

*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.*

**№42 2021**

*м. Луцьк  
Видавництво Луцького національного технічного університету*

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

**№42 2021р.**

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

<b>Головний редактор:</b>	
професор д.ф.-м.н., Пастернак Я.М.	(м. Луцьк)
<b>Заступники головного редактора:</b>	
проф., д.т.н. Андрушак І.Є.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Пех П.А.	(м. Луцьк)
<b>Відповідальний секретар:</b>	
мол.наук.співробітник Свиридюк К.А.	(м. Луцьк)
<b>Члени редакційної колегії:</b>	
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)
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. Драган О.В.	(м. Брест, Білорусія)
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](http://cit-journal.com.ua)

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

**Рекомендовано до друку Вченою радою  
Луцького національного технічного університету  
(протокол №8 засідання від 22.02.2021)**

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

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

## ЗМІСТ

<b>АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ</b>	
<b>Наливайчук М. В., Шолохов О. В.</b> Моделювання та алгоритми обробки інформації супутникового адаптивного надпровідного гравіметра.	<b>5</b>
<b>Аракелян В. П.</b> Новий підхід до оцінки втрати потужності електроенергетичної системи з застосуванням Z-матриці. [ <i>Аракелян В. П. Новый подход к оценке потери мощности электроэнергетической системы с применением Z-матрицы.</i> ]	<b>11</b>
<b>Безкостна К. П., Гришанович Т. О., Глинчук Л. Я., Булатецький В. В.</b> Розробка розширення до браузера Google Chrome для блокування графічного контенту.	<b>18</b>
<b>Булавка С. С.</b> Підвищення ефективності передстартової системи термостатування повітря космічних апаратів.	<b>24</b>
<b>Верещага В.М., Адоньєв Є.О., Павленко О.М., Лисенко К.Ю.</b> Гармонізація точкових поліномів.	<b>31</b>
<b>Головін М.Б., Головіна Н.А.</b> Фур'є перетворення в якості аплікації спектрального аналізу звуків у курсах комп'ютерної фізики та захисту інформації.	<b>37</b>
<b>Губаль Г.М.</b> Математичне моделювання швидкостей біохімічних процесів в біологічних системах. [ <i>Hubal H.M. Mathematical modeling of biochemical processes rates in biological systems</i> ]	<b>43</b>
<b>Заяць В.М., Маєвський Я., Заяць М.М.</b> Особливості та функціональні можливості програмного комплексу Pspice.	<b>50</b>
<b>Ковівчак Я., Дубук В., Слюсар В.</b> Розробка інформаційної системи управління електроспоживанням у розумному будинку.	<b>58</b>
<b>Лишук В.В., Євсюк М.М., Селепина Й.Р., Мороз С.А., Літковець С.П.</b> Імпульсно-фазове керування в електротехнічних пристроях.	<b>65</b>
<b>Логвін А. О.</b> Глибинне навчання для аудіо-додатків.	<b>72</b>
<b>Палка О. В., Станько А. А., Шимчук Г. В., Герасимчук О.О.</b> Запобігання поширення коронавірусної інфекції у «розумних містах».	<b>79</b>
<b>Соняк С. О.</b> Виявлення мережевих атак за допомогою Ентропії.	<b>89</b>
<b>Терейковська Л.</b> Метод фільтрації біометричних параметрів на основі вейвлет-перетворень.	<b>95</b>
<b>Трофімук А. О., Булатецька Л. В., Павленко Ю. С., Гришанович Т. О.</b> Розробка інтерактивної карти з використанням технології SPA.	<b>104</b>
<b>Чернишов К., Майданюк В., Арсенюк І. Малініч І.</b> Аналіз та класифікація вендингових систем та їх структурних реалізацій.	<b>110</b>
<b>Чибіряк Я. І., Баранова І. В., Ніколаєнко К. О.</b> Метод наскрізного навчання студентів ІТ-спеціальностей імітаційному моделюванню у середовищі FlexSim для пошуку резервів підвищення ефективності автоматизованих систем.	<b>119</b>
<b>ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА</b>	
<b>Вавіленкова А. І.</b> Особливості реалізації етапу проектування програмного продукту Scrum-командою у програмному середовищі Visual Studio.	<b>130</b>
<b>Іваненко А.Р., Марченко О.І.</b> Спосіб трансляції конкатенації рядкових виразів мови TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET.	<b>137</b>
<b>Костючко С., Багнюк Н., Кузьмич О., Поліщук М., Кирилюк Л.</b> Біометрична ідентифікація засобами Python та Raspberry Pi.	<b>142</b>
<b>Костючко С., Кирилюк Л., Черняшук Н., Бортник К., Гринюк С.</b> Бездротова точка доступу з багаторівневим алгоритмом захисту даних. [ <i>Kostiuchko S., Kyryliuk L., Chernyashchuk N., Bortnyk K., Hrunjuk S. Wireless access point with multilayer data protection algorithm.</i> ]	<b>147</b>

<b>Кукол А. Є., Хомяк М.Я., Гришанович Т. О.</b> Розробка ігрової програми «Судоку» за допомогою середовища програмування PyCharm.	<b>152</b>
<b>Лук'янюк С. В.</b> Принципи формування електронного архіву даних як основи для здійснення інформаційно-пошукового запиту.	<b>158</b>
<b>Марценюк В.П., Андрущак І.Є., Мілян Н.В.</b> Мінімакський підхід в машинному навчанні: сучасний стан та перспективи розвитку.	<b>164</b>
<b>Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрущак І.Є., Чудовець В.В., Кошелюк В.А.</b> Аспекти захисту бухгалтерських даних в умовах використання інноваційно-інформаційних технологій. <i>[ Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Chudovets V.V., Koshelyuk V.A. Aspects of protection of accounting data in the conditions of use of innovation and information technologies.]</i>	<b>172</b>
<b>Мороз Б. І., Кабак Л. В., Ширін А. Л., Овчаренко С. А.</b> Використання Data Mining в інформаційних бібліотечних системах.	<b>177</b>
<b>Мороз С.А., Гузюк Г.О.</b> Аналіз протоколів передачі інформації для технології дистанційного управління засобами мережі Інтернет.	<b>185</b>
<b>Муляр В. П., Яцюк С. М.</b> Візуалізація даних в Google Sheets із використанням функції SPARKLINE.	<b>191</b>
<b>Сіваковська О. М., Ящук А. А., Андрущак І. Є., Ліщина Н. М., Ліщина В. О.</b> Моніторинг та дослідження мережі на базі Linux-машин.	<b>198</b>
<b>Старовойтенко О. В.</b> Дотримання вимог платформи IoT за допомогою хмарних рішень.	<b>205</b>
<b>Шваюк А.В., Бортник К.Я., Гринюк С.В.</b> Аналіз методів тестування на проникнення в комп'ютерні системи для оцінки якості захисту банківських даних користувачів.	<b>218</b>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-01>

УДК: 004.942 + 004.383.3

<sup>1</sup> **Наливайчук Микола Васильович**, ст. викладач

<https://orcid.org/0000-0002-8942-9844>

<sup>2</sup> **Шолохов Олексій Вікторович**, начальник групи

<https://orcid.org/0000-0002-8676-3724>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

<sup>2</sup> Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал» ДКАУ.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ СУПУТНИКОВОГО АДАПТИВНОГО НАДПРОВІДНОГО ГРАВИМЕТРА

**Наливайчук М. В., Шолохов О. В. Моделювання та алгоритми обробки інформації супутникового адаптивного надпровідного гравіметра.** Обґрунтовані принципи створення перспективного супутникового гравіметра, придатного для отримання оперативної інформації щодо гравітаційного поля. Розроблено математичні моделі динаміки та стійкості керованого надпровідного підвісу. Побудовано чисельні алгоритми оцінювання величини гравітаційного збурення, що впливає на левітаційне пробне тіло. Обґрунтовано технологію створення макету супутникового гравіметра на основі високотемпературних надпровідних наноплівки.

**Ключові слова:** вимірювально-обчислювальна система, алгоритм, пробне тіло, динамічна модель, гравіметр, моделювання, оптимізація, керуючий вплив, адаптивна фільтрація, мікропроцесор.

**Наливайчук Н. В., Шолохов А. В. Моделирование и алгоритмы обработки информации спутникового адаптивного сверхпроводящих гравиметров.** Обоснованы принципы создания перспективного спутникового гравиметра, пригодного для получения оперативной информации о гравитационном поле. Разработаны математические модели динамики и устойчивости управляемого сверхпроводящего подвеса. Построены численные алгоритмы оценивания величины гравитационного возмущения, влияющего на левитирующее пробное тело. Обоснована технология создания макета спутникового гравиметра на основе высокотемпературных сверхпроводящих нанопленок.

**Ключевые слова:** измерительно-вычислительная система, алгоритм, пробное тело, динамическая модель, гравиметр, моделирование, оптимизация, управляющее воздействие, адаптивная фильтрация, микропроцессор.

**Nalyvaichuk M. V., Sholokhov O.V. Modeling and Information processing algorithms of satellite adaptive superconducting gravimeter.** Principles of satellite gravimeter creation to obtain an information about gravitational field are considered. The mathematical model of the dynamic and stability of controlled superconducting suspension has been developed. Numerical algorithms for gravitational perturbation estimation acting on levitated probe have been proposed. The technology of satellite gravimeter creation based on high-temperature superconducting nanofilms has been proposed.

**Keywords:** measuring-computing system, algorithm, probe, dynamic model, gravimeter, modeling, optimization, control, adaptive filtering, microprocessor.

