y_{13} &= \overline{y_2 \cdot y_4 \cdot x_8}; \\ y_{14} &= \overline{y_2 \cdot y_3 \cdot x_7}; \\ y_{15} &= \overline{y_1 \cdot y_4 \cdot x_8}; \\ y_{16} &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_8}; \\ y_{17} &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_8}; \\ y_{18} &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_8}; \\ y_{19} &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_8}; \\ y_{20} &= \overline{y_1 \cdot y_3 \cdot x_8}. \end{aligned} \tag{4}$$

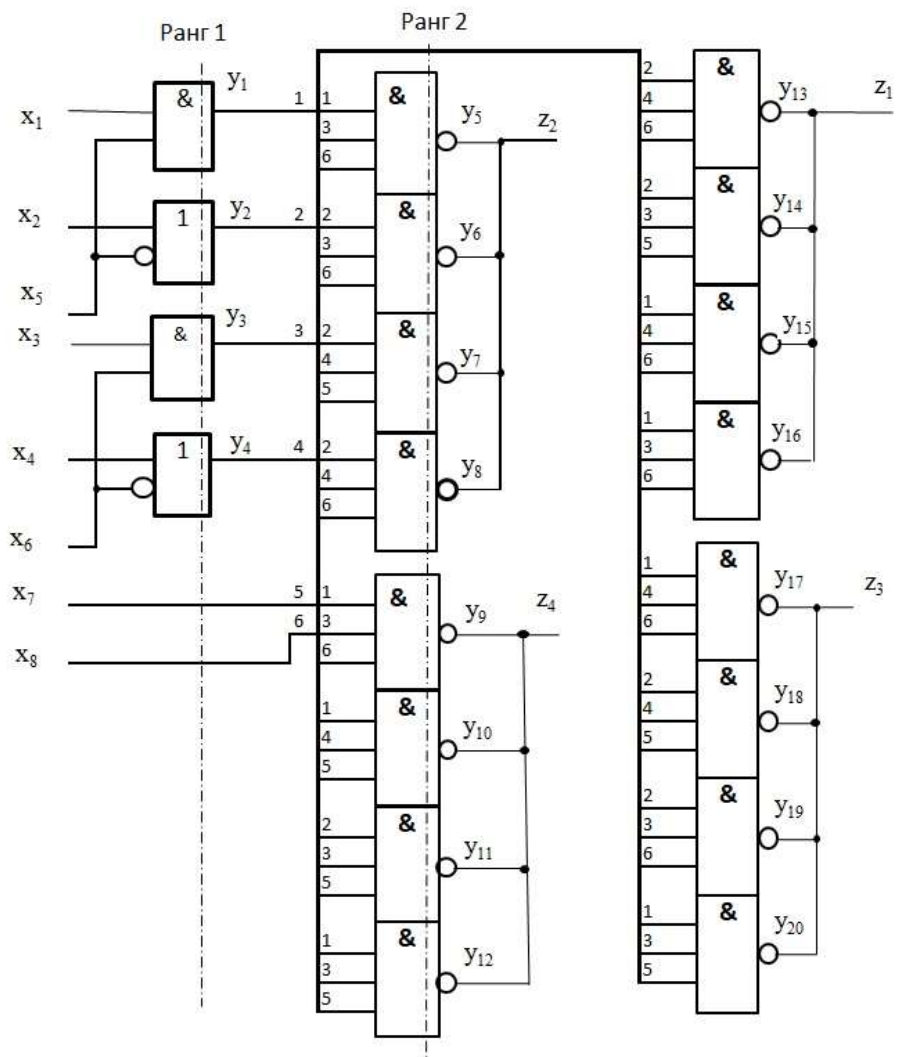


Рис.1. Логічна схема однорозрядного швидкодіючого суматора з розширеними функціональними можливостями.

Корисною властивістю такої структурної системи логічних функцій є збереження інформації про шляхи розповсюдження логічних сигналів від входів до зовнішніх виходів схеми, що робить такі моделі корисними для розв'язку задач технічної діагностики.

Мультиплексоване з'єднання виходів логічних елементів 2-го рангу призначене для реалізації функцій "Монтажне АБО", тому вихідні функції з множини Z можна записати так:

$$\begin{aligned} z_1 &= y_{13} \vee y_{14} \vee y_{15} \vee y_{16}; \\ z_2 &= y_5 \vee y_6 \vee y_7 \vee y_8; \\ z_3 &= y_{17} \vee y_{18} \vee y_{19} \vee y_{20}; \\ z_4 &= y_9 \vee y_{10} \vee y_{11} \vee y_{12}. \end{aligned} \quad (5)$$

Такими чином, системи (3), (4), (5) є структурною системою логічних функцій, що описують роботу схеми швидкодіючого однорозрядного суматора з розширеними функційними моливостями. Для перетворення вхідних операндів в сигнали суми і переносу в старший розряд необхідно витратити всього 2 мікротакти автоматного часу, що забезпечує привабливість розглянутою схеми для побудови швидкодіючих спецпроцесорів.