**Постановка наукової проблеми.** У галузі гравіметрії однією з актуальних проблем є підвищення точності супутникового гравіметра. Серед найкращих стаціонарних наземних гравіметрів точність складає  $10^{-8}g$ , для гравіметрів морського базування –  $10^{-7}g$ , а для авіаційного –  $10^{-6}g$ . При сучасних темпах розвитку багатьох галузей прикладних наук (космічні дослідження, геологія, навігація, моніторинг природних ресурсів на основі аналізу гравітаційних аномалій, вивчення глобальних геодинамічних процесів, гравітаційного поля і форми Землі, руху полюсів Землі тощо) зазначена точність є недостатньою. Підвищення точності гравіметра сприятиме збільшенню точності спостережень визначення місця розташування та орієнтації для довготривалих авіа польотів і плавань підводних апаратів, тому необхідно знати гравітаційне поле Землі, а також його аномалії. Детальна інформація про гравітаційне поле Землі необхідна також багатьом галузям прикладних наук (космічні дослідження, геологія, навігація, наука про форму Землі). Дійсно, точне і швидке детектування геодинамічних процесів може дозволити отримати дані щодо зародження і розвитку критичних локальних і глобальних екологічних станів. Іншою практичною проблемою є потреба отримання інформації щодо нерозвіданих корисних копалин Землі.

Тому, для розв'язання даної проблеми, пропонуються різні макети надпровідних гравіметрів, що відрізняються способом неконтактного підвішування чутливої маси гравіметра, використанням електричних або магнітних сил, методами вимірювання зміщень чутливої маси гравіметра (системи оптичної реєстрації, Джозефсонівські ефекти як основа вимірювань тощо), а також комп'ютерними методами оброблення сигналів [5, 11]. Стрибок у вдосконаленні гравіметрів став можливим завдяки фінансуванню розробок надпровідних гравіметрів. У роботі [5] описується в деталях надпровідний гравіметр, базова конструкція якого залишається незмінною протягом більше 30-ти років з моменту першої публікації в [11]. Вільний стан (левітація) чутливої маси цього гравіметра досягається на основі ефекту Браунбека-Мейснера [10, 11].

**Аналіз досліджень.** Дослідження підвищення точності супутникового надпровідного гравіметра з керованим магнітним підвісом на основі наноплівки та процесорного мікро модуля, придатного для отримання оперативної інформації щодо гравітаційного поля, раніше не проводились. Тому, оскільки апаратне, алгоритмічне і математичне забезпечення такого гравіметра є невід'ємною частиною, яка впливає на його точність, воно потребує подальшої уваги.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Метою даної статті є обґрунтування та розроблення наукових основ та пропозицій щодо створення перспективних супутникових гравіметрів, що включають принципово новий керований магнітний підвіс (чутливий елемент) на основі наноплівки з використанням явища керованої магнітної левітації та процесорного мікро модуля; обґрунтування технології розроблення функціональних вузлів на основі високотемпературних надпровідних наноплівки для створення малогабаритного супутникового гравіметра.

Поставлена мета обумовила розв'язання наступних **задач**:

- необхідно розробити математичну модель динаміки та стійкості керованого надпровідного підвісу;
- запропонувати алгоритми ідентифікації та оцінювання;
- побудувати чисельні алгоритми оцінювання величини гравітаційного збурення, що впливає на левітаційне пробне тіло;
- провести аналіз впливу різних чинників на жорсткість підвісу, серед яких, зокрема – наявність додаткової феромагнітної маси на вільній пробній масі, вплив пасивного фільтру сигналів на точність вимірювань;

**Математична модель динаміки та стійкості пробного тіла.** Однією з актуальних задач механіки вільного тіла в магнітному полі є завдання складання та аналізу рівнянь динаміки вільного тіла в полі ідеально провідних струмових контурів. Це обумовлено можливістю використовувати ефекти діамагнітного відштовхування [10,11] та мінімуму магнітної потенційної енергії [2, 11], що дозволяють стабілізувати рівновагу вільного тіла [11]. В [2] обґрунтовано ефект мінімуму магнітної енергії і стійкості рівноваги вільного ідеально провідного струмового кільця, співвісного в положенні рівноваги до нерухомого ідеально провідного струмового кільця,

Проведено дослідження рівняння руху і стійкості при наявності не одного, а двох нерухомих ідеально провідних струмових кілець, що представляють собою консервативну потенційну систему. Для складання рівнянь динаміки використовується метод Лагранжа, який в [2, 4] розвинений, стосовно електромеханічних перетворювачів енергії. Виберемо в якості кінетичної енергії енергію магнітного поля. Нехай механічними координатами вільного ідеально провідного кільця є циліндричні координати його центру маси  $\rho, \alpha, \xi$  і кути Ейлера  $\phi, \psi, \theta$ , які визначають орієнтацію кільця щодо тригранника  $O\xi\eta\zeta$  (Рис. 3). Початок тригранника  $O\xi\eta\zeta$  поміщено в центрі верхнього нерухомого ідеально провідного кільця, а вісь  $O\zeta$  співпадає з спільною віссю двох нерухомих ідеально провідних кілець.

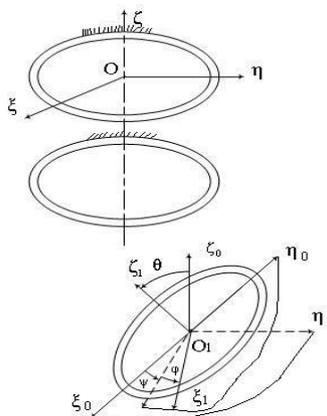


Рис. 1. Орієнтація кільця відносно тригранника  $O\xi\eta\zeta$

З метою вивчення властивостей робочого макету гравіметра були проведені експериментальні дослідження динамічних характеристик магнітного підвісу вільної пробної маси робочого макета гравіметра (спільно з групою Інституту фізики НАНУ), а також доопрацьовано чутливий елемент магнітного підвісу.

Система рівнянь для змінних стану  $y_1, \dots, y_6$  і функціонал  $z_1$  описують відображення  $y_1 \rightarrow z_1$  інтерферометра, що допускає лінійне представлення (див. [5]). Шляхом введення функції  $z = \alpha y_1 + \beta y_2$ , де  $\beta$  – константа, і прирівнюючи  $\alpha_j = 0, j = 2, \dots, 5$ , одержуємо білінійну систему:

$$\begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ a_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ a_2 + a_3 y_1 \end{bmatrix} u_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ a_5 + a_4 y_1 \end{bmatrix} u_1^2(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ a_6 \end{bmatrix} u_3(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ a_7 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$z = \alpha y_1 + \beta y_2, \quad (2)$$

Тут  $a_1 = a_{11}, a_2 = a_{17}, a_3 = a_{18}, a_4 = a_{110}, a_5 = a_{19}, a_6 = a_{16}, a_7 = a_{111}$ . Нехай  $u_3(t) = 0, u_4(t) = 0$ . Отримаємо умови асимптотичної стійкості білінійної системи із лінійної системи вимірювання, умови існування якої приведені в [2, 7]. Шляхом лінеаризації системи (1) в околі точки  $y_1 = 0, y_2 = 0$  стійкої рівноваги пробного тіла при  $u_1(t) = 0$ , одержимо (3) і (4):

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ a_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ a_2 \end{bmatrix} u_1(t), \quad (1)$$

$$z = [\alpha \beta] \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix}^T, \quad (2)$$

де  $z$  – вихідний сигнал лазерного інтерферометра,  $\alpha, \beta$  – коефіцієнти підсилення,  $x_1$  – стан системи,  $x_2$  – прискорення пробного тіла,  $t \in [0, T], u_1 = t$  – зворотній зв'язок.

Систему (3), (4) запишемо в більш загальному вигляді (5):

$$\dot{x} = Ax + Bu_1(t), z = Cx \quad (3)$$

Визначимо керування [6, 9, 10]:

$$u_1(t) = K(z), K(0) = 0, \quad (4)$$

яке забезпечує асимптотичну стійкість незбуреного руху  $x = 0$ .  
 Із керованості лінійної системи

$$\dot{x} = Ax + Bu_1(t), \quad (5)$$

впливає стабілізованість білінійної системи (1) лінійним керуванням

$$u_1(t) = F. \quad (6)$$

Нехай  $\Theta(\lambda) = a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3$  – будь який ненормований многочлен, всі корені якого мають від'ємні дійсні частини. Знайдемо таку матрицю  $K$ , щоб корені характеристичного полінома матриці  $A + BKC$  співпадали з коренями полінома  $\Theta(\lambda)$ .

В силу керованості системи (7) існує матриця  $F = \|f_j\|, (j = 1, 2)$  така, що  $A + BKC$  має заданий спектр. Отже, існування шуканої матриці  $K$  еквівалентне існуванню розв'язку рівняння

$$KC = F. \quad (7)$$

Введемо наступні позначення:

$$C_1 = \alpha, C_2 = \beta, E_1 = [1 \ 0]^T, E_2 = [0 \ 1]. \quad (8)$$

Для існування матриці  $K$ , яка задовольняє рівнянню (8), необхідно і достатньо виконання умови

$$FQ = 0, Q = E_2 - E_1 C_1^{-1} C_2 \quad (9)$$

в якій враховується (4),

$$Q = \begin{bmatrix} -\alpha^{-1} \beta \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Якщо елементи матриці (11) розглядати як координати вектора  $q$  в двомірному просторі, то умова (10) означає, що вектор  $s = \{f_j\}, j = 1, 2$ , повинен бути колінеарним вектору  $q = \{1, \alpha^{-1} \beta\}$ . Отже, при фіксованій орієнтації осі чутливості квантового інтерферометра рівняння (9) задовольняє однопараметричній множині матриць  $F$  вигляду

$$F = [f_1 \alpha^{-1} \quad \beta f_1]. \quad (11)$$

Щоб характеристичний поліном матриці  $A + BF$  співпадав з заданим поліномом  $\Theta(\lambda)$ , необхідно, щоб виконувалися умови  $f_1 = -(a_3 + a_1) a_2^{-1}, a_1 = 1, a_2 = -a_2 \alpha^{-1} \beta f_1$ . Таким чином, при  $a_1 = 1, a_2 \neq 0, \alpha \neq 0$ , матриця  $K = F E_1 C_1^{-1}$  зворотного зв'язку по виходу визначається виразом

$$K = [f_1 \alpha^{-1}]$$

і керування  $u_1(t) = Kz = f_1 \alpha^{-1} z$  забезпечує асимптотичну стійкість положення рівноваги (1) в деякій області  $H$  зміни  $x$ .

Показано, що ідеї та методи теорії керування можуть бути використані для стабілізації левітуючого пробного тіла.

**Ідентифікація динаміки пробного тіла.** Запишемо систему (1), де  $\dot{y}_1 = u_2$ ,  $u_2 = u_1^2$ ,  $a_6 = 0$ ,  $a_7 = 0$ ,  $u_3 = 0$ , у наступному вигляді:

$$\ddot{y}_1 = (a_1 + a_3 u_1 + a_4 u_2) y_1 + a_2 u_1 + a_5 u_2, \quad (14)$$

Уведемо заміну:  $a_1 + a_3 u_1 + a_4 u_2 = g$ ,  $a_2 u_1 + a_5 u_2 = h$ , тоді рівняння (14) матиме наступний вигляд:

$$\ddot{y}_1 = g y_1 + h. \quad (15)$$

Для знаходження загального розв'язку рівняння (15), уведемо нову функцію  $Pf(y)$ , за умови  $Pf(y) = \dot{y}_1$ . Тоді запишемо  $\ddot{y}_1 = \frac{d}{dt} \dot{y}_1 = \frac{dPf}{dt} = \frac{dPf}{dy_1} \frac{dy_1}{dt} = \frac{dPf}{dy_1} Pf$ ,  $\frac{dPf}{dy_1} Pf = g y_1 + h$ ,  $\int Pf * dPf = \int (g y_1 + h) * dy_1$ . Розв'язок останнього рівняння наведений формулою (16).

$$Pf = y_2 = \pm \sqrt{\frac{1}{g} (g y_1 + h)^2 + C_1}. \quad (16)$$

Підставивши  $\dot{y}_1 = y_2$  в (16), отримаємо нове диференціальне рівняння, загальний розв'язок якого представлений формулами (17) і (18).

$$y_1^1 = \frac{e^{\sqrt{g}(C_2 \pm t)}}{2g} - \frac{C_1}{2e^{\sqrt{g}(C_2 \pm t)}} - \frac{h}{g}, \quad (17)$$

$$y_1^2 = \frac{C_1}{2e^{\sqrt{g}(C_2 \pm t)}} - \frac{e^{\sqrt{g}(C_2 \pm t)}}{2g} - \frac{h}{g}, \quad (18)$$

де  $C_1, C_2$  — константи інтегрування.

Стан системи у початковий момент часу невідомий. Відомими є множини  $z$ ,  $u_1$ ,  $u_2$  у кожний момент часу  $t$ ,  $Card(z) = Card(u_1) = Card(u_2) = N$ . Для параметричної ідентифікації (14) і (2) пропонується наступний алгоритм.

Нехай кількість станів системи  $p = L$ , де  $L$  — максимальна ступінь виразу, який зобразимо у наступному вигляді:

$$\hat{y}_q = u_1^q + u_2^q, \quad (19)$$

де  $q = \overline{1..p}$ .

Тепер нехай  $\hat{z} = a \hat{y}_1 + b \hat{y}_2$ , а задача (20) на знаходження параметрів  $a, b$  не є перепараметризованою:

$$\sum_{i=1}^N (z_i - \hat{z}_i)^2 \rightarrow \min. \quad (20)$$

Для знаходження параметрів (14), запишемо задачу оптимізації (21):

$$S_j = \sum_{i=1}^N (y_{1i}^j - \hat{y}_{1i})^2 \rightarrow \min, j = \overline{1..2} \quad (21)$$

Програмна реалізація та апробація алгоритму виконані в середовищі MatLab (рис. 2).

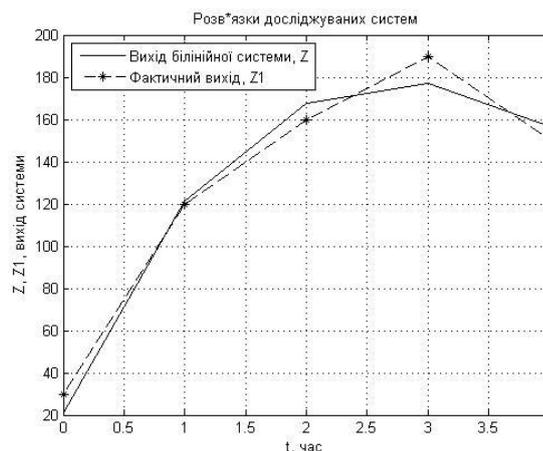


Рис. 2. Динаміка фактичного та теоретичного виходів системи

Запропонований алгоритм дозволяє подолати проблему перепараметризованості, яка є актуальною при ідентифікації білінійних систем (за умови, що відомий загальний розв'язок) і є перешкодою при застосуванні класичного підходу ідентифікації [30].

**Еліпсоїдальне оцінювання вектору стану.** Для розв'язування задачі оцінювання вектору стану системи (3) пропонується алгоритм еліпсоїдального оцінювання, який полягає у наступному (17):

$$\dot{x} = Ax + B(u_1 + \xi) \quad (17)$$

Припустимо, що процес стаціонарний. Для зручності перепишемо (4) у компактному вигляді з урахуванням невизначеності (18):

$$z = Cx + v \quad (18)$$

$|\xi| \leq d$  и  $|v| \leq c$  – обмежені за абсолютною величиною збурювання й шум, відповідно.

Таким чином, оцінка векторної величини  $x$  у момент часу  $t$  являє собою деяку обмежену множину, яку зручно апроксимувати множиною канонічної форми, наприклад, еліпсом  $E$  [23]. Оскільки оброблення спостережень і побудова множинної оцінки стану (17) здійснюється дискретно, зручно перейти до дискретного подання процесу (17), використавши фіксатор нульового порядку [24, 25]. Зазначене перетворення зручно виконати засобами MatLab [26] і далі використовувати в комп'ютерному моделюванні. У цьому випадку (17), (18) перепишемо в нових позначеннях (19) і (20):

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k (u_{1,k} + \xi_k), \quad (19)$$

$$z_k = Cx_k + v_k, \quad (20)$$

де нижній індекс  $k \in N$  – номер спостереження за процесом у дискретному поданні; матриці  $A_k, B_k$  отримані в результаті перетворення безперервного процесу (17) у його дискретне подання. Використавши роботу [27], будемо еліпсоїдальну множину досяжності [23], а потім, скориставшись алгоритмом [28], одержуємо еліпсоїдальну оцінку вектора можливих станів процесу (17). На напівінтервалі  $[k, k + 1]$  вважаємо керування  $u_{1,k}$ , збурювання  $\xi_k$  й шум  $v_k$  постійними.

$$\tilde{x}_{k+1} = A_k \tilde{x}_k + B_k u_{1,k} | \tilde{x}_1 = \bar{x}, \quad (21)$$

$$\tilde{H}_{k+1} = (1 + \delta_k) A_k \tilde{H}_k A_k^T + (1 + \delta_k^{-1}) B_k B_k^T d^2 | \tilde{H}_1 = \bar{H}, \quad (22)$$

$$\tilde{E}_{k+1} = \{x_{k+1}: (x_{k+1} - \tilde{x}_{k+1})^T \tilde{H}_{k+1}^{-1} (x_{k+1} - \tilde{x}_{k+1}) \leq 1\} \quad (23)$$

Тут  $\tilde{x}_{k+1}$  – прогнозне значення вектора станів процесу;  $\tilde{H}_{k+1}$  – матриця еліпса  $\tilde{E}_{k+1}$  множини досяжності процесу (19). Значення  $\bar{x}$  й  $\bar{H}$  задаються приблизно.  $\delta_k$  – єдиний позитивний корінь рівняння [27]

$$n\delta_k^2 + k_k^2(n-1)\delta_k - k_k^2 = 0, \quad k_k^2 = B_k^T \tilde{H}_k^{-1} B_k d^2 \quad (24)$$

У рівнянні (24) параметр  $n = 2$  – розмірність вектора  $x_k$ .

Обробивши виміри (20), одержимо оцінку множини можливих станів процесу (5):

$$\hat{x}_{k+1} = \tilde{x}_{k+1} \tau_{k+1} \frac{\tilde{H}_{k+1} C^T}{e_{k+1}} \sigma_{k+1}, \quad (25)$$

$$\hat{H}_{k+1} = (\tilde{H}_{k+1} - \tau_{k+1} \frac{\tilde{H}_{k+1} C^T C \tilde{H}_{k+1}}{e_{k+1}^2}) \gamma_{k+1}^2, \quad (26)$$

$$\gamma_{k+1}^2 = 1 + \tau_{k+1} \left( \frac{1}{1-\tau_{k+1}} \chi_{k+1}^2 - \sigma_{k+1}^2 \right), \quad (27)$$

$$\tau_{k+1} \leq \frac{1+n(\sigma_{k+1}^2 - \chi_{k+1}^2)}{1+n\sigma_{k+1}^2}, \quad 0 \leq \tau_{k+1} < 1.$$

де  $n = 2$  – розмірність вектора  $x_k$ ,  $e_{k+1}^2 = C \tilde{H}_{k+1} C^T$ ,  $\sigma_{k+1} = \frac{\Delta_{k+1}}{e_{k+1}}$ ,  $\Delta_{k+1} = z_{k+1} - C \tilde{x}_{k+1}$ ,  $\chi_{k+1}^2 = \frac{c^2}{e_{k+1}^2}$ ,  $c$  – найбільше абсолютне значення шуму  $v_k$ .