Узагальнена логічна модель однорозрядного суматора

Отримання УЛМ суматора полягає у застосуванні алгоритмів, що обґрунтовані в [7], до наведеної на рис.1 схеми. Слід пам'ятати, що при формуванні УЛМ вузлів розгалуження необхідно включати в модель параметри несправностей α_i та β_j для моделювання дефектів вузлів розгалуження.

В результаті застосування співвідношення (2) до структурної системи логічних функцій (3) отримується наступна структурна система узагальнених логічних операторів елементів 1 рангу логічної схеми пристрою:

$$\begin{aligned} \widetilde{y}_1 &= (x_1 \vee \beta_1) \cdot (x_5 \vee \beta_2) \cdot \alpha_1 \vee \beta_3; \\ \widetilde{y}_2 &= ((x_2 \cdot \alpha_2) \vee (\overline{x_5} \cdot \alpha_3)) \cdot \alpha_4 \vee \beta_4; \\ \widetilde{y}_3 &= (x_3 \vee \beta_5) \cdot (x_6 \vee \beta_6) \cdot \alpha_5 \vee \beta_7; \\ \widetilde{y}_4 &= ((x_4 \cdot \alpha_6) \vee (\overline{x_6} \cdot \alpha_7)) \alpha_8 \cdot \beta_8. \end{aligned} \quad (6)$$

Виходи елементів рангу 2 не мають розгалужень, тому у відповідності до (2) їх УЛМ не містять ПН вихідних сигналів:

$$\begin{aligned} y_5 &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_9) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{10}) \cdot (x_8 \vee \beta_{11})}; \\ y_6 &= \overline{(\widetilde{y}_2 \vee \beta_{12}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{13}) \cdot (x_8 \vee \beta_{14})}; \\ y_7 &= \overline{(\widetilde{y}_2 \vee \beta_{15}) \cdot (\widetilde{y}_4 \vee \beta_{16}) \cdot (x_7 \vee \beta_{17})}; \\ y_8 &= \overline{(\widetilde{y}_2 \vee \beta_{18}) \cdot (\widetilde{y}_4 \vee \beta_{19}) \cdot (x_8 \vee \beta_{20})}; \\ y_9 &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{21}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{22}) \cdot (x_8 \vee \beta_{23})}; \\ y_{10} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{24}) \cdot (\widetilde{y}_4 \vee \beta_{25}) \cdot (x_7 \vee \beta_{26})}; \\ y_{11} &= \overline{(\widetilde{y}_2 \vee \beta_{27}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{28}) \cdot (x_7 \vee \beta_{29})}; \\ y_{12} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{30}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{31}) \cdot (x_8 \vee \beta_{32})}; \\ y_{13} &= \overline{(\widetilde{y}_2 \vee \beta_{33}) \cdot (\widetilde{y}_4 \vee \beta_{34}) \cdot (x_8 \vee \beta_{35})}; \\ y_{14} &= \overline{(\widetilde{y}_2 \vee \beta_{36}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{37}) \cdot (x_7 \vee \beta_{38})}; \\ y_{15} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{39}) \cdot (\widetilde{y}_4 \vee \beta_{40}) \cdot (x_8 \vee \beta_{41})}; \\ y_{16} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{42}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{43}) \cdot (x_8 \vee \beta_{44})}; \\ y_{17} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{45}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{46}) \cdot (x_8 \vee \beta_{47})}; \\ y_{18} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{48}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{49}) \cdot (x_8 \vee \beta_{50})}; \\ y_{19} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{51}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{52}) \cdot (x_8 \vee \beta_{53})}; \\ y_{20} &= \overline{(\widetilde{y}_1 \vee \beta_{54}) \cdot (\widetilde{y}_3 \vee \beta_{55}) \cdot (x_8 \vee \beta_{56})}. \end{aligned} \quad (7)$$

Математичні моделі вихідних сигналів суматора згідно з (2) доповнюються параметрами несправностей вихідних полюсів схеми:

$$\begin{aligned} z_1 &= (\widetilde{y}_{13} \cdot \alpha_9 \vee \widetilde{y}_{14} \cdot \alpha_{10} \vee \widetilde{y}_{15} \cdot \alpha_{11} \vee \widetilde{y}_{16} \cdot \alpha_{12}) \cdot \alpha_{13} \vee \beta_{57}; \\ z_2 &= (\widetilde{y}_5 \cdot \alpha_{14} \vee \widetilde{y}_6 \cdot \alpha_{15} \vee \widetilde{y}_7 \cdot \alpha_{16} \vee \widetilde{y}_8 \cdot \alpha_{17}) \cdot \alpha_{18} \vee \beta_{58}; \\ z_3 &= (\widetilde{y}_{17} \cdot \alpha_{19} \vee \widetilde{y}_{18} \cdot \alpha_{20} \vee \widetilde{y}_{19} \cdot \alpha_{21} \vee \widetilde{y}_{20} \cdot \alpha_{22}) \cdot \alpha_{23} \vee \beta_{59}; \\ z_4 &= (\widetilde{y}_9 \cdot \alpha_{24} \vee \widetilde{y}_{10} \cdot \alpha_{25} \vee \widetilde{y}_{11} \cdot \alpha_{26} \vee \widetilde{y}_{12} \cdot \alpha_{27}) \cdot \alpha_{28} \vee \beta_{60}. \end{aligned} \quad (8)$$