У (21), (22) на  $k + 2$  кроці перевизначаємо:  $\tilde{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}$ ,  $\tilde{H}_{k+1} = \hat{H}_{k+1}$ .

Керування  $u_{1,k}$  задається законом (14) і визначається обраним критерієм:  $\det \hat{H}_{k+1} / \det \hat{H}_k \leq 1$ ,  $tr \hat{H}_{k+1} / tr \hat{H}_k \leq 1$  або відношенням інших матричних норм.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Обґрунтовано принципи створення перспективного супутникового гравіметра, придатного для отримання оперативної інформації щодо гравітаційного поля. Розроблено математичну модель динаміки та стійкості керованого надпровідного підвісу.

Побудовано алгоритм ідентифікації динаміки пробного тіла та проведено еліпсоїдальне оцінювання вектору стану. Побудовано чисельні алгоритми оцінювання величини гравітаційного збурення, що впливає на левітуюче пробне тіло.

Розроблено технічні пропозиції щодо створення магнітного підвісу на високотемпературних наноплівках та здійснено наукове-технічне обґрунтування макету супутникового гравіметра на основі високотемпературних надпровідних наноплівок з використанням процесорного мікромодуля.

Обґрунтовано технологію створення макету супутникового гравіметра на основі високотемпературних надпровідних наноплівок.

Подальше дослідження пропонується проводити в напрямку використання останніх наукових розробки сучасних надпровідних матеріалів, що переходять в стан надпровідності при ще більш високих температурах і з яких можна створити чутливий елемент сенсора,

#### Список бібліографічного опису

1. Yatsenko V.A., Nalivaichuk N.V. Mathematical modeling and optimization of controlled superconducting sensors with magnetic levitation // Моделювання та дослідження стійкості динамічних систем: Збірник наукових праць міжнародна конференції DSMSI-2011. Київ, 2011. С. 146.
2. Yatsenko V.A. and Kryuchkov E.I. On the possibility of application of "Magnetic Potential Well" effect for creation of a graviinertial cryogenic device. Journal of Automation and Information Science, V. 34, 2003.-P. 106-119.
3. W.A. Prothero and J. M. Goodkind. A superconducting gravimeter. – Rev. Sci. Instr., № 2, Vol. 39, № 9. 1968.– P. 1257 – 1261.
4. V.Yatsenko and P.Pardallos, Global optimization of cryogenic-optical sensor, in Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites, K. W.H. Fujisada, J. Lirie, ed., Proc. SPIE 4550, гр. 433 - 441, 2001.
5. V. Yatsenko, M. Nalyvaichuk. Modeling and Optimization of Cryogenic-Optical Gravimeters // International Journal information theories & applications. - 2012. - P. 232-240. Vol. 19. № 3.
6. V. Yatsenko, M. Nalyvaichuk. Cryogenic-Optical Gravimeter: Principles, Methods and Applications // Kharkov University Vestnik, Ser. Radiophysics and Electronics.-2011.– P. 107-113.
7. V. Yatsenko, M. Nalyvaichuk, V. Gnidenko, O. Kochkodan. Modeling of Superconducting Gravimeter for Futute Space Missions: Optimization. Control, and Estimation//2nd International Conference on memory of corresponding member of National Academy of Science of Ukraine V. S. Melnik, 4-6 Aprill, 2012. Kyiv, Ukraine. – P.110.
8. Moon F. C. Superconducting Levitation: Application to bearings and magnetic transportation, John Willey & Sons, NY, 1994, 295p
9. Kozoriz V. Novel Magnetic Levitation and Propulsion Phenomena, ISBN 966-7108-10-4, Zaporizhya, 1999, 271p
10. J. M. Goodkind. The superconducting gravimeter. Rev. Sci. Instrum.-Vol. 70, № 11. – P. 4131-4152, 1999.
11. J. M. Goodkind and R. J. Warburton, IEEE Trans. Magn. MAG – 11, № 2, 1975.

#### References

1. Yatsenko V.A., Nalivaichuk N.V. Mathematical modeling and optimization of controlled superconducting sensors with magnetic levitation // Моделювання та дослідження стійкості динамічних систем: Збірник наукових праць міжнародна конференції DSMSI-2011. Київ, 2011. С. 146.
2. Yatsenko V.A. and Kryuchkov E.I. On the possibility of application of "Magnetic Potential Well" effect for creation of a graviinertial cryogenic device. Journal of Automation and Information Science, V. 34, 2003.-P. 106-119.
3. W.A. Prothero and J. M. Goodkind. A superconducting gravimeter. – Rev. Sci. Instr., № 2, Vol. 39, № 9. 1968.– P. 1257 – 1261.
4. V.Yatsenko and P.Pardallos, Global optimization of cryogenic-optical sensor, in Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites, K. W.H. Fujisada, J. Lirie, ed., Proc. SPIE 4550, гр. 433 - 441, 2001.
5. V. Yatsenko, M. Nalyvaichuk. Modeling and Optimization of Cryogenic-Optical Gravimeters // International Journal information theories & applications. - 2012. - P. 232-240. Vol. 19. № 3.
6. V. Yatsenko, M. Nalyvaichuk. Cryogenic-Optical Gravimeter: Principles, Methods and Applications // Kharkov University Vestnik, Ser. Radiophysics and Electronics.-2011.– P. 107-113.
7. V. Yatsenko, M. Nalyvaichuk, V. Gnidenko, O. Kochkodan. Modeling of Superconducting Gravimeter for Futute Space Missions: Optimization. Control, and Estimation//2nd International Conference on memory of corresponding member of National Academy of Science of Ukraine V. S. Melnik, 4-6 Aprill, 2012. Kyiv, Ukraine. – P.110.
8. Moon F. C. Superconducting Levitation: Application to bearings and magnetic transportation, John Willey & Sons, NY, 1994, 295p
9. Kozoriz V. Novel Magnetic Levitation and Propulsion Phenomena, ISBN 966-7108-10-4, Zaporizhya, 1999, 271p
10. J. M. Goodkind. The superconducting gravimeter. Rev. Sci. Instrum.-Vol. 70, № 11. – P. 4131-4152, 1999.
11. J. M. Goodkind and R. J. Warburton, IEEE Trans. Magn. MAG – 11, № 2, 1975.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-02>

УДК: 621.3.061

**Аракелян Варужан Павликович**, к.т.н. доцент

Национальный Политехнический Университет Армении, Институт Энергетики и Электротехники, кафедра Электроэнергетика Республика Армения, г. Ереван

## НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ Z-МАТРИЦЫ

**Аракелян В. П. Новый подход к оценке потери мощности электроэнергетической системы с применением Z-матрицы.** Вступительное слово о теме исследования: При исследовании режимов электроэнергетических систем различают параметры режима и схемы. Параметры схемы относятся к обобщенным параметрам сети. Узловая Z-матрица собственных и взаимных комплексных сопротивлений представляет собой матрицу обобщенных параметров. Параметры схемы системы делятся на активные и пассивные. Пассивные параметры - это продольные и поперечные параметры. Одним из важных технико-экономических показателей электрической системы является потери мощности. При исследовании режимов системы необходимо учитывать влияние продольных и поперечных пассивных параметров схемы на значения потерь. Цель научного исследования: Оценка потерь мощности в электроэнергетической системе с помощью Z-матрицы. Рассчитать потери, оценить изменение потерь активной и реактивной мощности обусловленный продольными и поперечными пассивными параметрами ,схемы системы. Описание научной и практической значимости работы: Научная ценность работы: Введен новый подход к оценке потерь мощности, основанный на новых формулах расчета коэффициентов потерь, применении Z-матрицы обобщенных параметров. Практическая значимость: обеспечивает универсальность для расчета, анализа и оценки потерь мощности в питающих электрических сетях. Описание методологии исследования: Учитывая разные виды моделирования линии электропередач современных электроэнергетических систем, сложность сетевых схем, теорию матриц, численные методы решения уравнений режима системы, коэффициенты потерь - В, с помощью Z-матрицы была получена новая формула для расчета, оценки и структурирования потерь мощности. Основные результаты, выводы исследовательской работы: Исследование проводилось на макромоделе электроэнергетической системы Армении. Анализ показывает, что предложенные формулы применимы к питающим электрическим сетям. Оцениваются изменение собственных активных и реактивных сопротивлений Z-матрицы , взаимных активных и реактивных сопротивлений Z-матрицы, изменение коэффициентов потерь мощности обусловленный поперечными пассивными параметрами схемы системы. Ценность проведенного исследования (какой вклад данной работы в соответствующую отрасль знаний): Предложенный подход расширяет область применения обобщенных параметров при расчетах и анализе потерь мощности. Практическое значение итогов работы: Полученные новые формулы потерь мощностей позволяют комплексно проанализировать структуру потерь, выявить очаги, разработать организационно-технические меры по их снижению.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, обобщенный параметр, поперечный параметр, продольный параметр, потери мощности, матрица, норма.