Отримана узагальнена математична модель однорозрядного суматора містить 28 параметрів несправностей типу "const 0" та 60 параметрів несправностей типу "const 1". Це означає, що доступна для моделювання кількість одиничних константних несправностей розглядуваного суматора дорівнює $60 + 28 = 88$. Одною з найважливіших властивостей представленої в (6), (7), (8) УЛМ є відображення інформації про структуру модельованого пристрою, тобто про ланцюги розповсюдження сигналів від вхідних полюсів схеми до вихідних. Завдяки цьому існує можливість відстежити перелік елементів розповсюдження впливу несправності на вихідні сигнали схеми. В технічній діагностиці такий перелік називається шляхом розповсюдженням несправності від місця її виникнення до місця спостереження [3]. Саме в таких точках можна спостерігати відмінність між сигналами несправної схеми та схеми без константних дефектів.

Важливим елементом в структурі цифрового пристрою є також місця розгалужень, що в подальшому сходяться. Можливості тестової перевірки дефектів в таких точках суттєво ускладнюються, тому математичне моделювання розгалужених логічних структур потребує додаткових досліджень.

Список бібліографічного опису

1. Возна Н.Я. Структуризація поліфункціональних даних: теорія, методи та засоби: Монографія / Н.Я.Возна – Тернопіль: ТНЕУ, 2018. – 378 с.
2. Патент на корисну модель №109136 "Однорозрядний суматор". Круліковський Б.Б., Давлетова А.Я., Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Бюл.№15 від 10.08.2016.
3. Основы технической диагностики / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.
4. Казначеев В.И. Диагностика неисправностей цифровых автоматов. – М.:Сов. радио, 1975. – 256 с.
5. Основы логических методов проверки автоматов. Складывич А.Н. Рига, "Зинатне", 1979. – 192 с.
6. Чжен Г., Меннинг Е., Метц Г. Диагностика отказов цифровых вычислительных систем. – М.: Мир, 1972. – 232 с.
7. Краснов В.В., Круликовский Б.Б. Математическое моделирование комбинационных схем с учетом возможных неисправностей. Гибридные вычислительные машины и комплексы. Вып.3.- Киев: Наукова думка.- 1980.- С.26-32

References

1. Vozna N.Ya. Structuring of multifunctional data: theory, methods and tools: Monograph / N. Ya. Vozna – Ternopil: TNEU, 2018. – 378 p.
2. Utility model patent No. 109136 "Single-bit adder". Krulikovsky B.B., Davletova A.Ya., Vozna N.Ya., Nikolaychuk Y.M. Bull. No. 15 dated August 10, 2016.
3. Fundamentals of technical diagnostics / V.V. Karibsky, P.P. Parkhomenko, E.S. Sohomonyan, V.F. Halchev. - M.: Energy, 1976. - 464 p.
4. Kaznacheev V.I. Diagnostics of malfunctions of digital automata. - M.: Sov. radio, 1975. - 256 p.
5. Fundamentals of logical methods of checking automatic machines. Sklyarevich A.N. Riga, "Zinatne", 1979. – 192 p.
6. Zheng H., Manning E., Metz G. Diagnostics of failure of digital computing systems. - M.: Mir, 1972. - 232 p.
7. Krasnov V.V., Krulykovsky B.B. Mathematical modeling of combinational circuits taking into account possible malfunctions. Hybrid computing machines and complexes. Issue 3. - Kyiv: Naukova dumka. - 1980. - P. 26-32.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-22>

УДК 004.94

Ройко Олександр Юрійович¹, к.т.н., викладач

<https://orcid.org/0000-0001-8642-7707>

Пугач Тетяна Валеріївна², студентка

<https://orcid.org/0000-0002-4021-288X>

¹Відокремлений структурний підрозділ «Волинський фаховий коледж Національного університету харчових технологій», м. Луцьк, Україна

²Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СЕРЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КАМЕРИ СМАРТФОНУ

Ройко О.Ю., Пугач Т.В. Особливості реалізації програмного забезпечення для визначення показників роботи серця з використанням камери смартфона. У роботі описано особливості реалізації програмного забезпечення для визначення варіабельності серцевого ритму та частоти серцевих скорочень. Для формування вихідного сигналу застосовується камера смартфона. Подальша обробка сигналу здійснюється за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Отримані дані використовуються для визначення показників роботи серця за допомогою реалізованого програмного забезпечення.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, частота серцевих скорочень, Python, OpenCV, matplotlib.

Royko O., Puhach T. Peculiarities of implementing the software for determining the performance of the heart using a smartphone camera. The paper describes the features of the implementation of the software for determining the variability of heart rhythm and heart rate. A smartphone camera is used to generate the output signal. Further processing of the signal is carried out using a fast Fourier transform. The obtained data are used to determine the performance of the heart with the help of implemented software.

Keywords: heart rate variability, heart rate, Python, OpenCV, matplotlib.

Постановка наукової проблеми. Захворювання серцево-судинної системи є однією з головних причин людської смертності, як у світі, так і в Україні. Це підтверджують дані ВООЗ [1], а також дослідження провідних науковців [2-3]. Як зазначено у більшості досліджень, для зниження рівня смертності від серцево-судинних захворювань необхідно вести здоровий спосіб життя, уникати стресів, а також проводити своєчасну діагностику ранніх захворювань.

Зараз на ринку існує велика кількість «розумних» пристроїв, які дозволяють пересічному користувачу здійснювати моніторинг показників серцево-судинної системи. До них відносяться смарт годинники та смарт браслети. Звичайно, що точність показників, отриманих за допомогою таких пристроїв, не можна порівнювати з показниками, отриманими за допомогою спеціального медичного обладнання, однак вони дозволяють кожній людині регулярно здійснювати моніторинг власного здоров'я в побутових умовах, що є важливим в профілактиці. Переважно ці пристрої можуть визначати пульс (частоту серцевих скорочень), а також деякі з них можуть визначати варіабельність серцевого ритму [4]. Ці показники при постійному моніторингу можуть давати фахівцю інформацію стосовно здоров'я серцево-судинної системи пацієнта.

На даний час відносно невеликий відсоток населення володіють такими пристроями. Однак смартфон є майже у кожного, тому практичний інтерес становить дослідження можливості розробки програмного забезпечення, яке дозволить отримувати та аналізувати дані про роботу серця зі смартфона.

Ідея полягає в тому, що притискаючи палець до основної камери смартфона є можливість зафіксувати яскравість зображення. В процесі проходження крові через судини в пальцях яскравість зображення змінюється. Така зміна є періодичною і відповідає періодам пульсації кровеносних судин. Тому якщо зафіксувати такі пульсації, ці дані можна обробити та застосувати для визначення показників серцевої діяльності.

Мета дослідження. Необхідно реалізувати програмне забезпечення для отримання деяких показників роботи серцево-судинної системи, таких як, варіабельність серцевого ритму та частота серцевих скорочень. Програмне забезпечення повинно отримувати на вході множину відеофайлів із записом пульсації капілярів у стінках пальців, знятих за допомогою камери смартфона. На виході, після аналізу відеофайлів, необхідно відобразити сигнал у графічному вигляді та показники роботи серця.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Для реалізації поставленого у роботі завдання була розроблена програма на мові Python, з використанням бібліотек OpenCV, matplotlib, numpy та scipy. Її діаграма діяльності показана на рис. 1.

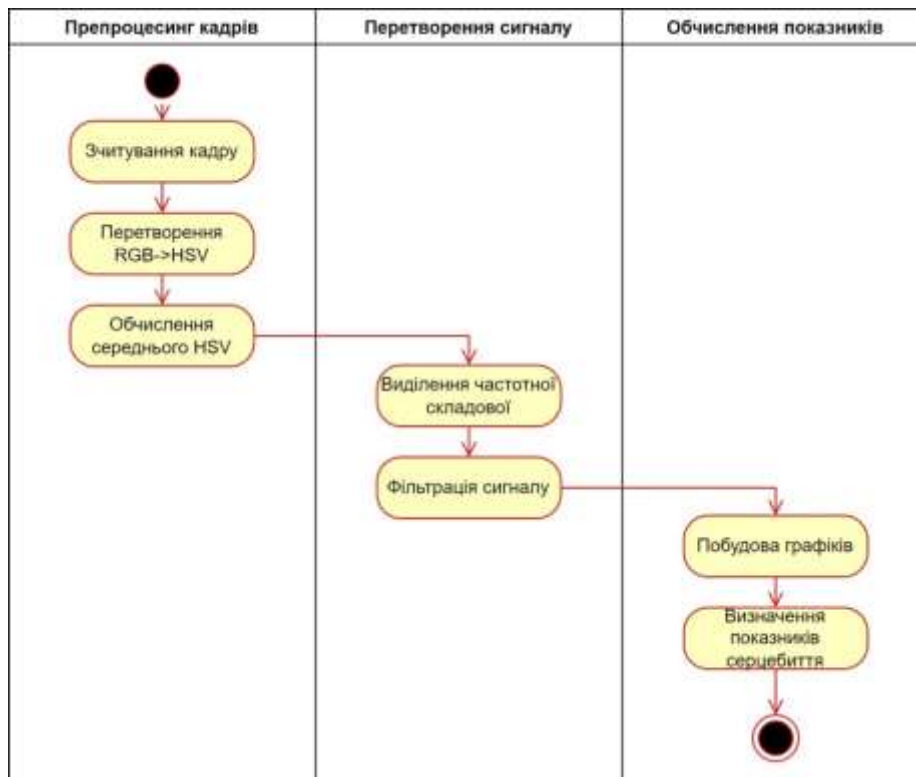


Рис.1. UML-діаграма діяльності програми

Як видно з діаграми, обчислювальний конвеєр складається з трьох етапів:

1. Препроцесинг кадрів – зчитування та перетворення кадрів для подальшої роботи алгоритму.
2. Перетворення сигналу – виділення із даних, отриманих з кадрів, сигналу.
3. Обчислення показників – визначення показників серцебиття, таких як варіабельність серцевого ритму та частота серцевих скорочень, візуалізація результату.

Детальніше розглянемо кожен з етапів. Для препроцесингу кадрів застосовується бібліотека OpenCV [5]. Дана бібліотека є кроплатформенною, безкоштовною, та містить велику кількість функцій для роботи з відео в реальному часі.

За допомогою OpenCV здійснюється зчитування кадрів відеопотоку та перетворення кожного кадру із колірної моделі RGB в колірну модель HSV. Це необхідно для фіксації періодів зміни яскравості зображення при запису пульсації крові через пальці, що відповідає періодам серцевих скорочень.

Саме ці перепади у яскравості кадрів будемо розглядати як вхідний сигнал. Оскільки модель RGB не несе інформації про яскравість зображення, то кадри потрібно перевести в модель HSV. Для перетворення значення кольору кожного пікселю з колірної моделі RGB в колірну модель HSV використовуються наступні залежності:

$$V = \max(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} & \text{if } V \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} \frac{60(G - B)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } V = R \\ \frac{120 + 60(B - R)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } V = G, \\ \frac{240 + 60(R - G)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } V = B \end{cases}$$

де R, G, B – значення інтенсивності кольору (червоного, зеленого та синього) для кожного пікселю, H, S, V – відтінок, насиченість та яскравість відповідно.

На виході отримуємо тривимірні масиви даних із значеннями яскравості, насиченості та відтінку кольору.

Після перетворення кадрів відео в колірну модель HSV відбувається їх усереднення за яскравістю пікселів для кожного кадру.

Наступним кроком є виділення частоти зміни яскравості зображення з вихідних даних. Для цього застосуємо швидке перетворення Фур'є [6]. Для множини чисел a_0, a_1, \dots, a_{n-1} швидке перетворення дозволяє отримати множину чисел b_0, b_1, \dots, b_{n-1} , таких, що

$$b_i = \sum_{j=0}^{n-1} a_j \varepsilon^{ij},$$

де $\varepsilon^n = 1$ і $\varepsilon^k \neq 1$ при $0 < k < n$. У роботі застосовано реалізацію з Python-бібліотеки `numpy`, методи `numpy.fft.fft` та `numpy.fft.ifft` [7]. У даних методах швидке перетворення Фур'є для комплексних вхідних даних визначається як

$$A_k = \sum_{m=0}^{n-1} a_m e^{-2\pi i \frac{mk}{n}}, \quad k = 0 \dots n - 1.$$

Після перетворення сигналу і його фільтрації визначається показник варіабельності серцевого ритму. Даний показник може бути обчислений різними методами, як статистичним, так і геометричними [4]. У даній роботі визначення варіабельності серцевого ритму реалізовано за через обчислення RMSSD – середньоквадратичного відхилення величини послідовних інтервалів R-R (інтервалів між зубцями R ЕКГ). Воно визначається наступним чином. Нехай $IR_1, IR_2 \dots IR_{n-1}$ – інтервали між парами зубців $(R_2 - R_1), (R_3 - R_2), \dots, (R_n - R_{n-1})$ відповідно. Тоді

$$RMSSD = \sqrt{\sum_{k=1}^{n-2} \frac{(IR_{k+1} - IR_k)^2}{n - 2}}.$$

У даній роботі такими інтервалами вважаємо інтервали між локальними максимумами фільтрованого сигналу. Обчислені значення RMSSD у мс дозволяють фахівцю інтерпретувати дані та робити висновок про стан серцево-судинної системи.

Крім варіабельності серцевого ритму за даними, отриманими через швидке перетворення Фур'є, також обчислюється частота серцевих скорочень (на хвилину). Частота серцевих скорочень N_{pm} з даних визначається за наступною формулою

$$N_{pm} = \frac{30}{t} (N_{max} + N_{min}),$$

де t – тривалість запису, с; N_{max}, N_{min} – кількість локальних екстремумів фільтрованого сигналу (максимальних та мінімальних піків відповідно).