**Аракелян В. П. Новий підхід до оцінки втрати потужності електроенергетичної системи з застосуванням Z-матриці.** Вступне слово про тему дослідження: При дослідженні режимів електроенергетичних систем розрізняють параметри режиму і схеми. Параметри схеми відносяться до узагальнених параметрами мережі. Вузлова Z-матриця власних і взаємних комплексних опорів є матрицею узагальнених параметрів. Параметри схеми системи діляться на активні і пасивні. Пасивні параметри - це поздовжні і поперечні параметри. Одним з важливих техніко-економічних показників електричної системи є втрати потужності. При дослідженні режимів системи необхідно враховувати вплив поздовжніх і поперечних пасивних параметрів схеми на значення втрат. Мета наукового дослідження: Оцінка втрат потужності в електроенергетичній системі за допомогою Z-матриці. Розрахувати втрати, оцінити зміна втрат активної та реактивної потужності обумовлений поздовжніми і поперечними пасивними параметрами, схеми системи. Опис наукової та практичної значущості роботи: Наукова цінність роботи: Введено новий підхід до оцінки втрат потужності, заснований на нових формулах розрахунку коефіцієнтів втрат, застосуванні Z-матриці узагальнених параметрів. Практична значимість: забезпечує універсальність для розрахунку, аналізу і оцінки втрат потужності в живильних електричних мережах. Опис методології дослідження: З огляду на різні види моделювання лінії електропередач сучасних електроенергетичних систем, складність мережевих схем, теорію матриць, чисельні методи рішення рівнянь режиму системи, коефіцієнти втрат - В, за допомогою Z-матриці була отримана нова формула для розрахунку, оцінки та структуризації втрат потужності . Основні результати, висновки дослідницької роботи: Дослідження проводилося на макромоделі електроенергетичної системи Вірменії. Аналіз показує, що запропоновані формули застосовні до живильних електричних мереж. Оцінюються зміна власних активних і реактивних опорів Z-матриці, взаємних активних і реактивних опорів Z-матриці, зміна коефіцієнтів втрат потужності обумовлений поперечними пасивними параметрами схеми системи. Цінність проведенного дослідження (який внесок даної роботи в відповідну галузь знань): Запропонований підхід розширює сферу застосування узагальнених параметрів при розрахунках і аналізі втрат потужності. Практичне значення результатів роботи: Отримані нові формули втрат потужностей дозволяють комплексно проаналізувати структуру втрат, виявити осередки, розробити організаційно-технічні заходи щодо їх зниження.

**Ключові слова:** електроенергетична система, узагальнений параметр, поперечний параметр, поздовжній параметр, втрати потужності, матриця, норма.

**Arakelyan V. P. A new approach to estimating power losses of an electric power system using Z- matrix.** Introductory speech on the research topic: When studying the modes of electric power systems, the parameters of the mode and the scheme are distinguished. Scheme parameters refer to generalized network parameters. The nodal Z-matrix of self and mutual impedances is a matrix of generalized parameters. System scheme parameters are divided into active and passive. Passive parameters are longitudinal and transverse parameters. One of the important technical and economic indexes of an electrical system is power losses. When studying

the system modes, it is necessary to take into account the influence of the longitudinal and transverse passive parameters of the circuit on the loss values. The purpose of scientific research: Estimation of power losses of an electric power system using the Z-matrix. Calculate losses, assess the change in active and reactive power losses due to longitudinal and transverse passive parameters of the system circuit. Description of scientific and practical significance of the work: Scientific value of the work: A new approach to assessing power losses was introduced, based on new formulae for calculating loss factors, using the Z-matrix of generalized parameters. Practical value: provides versatility for calculating, analyzing and evaluating power losses in transmission electrical networks. Description of the research methodology: Taking into account the different types of power line modeling of modern electric power systems, the complexity of network schemes, matrix theory, numerical methods for solving system mode equations, loss factors - B, using the Z-matrix, a new formula was obtained for calculating, evaluating and structuring power losses. Main results, conclusions of the research work: The research was carried out on a macromodel of the electric power system of Armenia. The analysis shows that the proposed formulae are applicable to transmission electrical networks. The change in the self active and reactive resistances of the Z-matrix, the mutual active and reactive resistances of the Z-matrix, the change in the power loss factors due to the transverse passive parameters of the system circuit are evaluated. The value of the conducted research (what contribution of this work to the relevant branch of knowledge): The proposed approach expands the field of application of generalized parameters in the calculations and analysis of power losses. Practical significance of the results of work: The obtained new formulae for power losses allow for a comprehensive analysis of the structure of losses, identification of hot spots, and development of organizational and technical measures to reduce them.

**Keywords:** electric power system, generalized parameter, transverse parameter, longitudinal parameter, power losses, matrix, norm.

**Постановка проблеми.** Неравномерное распределение энергоресурсов в мире требует экономного использования ресурсов. Развитие современной электроэнергетической системы сопровождается дополнительными потерями мощности и снижением пропускной способности сети [1]. С этой точки зрения актуальными становятся качественно новые подходы к расчету потерь мощности и структурированию. Необходимо оценить величину потерь как показатель эффективной работы системы, проанализировать ее структуру, выявить очаги, определить влияние обобщенных параметров сети, разработать организационные и технические мероприятия по снижению потерь, провести их нормирование. В настоящее время отсутствуют достаточно обоснованные формулы для определения структуры потерь по пассивной параметрам сети.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для расчета потерь мощности в электроэнергетических системах широко используются следующие методы и формулы [2-8].

Метод  $I^2 \cdot R$ .

$$P_p = 3 \cdot I^2 \cdot R. \quad (1)$$

где  $I$  - значение тока элемента системы,

$R$  - активное сопротивление элемента системы.

Метод В-коэффициентов потерь.

Простая формула:

$$P_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M P_i \cdot B_{ij} \cdot P_j. \quad (2)$$

Формула потерь Крона:

$$P_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M P_i \cdot B_{ij} \cdot P_j + \sum_{j=1}^M B_{0j} \cdot P_j + B_{00}. \quad (3)$$

где  $P_i, P_j$  - активные мощности  $i$  и  $j$  узлов электроэнергетической системы соответственно,

$B_{ij}, B_{0j}, B_{00}$  - коэффициенты потерь или В-коэффициенты.

Метод разницы генерации и нагрузок.

$$P_p = \sum_{i=1}^{M+1} P_{Gi} - \sum_{j=1}^k P_{Hj}. \quad (4)$$

где  $P_{Gi}$  - активная мощность  $i$ -го генерации,

$P_{Hj}$  - активная мощность  $j$ -го нагрузки.

Метод расчета перетоков в ЛЭП.

$$P_s = S'_{ij} + S''_{jl}. \quad (5)$$

где  $S'_{ij}, S''_{jl}$  - мощности начала и конца линии соответственно.

Формулы связи узловых токов и пассивных параметров системы.

$$P_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [(I_{pi} \cdot I_{pj} + I_{qi} \cdot I_{qj}) \cdot R_{ij}]. \quad (6)$$

$$P_Q = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [(I_{pi} \cdot I_{pj} + I_{qi} \cdot I_{qj}) \cdot X_{ij}]. \quad (7)$$

где  $I_{pi}, I_{pj}$  - действительные части узловых комплексных токов,

$I_{qi}, I_{qj}$  - мнимые части узловых комплексных токов,

$R_{ij}, X_{ij}$  - активные и реактивные сопротивления линии.

Структурировать потерь по параметрам пассивной сети с помощью формул представленных методов расчета потерь невозможно. Для этого необходимо усовершенствовать формулы расчета потерь с учетом Z-матрицы обобщенных параметров схемы сети.



Активные и реактивные мощности базисного узла системы определяются по формулам:

$$P_{0Б} = -U_{0Б} \cdot \sum_{i=1}^M I_{pi}. \quad (14)$$

$$Q_{0Б} = -U_{0Б} \cdot \sum_{i=1}^M I_{qi}. \quad (15)$$

Из уравнений баланса мощности электроэнергетической системы, потери активной и реактивной мощности определяются следующими выражениями:

$$P_P = \sum_{i=1}^M P_i + P_{0Б}. \quad (16)$$

$$P_Q = \sum_{i=1}^M Q_i + Q_{0Б}. \quad (17)$$

Подставляя формулы (12) (14) в выражение (16), для потерь активной мощности получаем:

$$P_P = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [(I_{pi} \cdot I_{pj} + I_{qi} \cdot I_{qj}) \cdot R_{ij}]. \quad (18)$$

Подставляя формулы (13) и (15) в выражение (17), для потерь реактивной мощности получаем:

$$P_Q = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [(I_{pi} \cdot I_{pj} + I_{qi} \cdot I_{qj}) \cdot X_{ij}]. \quad (19)$$

В уравнениях (18) (19), заменяя компоненты тока узловыми мощностями, модулем и аргументом напряжения, получаем [10].

$$P_P = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left\{ \frac{R_{ij}}{U_i \cdot U_j} \cdot [(P_i \cdot P_j + Q_i \cdot Q_j) \cdot \cos(\psi_{ui} - \psi_{uj}) + (P_j \cdot Q_i - P_i \cdot Q_j) \cdot \sin(\psi_{ui} - \psi_{uj})] \right\}. \quad (20)$$

$$P_Q = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left\{ \frac{X_{ij}}{U_i \cdot U_j} \cdot [(P_i \cdot P_j + Q_i \cdot Q_j) \cdot \cos(\psi_{ui} - \psi_{uj}) + (P_j \cdot Q_i - P_i \cdot Q_j) \cdot \sin(\psi_{ui} - \psi_{uj})] \right\}. \quad (21)$$

где  $U_i, U_j$ -соответственно модули напряжений узлов  $i$  и  $j$  системы,

$Q_i, Q_j$ - соответственно реактивные мощности узлов  $i$  и  $j$  системы,

$\psi_{ui}, \psi_{uj}$ - соответственно аргументы напряжений узлов  $i$  и  $j$  системы,

$R_{ij}$ -действительная часть (активные сопротивления)  $Z$ -матрицы,

$X_{ij}$ -мнимая часть (реактивные сопротивления)  $Z$ -матрицы.