Після визначення всіх показників результати виводяться в графічному вигляді. Для побудови графіків застосована графічна бібліотека `matplotlib` [8].

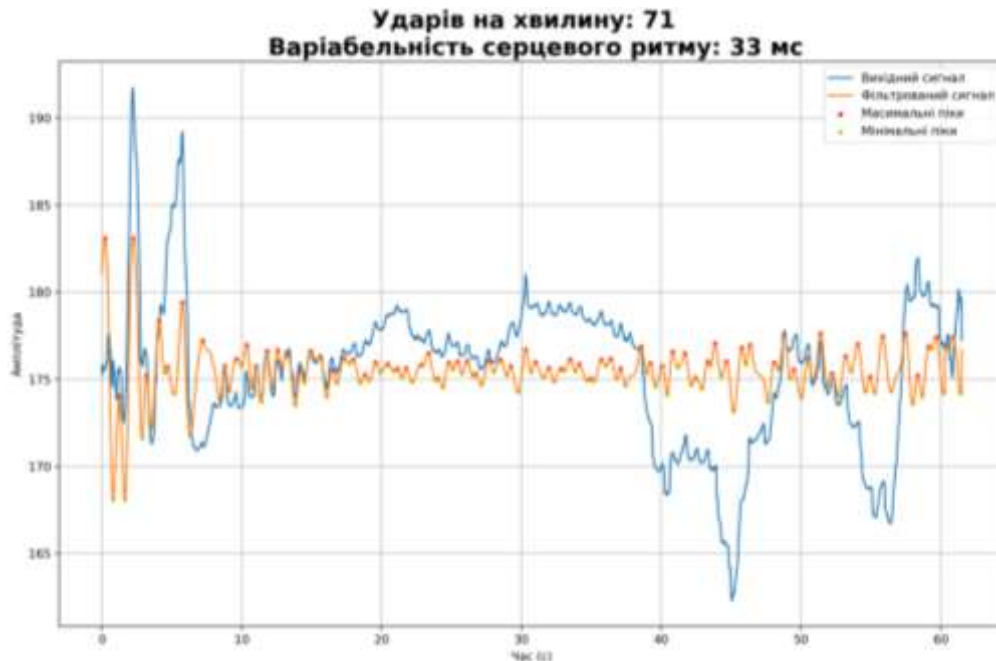


Рис. 2. Результат роботи програмного забезпечення

На рис. 2 видно, що програма виводить графіки вхідного оригінального сигналу з камери, та фільтрованого сигналу за допомогою перетворення Фур'є. Крім того, на графік виведено показники варіабельності серцевого ритму та частоти серцевих скорочень. Зауважимо, що дані графіки не можна інтерпретувати як електрокардіограму. Вихідний графік показує амплітуду зміни яскравості зображення в часі, а фільтрований сигнал – частотну складову.

Методика роботи з програмою наступна. Спочатку потрібно записати відеофайли, які будуть аналізуватись програмою. Це робиться за допомогою камери смартфона шляхом притискання пальця до його камери. Бажано максимально закрити пальцем камеру, щоб на запис не впливали перепади зовнішнього освітлення. Як відзначено при спостереженнях, при притисканні пальця до камери, у перші секунди спостерігається деяка осциляція сигналу, що може негативно вплинути на інтерпретацію результату. Потім сигнал стабілізується, тому рекомендується для підвищення точності починати запис через декілька секунд після початку притискання пальця для стабілізації кровообігу, а також проводити заміри тривалістю не менше 1 хв.

Для оцінки коректності вимірювань можна порівняти результати, отримані за допомогою програми з результатами, отриманими за допомогою смарт-пристроїв, які мають функцію визначення частоти серцевих скорочень (вимірювання пульсу). Було проведено 50 записів з камери смартфона з одночасним вимірюванням пульсу за допомогою Apple Watch 6 та Xiaomi Amazfit Verge. Тестова група включала осіб різного віку, статі та з різним рівнем здоров'я серцево-судинної системи. Заміри проводились протягом однієї хвилини, після години перебування в спокої, і в одному й тому ж приміщенні.

Результати вимірів показано на рис. 3. З метою покращення візуального сприйняття показано тільки перші 15 результатів. Як видно з графіку, показники отримані з камери смартфона та отримані за допомогою смарт годинників відрізняються несуттєво.