Введем следующее обозначение:

$$K_{ij} = \frac{1}{U_i \cdot U_j} \cdot [(P_i \cdot P_j + Q_i \cdot Q_j) \cdot \cos(\psi_{ui} - \psi_{uj}) + (P_j \cdot Q_i - P_i \cdot Q_j) \cdot \sin(\psi_{ui} - \psi_{uj})]. \quad (22)$$

Принимая во внимание обозначения (22), формулы (20) и (21) принимают следующие формы:

$$P_P = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M K_{ij} \cdot R_{ij}. \quad (23)$$

$$P_Q = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M K_{ij} \cdot X_{ij}. \quad (24)$$

где  $K_{ij}$ -называется коэффициентом потерь обусловленный продольными и поперечными пассивными параметрами линии.

В электрической системе с учетом только пассивных продольных параметров линий электропередач, уравнения (23) и (24) будут иметь следующие виды:

$$P_P^{np} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M K_{ij}^{np} \cdot R_{ij}^{np}. \quad (25)$$

$$P_Q^{np} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M K_{ij}^{np} \cdot X_{ij}^{np}. \quad (26)$$

Где  $K_{ij}^{np}$ -называется коэффициентом потерь обусловленный продольными пассивными параметрами линии,

$R_{ij}^{np}, X_{ij}^{np}$ -соответственно активные и реактивные сопротивления  $Z$ -матрицы обусловлены продольными пассивными параметрами схемы системы.

Оценим изменение  $Z$ -матрицы. Запишем вектор комплексных собственных сопротивлений  $Z$ -матрицы, обусловленных продольными и поперечными пассивными параметрами линии:

$$Z_{сoб} = \text{diag}(Z) = [Z_{11}, Z_{22}, \dots, Z_{MM}]. \quad (27)$$

Вектор собственных комплексных сопротивлений  $Z$ -матрицы, обусловленных продольными пассивными параметрами линии, будет:

$$Z_{сoб}^{np} = \text{diag}(Z^{np}) = [Z_{11}^{np}, Z_{22}^{np}, \dots, Z_{MM}^{np}]. \quad (28)$$

Векторы взаимных комплексных сопротивлений  $Z$ -матрицы, будут:

$$Z_{вз} = [Z_{12}, \dots, Z_{1M}, Z_{21}, \dots, Z_{2M}, Z_{M1}, \dots]. \quad (29)$$

$$Z_{вз}^{np} = [Z_{12}^{np}, \dots, Z_{1M}^{np}, Z_{21}^{np}, \dots, Z_{2M}^{np}, Z_{M1}^{np}, \dots]. \quad (30)$$

Запишем векторы изменения собственных и взаимных комплексных сопротивлений следующим образом:

$$\Delta Z_{сoб} = Z_{сoб} - Z_{сoб}^{np}, \quad (31)$$

$$\Delta Z_{вз} = Z_{вз} - Z_{вз}^{np}. \quad (32)$$

Разделив действительные и мнимые части выражений (31) и (32), для изменения активных и реактивных сопротивлений, получим:

$$\Delta R_{\text{сoб}} = \text{Re}(\Delta Z_{\text{сoб}}), \quad (33)$$

$$\Delta X_{\text{сoб}} = \text{Im}(\Delta Z_{\text{сoб}}), \quad (34)$$

$$\Delta R_{\text{вз}} = \text{Re}(\Delta Z_{\text{вз}}), \quad (35)$$

$$\Delta X_{\text{вз}} = \text{Im}(\Delta Z_{\text{вз}}), \quad (36)$$

Изменение Z-матрицы оценивается евклидовой нормой векторов изменения активного и реактивного сопротивлений [11], т.е.

$$\|\Delta R_{\text{сoб}}\|_2 = \sqrt{\sum_{i,j}^M |\Delta R_{ij}|^2}, \quad (37)$$

$$\|\Delta X_{\text{сoб}}\|_2 = \sqrt{\sum_{i,j}^M |\Delta X_{ij}|^2}, \quad (38)$$

$$\|\Delta R_{\text{вз}}\|_2 = \sqrt{\sum_{i,j}^M |\Delta R_{ij}|^2}, \quad (39)$$

$$\|\Delta X_{\text{вз}}\|_2 = \sqrt{\sum_{i,j}^M |\Delta X_{ij}|^2}. \quad (40)$$

Оценим изменение коэффициентов потерь. Представим матрицу изменения коэффициентов потерь в следующем виде:

$$\Delta K = K - K^{\text{пр}}. \quad (41)$$

Изменение K-матрицы оценивается евклидовой нормой матрицы потерь [11], т.е.

$$\|\Delta K\|_2 = \sqrt{\sum_{i,j}^M |\Delta K_{ij}|^2}. \quad (42)$$

Исследование проводилось для макромодели ЭЭС Армении. Для решения уравнений установившегося режима применяется метод простой итерации. Результаты исследований представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1

$Z_{\text{сoб}}$ - векторы матрицы

$Z_{\text{сoб}}$	$Z_{11}$	$Z_{22}$	$Z_{33}$	$Z_{44}$
Значение, Ом	0.7384+j4.1031	.1206+j6.1466	0.4986+j2.3858	0.6257+j3.3042
$Z_{\text{сoб}}^{\text{пр}}$	$Z_{11}^{\text{пр}}$	$Z_{22}^{\text{пр}}$	$Z_{33}^{\text{пр}}$	$Z_{44}^{\text{пр}}$
Значение, Ом	0.7334+j4.0905	1.1130+j6.1270	0.4954+j2.3787	0.6210+j3.2924

Таблица 2

$Z_{\text{вз}}$ -векторы матрицы

$Z_{\text{вз}}$	Значение, Ом	$Z_{\text{вз}}^{\text{пр}}$	Значение, Ом
$Z_{12}$	0.6212+j3.2827	$Z_{12}^{\text{пр}}$	0.6153+j3.2679
$Z_{13}$	0.5654+j2.2003	$Z_{13}^{\text{пр}}$	0.4615+j2.1912
$Z_{14}$	0.6045+j3.1721	$Z_{14}^{\text{пр}}$	0.5997+j3.1600
$Z_{23}$	0.4808+j2.2833	$Z_{23}^{\text{пр}}$	0.4762+j2.2724
$Z_{24}$	0.6243+j3.2916	$Z_{24}^{\text{пр}}$	0.6185+j3.2771
$Z_{34}$	0.4820+j2.2920	$Z_{34}^{\text{пр}}$	0.4785+j2.2830

Таблица 3

Элементы K-матрицы,  $A^2$ .  $P_p = 16.3366$  МВт,  $P_Q = 81.4332$  Мвар

$K_{ij}$	1	2	3	4
1	1.7697	2.8402	-6.8121	-4.5968
2	2.8402	4.5601	-10.9187	-7.3682
3	-6.8121	-10.9187	26.495	17.8758
4	-4.5968	-7.3682	17.8758	12.0607

Таблиця 4

Елементи  $K^{np}$ -матриці,  $A^2$ .  $P_p=16.2605$  МВт,  $P_Q=81.2469$  Мвар

$K_{ij}^{np}$	1	2	3	4
1	1.7687	2.8391	-6.8097	-4.5951
2	2.8391	4.5582	-10.9148	-7.3654
3	-6.8097	-10.9148	26.4869	17.8698
4	-4.5951	-7.3654	17.8698	12.0562

**Выводы**

1. Изменение собственных активных и реактивных сопротивлений Z-матрицы, вызванное поперечными пассивными параметрами схемы ЭЭС, составляет:  $\|\Delta R_{\text{сoб}}\|_2=0.68\%$ ,  $\|\Delta X_{\text{сoб}}\|_2=0.37\%$ .

2. Изменение взаимных активных и реактивных сопротивлений Z-матрицы вызванное поперечными пассивными параметрами схемы ЭЭС, составляет:  $\|\Delta R_{\text{вз}}\|_2=0.88\%$ ,  $\|\Delta X_{\text{вз}}\|_2=0.42\%$ .

3. Изменение коэффициентов потерь мощности вызванное поперечными пассивными параметрами схемы ЭЭС, составляет:  $\|\Delta K\|_2=0.03\%$ , изменение потерь активной мощности:  $\Delta P_p=0.47\%$ , изменение потерь реактивной мощности:  $\Delta P_Q=0.23\%$ .

4. Полученные новые формулы для потерь мощности позволяют рассчитывать, оценивать и структурировать потери в питающих сетях по пассивным параметрам схемы системы.

**Перспективы дальнейших исследований**

1. Исследование расчета потерь мощности в системообразующих электрических сетях с учетом поперечных пассивных параметров ЛЭП.