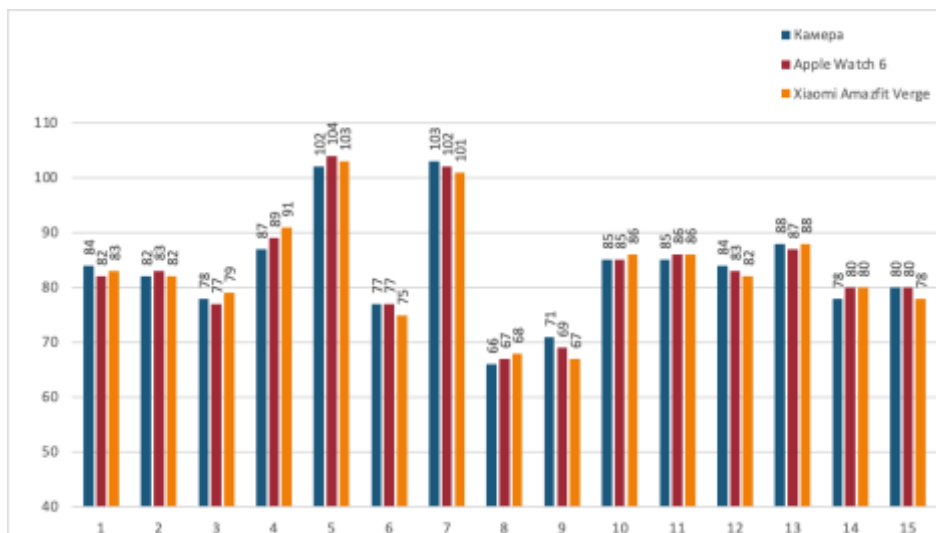


Рис. 3. Порівняння результатів вимірювань, отриманих із різних пристроїв

На рис. 4 наведено графіки середнього абсолютного відхилення значень частоти серцевих скорочень, отриманих за допомогою камери смартфона, від показників смарт годинників, а також відносна похибка.

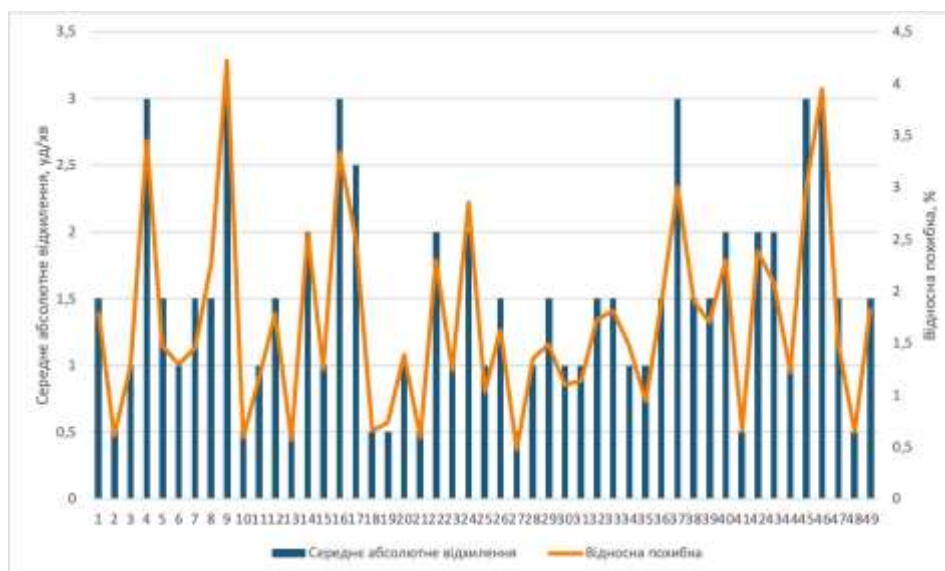


Рис. 4. Середнє абсолютне відхилення та відносна похибка отриманих результатів

Як бачимо з графіків, середнє абсолютне відхилення частоти серцебиття та відносна похибка знаходяться в межах 3-4% відсотків для тестової групи. В цілому можна сказати, що показники, які отримані за допомогою камери смартфона, є достатньо близькими до показників, які отримані за допомогою смарт годинників. Звертаємо увагу, що з медичної точки зору результати не можуть бути використані для постановки діагнозу, і для точного діагнозу необхідно звертатись до лікаря та проводити клінічне обстеження.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У даній роботі описано особливості реалізації програмного забезпечення для моніторингу показників серцевої діяльності з використанням камери смартфона. Для обробки вихідного сигналу використовується швидке перетворення Фур'є. Отримані результати можуть бути застосовані для повсякденного спостереження за станом здоров'я. В подальшому розроблене програмне забезпечення можна модифікувати. Зокрема доцільно реалізувати пакетну обробку відеофайлів, а також запис результатів в базу даних з метою їх подальшого аналізу та обліку.

Список бібліографічного опису

1. World Health Organization. The top 10 causes of death [Електронний ресурс]. 2020. Режим доступу до ресурсу: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.