2. Разработка новых формул потерь мощности с учетом коэффициентов трансформации

**Список бібліографічного опису**

1. Фурсанов М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. Мн.: УВИЦ при УП «Белэнергосбережение», 2005. 208с.
2. Anumaka M.C. Analysis of technical losses in electrical power system (Nigerian 330KV Network as a case study). *IJRAS* 2012.12(2). pp.320-327.
3. Zhu Jizhong Optimization of power system operation. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2009. 603p.
4. Al-Majeed Ekbal Abd Designing Program for Economic of Operation Power System. *Journal of Babylon University. Pure and Applied Sciences*. 2011. No (3). Vol. (19). P. 1169-1183.
5. Kothari D.P., Dhillon J.S. Power System optimization. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited, 2007. 572p.
6. Lenin K., Ravindranath Reddy B., and Surya Kalavathi M. Dwindling of real power loss by using Improved Bees Algorithm. *International Journal of Recent Research in Electrical and Electronics Engineering (IJRREEE)* Vol. 1. Issue 1. P. 34-42. Month: April - June 2014, pp. 34-42.
7. Sarath Babu G., Anupama S., Suresh Babu P. Economic Load Dispatch Solution Including Transmission Losses Using MOPSO. *International Journal of Engineering Research and Development*. Vol. 9, Iss. 11. P. 15-23.
8. Daniel J.S., Salgado R.S. and Irving M.R. Transmission loss allocation through a modified Ybus. *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.* 2005. Vol. 152, No. 2. P.208-214.
9. Аракелян В.П. Оценка падения напряжения в электроэнергетической системе с применением Z- матрицы нового типа. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Київ, 2019. Т.30 (69) Ч. 2 № 4. С.1-5.
10. Аракелян В.П. Новая формула для расчета потерь активной мощности электроэнергетической системы с применением модифицированной Z-матрицы. *ВИАА*. 2017. Т.14, № 2. С.231-233.
11. Gentle James E. Matrix Algebra. Theory, Computations and Applications in Statistics. Switzerland: Second Edition, Springer Texts in Statistics, 2017. 648 p.

#### References

1. Fursanov, M.I. (2005). Determination and analysis of electricity losses in electrical networks of power systems. Minsk: UVITS at UE "Belenergoberezhnie", 208p.
2. Anumaka, M. C. (2012). Analysis of technical losses in electrical power system (Nigerian 330kV network as a case study). *Department Of Electrical Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Imo State University, Owerri, Imo State, Nigeria*, 320-327.
3. Zhu, J. (2015). *Optimization of power system operation*. John Wiley & Sons.
4. Al-Majeed Ekbal Abd (2011). Designing Program for Economic of Operation Power System. *Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences*, (3)(19), 1169-1183.
5. Kothari D.P., Dhillon J.S. (2007). *Power System optimization*. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.
6. Lenin K., Ravindranath Reddy B., and Surya Kalavathi M. (2014). Dwindling of real power loss by using Improved Bees Algorithm. *International Journal of Recent Research in Electrical and Electronics Engineering (IJRREEE)* Vol. 1, Issue 1. P. 34-42.
7. Sarath Babu G., Anupama S., Suresh Babu P. (2014). Economic Load Dispatch Solution Including Transmission Losses Using MOPSO. *International Journal of Engineering Research and Development*. Vol. 9, Iss. 11. P. 15-23.
8. Daniel J.S., Salgado R.S. Irving M.R. (2005). Transmission loss allocation through a modified  $Y_{bus}$ . *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.* Vol. 152, No. 2. P.208-214.
9. Arakelyan V.P. (2019). Evaluation of the voltage drop in the electric power system using Z-matrices of a new type. *Introductory notes from TNU named V.I. Vernadsky. Series: technical sciences*, 30 (69), 4, 1-5.
10. Arakelyan V.P. (2017). New formula for calculating active power losses of an electric power system using a modified Z-matrix. *VIAA*, 14(2), 231-233.
11. Gentle James E. (2017). *Matrix Algebra. Theory, Computations and Applications in Statistics*. Switzerland: Second Edition, Springer Texts in Statistics.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-03>

УДК 004.4'24

**Безкостна Катерина Петрівна**, студентка**Гришанович Тетяна Олександрівна**, канд. фіз.-мат. наук, старший викладач<https://orcid.org/0000-0002-3595-6964>**Глинчук Людмила Ярославівна**, канд. фіз.-мат. наук, доцент<https://orcid.org/0000-0002-8943-9604>**Булатецький Віталій Вікторович**, канд. фіз.-мат. наук, доцент<https://orcid.org/0000-0002-9883-4550>

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

## РОЗРОБКА РОЗШИРЕННЯ ДО БРАУЗЕРА GOOGLE CHROME ДЛЯ БЛОКУВАННЯ ГРАФІЧНОГО КОНТЕНТУ

**Безкостна К. П., Гришанович Т. О., Глинчук Л. Я., Булатецький В. В.** Розробка розширення до браузера Google Chrome для блокування графічного контенту. У роботі розглянуто питання, що стосуються процесу розробки розширення до браузера, яке блокуватиме контент за певною ознакою. Для блокування графічного контенту використано бібліотеку NSFW.js, яка у свою чергу використовує відкриту програмну бібліотеку для машинного навчання TensorFlow. Розроблено розширення для браузера Google Chrome, що блокує графічні зображення, які потрапляють під категорію 18+. При розробці використані HTML, CSS, JavaScript.

**Ключові слова:** NSFW, TensorFlow, Google Chrome, розширення для браузера, фреймворк, машинне навчання, графічні зображення, растрові зображення.

**Безкостная К. П., Гришанович Т. А., Глинчук Л. Я., Булатецкий В. В.** Разработка расширения к браузеру Google Chrome для блокировки графического контента. В работе рассмотрены вопросы, касающиеся процесса разработки расширения для браузера, которое будет блокировать контент по определенному признаку. Для блокировки графического контента использовано библиотеку NSFW.js, которая в свою очередь использует открытую программную библиотеку для машинного обучения TensorFlow. Разработано расширение для браузера Google Chrome, что блокирует графические изображения, попадающие под категорию 18+. При разработке использованы HTML, CSS, JavaScript.

**Ключевые слова:** NSFW, TensorFlow, Google Chrome, расширение для браузера, фреймворк, машинное обучение, графические изображения, растровые изображения.

**Beskostna K. P., Hryshanovych T. O., Hlynchuck L. Y., Bulatetsky V. V.** Development of Google Chrome browser extension for blocking graphic content. The paper considers the main issues related to the process of developing a browser extension for blocking content on a certain basis. To block graphic content the NSFW.js library was used. NSFW.js uses the open software library for machine learning TensorFlow. Google Chrome browser extension for blocking content that fall into the 18+ category was developed. HTML, CSS, JavaScript were used in the extension development.

**Ключевые слова:** NSFW, TensorFlow, Google Chrome, browser extensions, framework, machine learning, images, raster images.

**Постановка проблеми та аналіз досліджень.** NSFW (not safe for work, not suitable for work) — це термін, який застосовується до контенту (веб-сайти, вкладення електронної пошти), що є неприйнятним для перегляду на робочому місці. [1] Даний контент не обов'язково блокується. Якщо такі соціальні мережі, як Instagram, Facebook і Tumblr жорстко цензурують своїх користувачів, Reddit дозволяє опційно вмикати/вимикати режим NSFW, то, наприклад, Twitter має анонімні аккаунти, що публікують заборонені матеріали. Крім того, соціальні мережі є не єдиним способом поширення контенту, що вважається забороненим, для цього використовуються і веб-сайти. Якщо мова йде про обмеження контенту для неповнолітніх, то для цього можуть бути використані, або вбудовані можливості операційної системи, або додаткові сервіси. Наприклад, значного поширення наразі набув засіб FamilyLink від Google [2]. Але він орієнтований на операційну систему Android та не дозволяє переглядати історію пошуку браузера. З цієї причини постає потреба у розробці програмного засобу, що дозволяв би не лише приховати зображення, але й зберігав би їх у історії пошуку. Найефективнішим вирішенням цієї проблеми може бути розробка розширення для браузера, оскільки такі програмні засоби не вимагають встановлення, інформують (за допомогою графічних елементів на панелі навігації) користувача, що його контент піддається обмеженню. Якщо розглядати найпопулярніший браузер — Google Chrome (за даними статистики сайту StatCounter [3], браузер Chrome є абсолютним лідером за популярністю у світі, а його ринкова частка у світі серед найпопулярніших веб-оглядачів на всіх платформах у лютому 2021 склала 63,63%), то розробка розширення для нього є обґрунтованою. Кожна вкладка у ньому є окремим процесом і розширення можна застосовувати для кожної вкладки окремо.

**Метою роботи** є дослідження механізмів блокування зображень на основі заданих характеристик та розробка розширення для браузера Google Chrome, який блокуватиме графічний контент, що відноситься до категорії 18+ або до категорії забороненого чи неприйняттого. При цьому неприйнятні зображення не повинні видаленими із історії пошуку. Розширення для браузера повинно знаходити всі зображення на веб-сторінці, перехоплювати їх та блокувати до завершення перевірки на заборонений контент, після чого показувати лише дозволені зображення. З метою інформування користувача про роботу розширення браузера його логотип повинен відображатись на панелі додатків та розширень, а блокування забороненого зображення повинно відбуватись за допомогою відповідного стилю в CSS, що виконує розмиття по Гаусу. Також користувач повинен мати можливість увімкнути та вимкнути розширення. Така програмна розробка може бути використана для обмеження перегляду графічного контенту за допомогою браузера на персональних комп'ютерах, які використовуються в офісних приміщеннях, у комп'ютерних класах навчальних закладів та закладів позашкільної освіти, а також на домашніх персональних комп'ютерах.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Для написання розширення до браузера Google Chrome для блокування неприйняттого графічного контенту, використовували мову програмування JavaScript (JS), мову розмітки гіпертексту – HTML та таблицю каскадних стилів – CSS. В якості середовища розробки було вибрано комерційне крос-платформне інтегроване середовище JetBrains PhpStorm. PhpStorm розроблений на основі платформи IntelliJ IDEA, написаної на Java. [4] Крім того, користувачі мають можливість розширити функціональність середовища розробки за рахунок установки плагінів, розроблених для платформи IntelliJ, або написавши власні плагіни.