2. Коваленко, В. М. Стрес і серцево-судинні захворювання: сучасний стан проблеми." Український кардіологічний журнал, №1, 2015. с. 4-7.
3. Nascimento, B., Brant, L., Moraes, D., Ribeiro, A. Глобальне здоров'я та серцево-судинні захворювання. Український кардіологічний журнал, №4, 2015. с. 123-133.
4. Сичов О.С., Жарінов О.Й. Варіабельність серцевого ритму: фізіологічні механізми, методи дослідження, клінічне і прогностичне значення [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://compendium.com.ua/uk/glava-4-variabelnist-sertsevogo-ritmu-fiziologichni-mehanizmi-metodi-doslidzhennya-klinichne-i-prognostichne-znachennya/>.
5. OpenCV: Home [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://opencv.org/>
6. James W. Cooley, John W. Tukey: An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. In: Math. Comput. 19, 1965, p.p. 297—301.
7. numpy.fft.fft [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.fft.fft.html>
8. Matplotlib — Visualization with Python [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://matplotlib.org/>

References

1. World Health Organization. The top 10 causes of death [Electronic resource]. 2020. Mode of access to the resource: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.
2. Kovalenko, V. M. Stress and cardiovascular diseases: the current state of the problem." Ukrainian Journal of Cardiology, No. 1, 2015. p. 4-7.
3. Nascimento, B., Brant, L., Moraes, D., Ribeiro, A. Global health and cardiovascular disease. Ukrainian Journal of Cardiology, No. 4, 2015. с. 123-133.
4. Sychev O.S., Zharinov O.Y. Heart rate variability: physiological mechanisms, research methods, clinical and prognostic significance [Electronic resource]. Mode of access to the resource: <https://compendium.com.ua/uk/glava-4-variabelnist-sertsevogo-ritmu-fiziologichni-mehanizmi-metodi-doslidzhennya-klinichne-i-prognostichne-znachennya/>.
5. OpenCV: Home [Electronic resource]. Resource access mode: <https://opencv.org/>
6. James W. Cooley, John W. Tukey: An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. In: Math. Comput. 19, 1965, p.p. 297—301.
7. numpy.fft.fft [Electronic resource]. Resource access mode: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.fft.fft.html>
8. Matplotlib — Visualization with Python [Electronic resource]. Resource access mode: <https://matplotlib.org/> Roger C. Palmer. The Bar Code Book. Trafford Publishing, 2007.

CONTENTS

AUTOMATION AND MANAGEMENT	
Pistun Ye., Matiko H., Krykh H. Improving the hydrodynamic devices for measuring rheological parameters of liquids	5
Roman V., Matiko F., Yalinsky D. Investigation of additional components of flow rate measurement error of ultrasonic flowmeters by methods of computational fluid dynamics.	13
Четверикова Т., Клехо О. Системи створення та використання відеоконтенту для реалізації дистанційного навчання.	21
INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE	
Andrushchak I., Matviiv Yu., Koshelyuk V. Components of viruses and antivirus software in modern information security.	26
Zalialetdzinau K. Theoretical and methodological aspects of assessing the security of cloud it components according to the criteria of existing standards.	31
Adashevska I., Kraievska O. On choosing the optimal point of view when constructing perspective images.	36
Belmas I., Bilous O., Tantsura H., Sai O., Gupalo J. Impact of rope gust on the stress state of a rubber-rope cable.	42
Hulivata I., Radzichovska L., Serednytska L. Ways of digitalization of marketing services in the system of organization of admission to higher education institutions of Ukraine	53
Dymova H. Building an "input - state space - output" model based on the properties of linear operators using Hankel matrices.	59
Kozubtsova L., Kozubtsov I., Zdolbitskaya N., Koshelyuk V. Performance indicators of the functioning of the information security system and cybersecurity of critical information infrastructure objects.	64
Kosenyuk H., Rozlomii I. Competence-based approach in offering the course "Theory of correlations and mathematical statistics" to higher education recipients in computer science.	70
Kubrak Y., Plechystyy D., Romanishyn V. A multi-agent system of artificial intelligence forming principles.	76
Lomonosov Yu. Methods of selecting contours in multi-scale analysis of medical images.	83
Nedashkivskiy S. Comprehensive method for restoring graphic data based on morphological algorithms.	89
Pasternak R. Construction of relativistic mechanics of discrete matter in Euclidean 4-space.	95
Pekh P., Lavrenchuk S., Miskevich O., Diachenko R. Comparative analysis of methods that solve differential equations by means Matlab and Matlab Simulink.	103

Pekh P., Khrystynets N., Kucheruk O. Implementation of algorithms for sorting elements of sequential containers by means of library of standard templates STL	111
Khomutnyk D., Marchenko O. High-level technique for description of cloud infrastructure resources.	117
Yukhta O., Roiko O. Algorithmic support for camera-based barcode reading.	124
TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING	
Zaluzhnyi O., Radzivilov H., Kozubtsova L. Analysis of digital modulation methods and features of the use of error-correcting codes in one-way radio communication systems.	129
Krulikovskyi B., Reinska V. Mathematical modeling of a combinational adder in the tasks of technical diagnostics.	135
Royko O., Puhach T. Peculiarities of implementing the software for determining the performance of the heart using a smartphone camera.	141

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.

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 30.06.2022. Формат А4. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15.25 Обл. – вид. арк. 15.75
Тираж 20 прим. Зам. № 287

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