Головним файлом для розширення є «manifest», в якому прописується версія, назва, взаємозв'язок файлів, різного роду налаштування, тощо.

Використовуючи manifest.json, визначаються основні метадані про розширення, такі як ім'я та версія. Також можна визначити деякі аспекти функціональності (такі, як фонові скрипти, постійні скрипти та дії браузера).

Маніфести веб-додатків є частиною колекції веб-технологій, які називаються прогресивними веб-програмами (PWA). Це веб-сайти, що можна встановити на робочий екран. На відміну від звичайних веб-програм із простими посиланнями на головний екран або закладками, PWA можна завантажувати заздалегідь і працювати в автономному режимі, а також використовувати звичайні веб-API.

#### **Частина коду файлу manifest.json:**

```
"manifest_version": 2,  
  "name": "07",  
  "version": "0.0",  
  "background": {  
    "persistent": false,  
    "scripts": ["background.js"]  
  },  
  "permissions": [  
    "activeTab",  
    "storage"  
  ],  
  "content_scripts": [{  
    "matches": ["https://*/", "http://*/"],  
    "js": ["content.js"]  
  }],  
  "content_security_policy": "script-src 'unsafe-eval' https://*; script-src-elem 'self' http://*; object-src 'self'",  
  "browser_action": {  
    "default_title": "07",  
    "default_popup": "popup.html"  
  }  
}
```

Саме файл маніфесту зв'язує три основні скриптові файли та описує взаємодію між ними:

- фоновий файл (background.js), який використовується для обміну повідомленнями між розширенням і сторінкою браузера;
- файл, що працює безпосередньо з html-сторінкою (popup.js), взаємодіє із усіма іншими файлами через фоновий;
- файл скрипту, що виявляє заборонене зображення та приховує його.

Для ідентифікації зображень було використано бібліотеку NSFWJS. [5] Це JS-бібліотека, що дозволяє швидко ідентифікувати зображення, що є неприйнятним. Ця бібліотека класифікує з певною ймовірністю зображення в 5 класах.

Використати NSFWJS можна двома способами: із використанням синхронної або асинхронної функцій.

Приклад використання бібліотеки із використанням асинхронної функції продемонстровано нижче:

```
import * as nsfwjs from 'nsfwjs'

const img = document.getElementById('img')

// Load model from my S3.
// See the section hosting the model files on your site.
nsfwjs.load()
  .then(function (model) {
    // Classify the image
    return model.classify(img)
  })
  .then(function (predictions) {
    console.log('Predictions: ', predictions)
  })
```

Перед тим, як класифікувати довільне зображення, слід завантажити модель. Потрібно використати опційно перший параметр та завантажити модель із сайту. За замовчуванням використовується зображення розмірністю 224x224. У випадку, якщо використовується зображення іншого розміру, то цей розмір слід вказати в якості параметру.

```
const model = nsfwjs.load('/path/to/different/model/', { size: 299 })
```

Результатом роботи функції nsfwjs.load() є готова NSFW модель для аналізу. Варто зауважити, що URL до каталогу model.json та розмір зображення не є обов'язковими.

Класифікація зображення здійснюється функцією classify(), що приймає на вхід довільні зображення, доступні у браузері (<img>, <video>, <canvas>) і повертає масив із найімовірніших прогнозів та їх рівень довіри. Результатом роботи такої функції є масив об'єктів, що містять ім'я класу (className) та ймовірність (probability), з якою зображення відноситься саме до цього класу. Розмірність масиву задається другим параметром функції.

Наприклад,

```
const predictions = await model.classify(img, 3)
```

Описана функція classify() повертає список із 3 найбільш ймовірних припущень у класифікації, замість усіх 5.

Для класифікації зображень бібліотека NSFW використовує TensorFlow. [6] Це відкрита програмна бібліотека для машинного навчання, що була розроблена компанією Google для систем, що будують та тренують нейронні мережі для виявлення та розшифрування образів та кореляцій. Згодом TensorFlow була випущена під відкритою ліцензією.

Зокрема, у бібліотеці NSFW використано модель MobileNet із TensorFlow. MobileNet – це набір невеликих моделей з низькою затримкою та малою потужністю, параметризовані для роботи із обмеженими ресурсами. Їх можна використовувати для класифікації, виявлення, вбудовування та сегментації, подібно до того, як використовуються інші популярні великомасштабні моделі. [7] MobileNets є компромісом між затримкою в отриманні результату та точністю (у порівнянні з іншими моделями).

Після виявлення зображення, що містить заборонений контент, до нього застосовується стиль CSS для приховування – розмиття.

Фільтр розмиття по Гаусу досить часто застосовується сам по собі, або як частина інших алгоритмів обробки зображень. Якщо вихідне зображення буде задано яскравістю  $x(m, n)$ , то гаусове розмиття з радіусом  $r$  обчислюється за формулою:

$$y(m, n) = \frac{1}{2\pi r^2} \sum_{u,v} e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2r^2}} x(m+u, n+v)$$

Межі підсумовування по  $u$  і  $v$  можна вибирати залежно від потреб, тобто радіусів  $r$ , що дає складність алгоритму порядку  $O(r^2)$  операцій на піксель.

Перше прискорення дає властивість сепарабельного гаусового розмиття. Тобто, можна провести фільтрацію по осі  $x$  для кожного рядка зображення, отримане зображення відфільтрувати по  $y$  по кожному стовпці й отримати той же результат зі складністю  $O(r)$  операцій на піксель.

Безпосередньо у CSS розмиття по Гаусу задає функція `blur()`. Її можна застосовувати до тексту, фону та зображення.

Наприклад, `filter: blur(<розмір>);` В якості параметру вказують радіус розмиття. Воно задається у довільних одиницях, доступних в CSS. Чим більшим є значення, тим сильніше буде розмито зображення.

Для доступу до активної вкладки браузера та завантаження бібліотеки NSFWJS були використані наступні функції:

```
window.onload = function () {
  document.getElementById('blocked').addEventListener('click', () => {
    chrome.tabs.executeScript(null, {file: 'ns.min.js'}, function () {
      chrome.tabs.executeScript(null, {file: 'content.js'});
    });
  });
}
```

Як було вказано, для виявлення небажаного контенту було використовували бібліотеку NSFWJS. Нижче наведено приклад коду з файлу `content.js`, використання даної бібліотеки.

```
import * as nsfwjs from 'nsfwjs'
const img = document.getElementById('img')
nsfwjs.load().then(function(model){
  model.classify(img).then(function(predictions){
    //classify the image
    console.log('Predictions: ', predictions)
  }).catch ((error) => {
    console.log(error)
  })
}).then (()=>{
  console.log(true)
})
```

В результаті отримуємо масив з класами — «predictions».

Наприклад (наведений нижче масив — результуючий для зображень, що продемонстровані на рис. 1):

```
[
  0: {className: "Drawing", probability: 0.9267179369926453}
  1: {className: "Neutral", probability: 0.06084055081009865}
  2: {className: "Hentai", probability: 0.010560917668044567}
  3: {className: "Porn", probability: 0.0016473248833790421}
  4: {className: "Sexy", probability: 0.00023318850435316563}
]
```

Перед тим як перевірити зображення на заборонений вміст, його потрібно закодувати. Слід передати до активної вкладки бібліотеку NSFWJS та js файл з алгоритмами — `content.js`.

У файлі `content.js` ми вже маємо доступ до активної вкладки. Спершу знаходимо на html-сторінці всі теги `<img>`, `<canvas>`, `<video>` та блокуємо поки програма їх не перевірить. Знайдені зображення та відео кодуємо у формат Base64.

У програмуванні Base64 — це група схем кодування двійкового тексту, які представляють двійкові дані у форматі рядка ASCII, перекладаючи їх у представлення `radix-64`. Термін Base64 походить від конкретного кодування передачі вмісту MIME. Кожна не остаточна цифра Base64 представляє рівно 6 біт даних. Отже, три байти (тобто загалом 24 біти) можуть бути подані чотирма 6-бітовими числами Base64. [8]

```
function toDataURL(url, callback) {
  let xhr = new XMLHttpRequest();
  xhr.onload = function () {
    let reader = new FileReader();
    reader.onloadend = function () {
      callback(reader.result);
    }
    reader.readAsDataURL(xhr.response);
  };
  xhr.open('GET', url);
  xhr.responseType = 'blob';
  xhr.send();
}
```

Після кодування зображень, застосовується функція для їх розмиття.

```
for (let i in images) {
  if (images.hasOwnProperty(i)) {
    images[i].style.filter = 'blur(20px)';
  }
}
```

Далі програма перевіряє чи є зображення допустимим. Якщо відсотки вмісту забороненого контенту відповідають умовам, то зображення розблокується.

```
nsfwjs.load().then(function (model) {
  for (let i in images) {
    if (images.hasOwnProperty(i)) {
      model.classify(images[i], 2).then(function (predictions) {
        let unblock = false;
        if (predictions[0].className === 'Neutral' &&
            Math.floor(predictions[0].probability * 100) > 93) {
          unblock = true;
        } else if (predictions[0].className === 'Porn') {
          if (Math.floor(predictions[0].probability * 100) < 30) {
            unblock = true;
          }
        } else if (predictions[0].className === 'Hentai' &&
            Math.floor(predictions[0].probability * 100) < 30) {
          unblock = true;
        } else if (predictions[0].className === 'Sexy' &&
            Math.floor(predictions[0].probability * 100) < 75) {
          unblock = true;
        } else if (predictions[0].className === 'Drawing') {
          unblock = true;
        }
        if (unblock) {
          images[i].style.filter = 'blur(0)';
        } else {
          console.log(images[i], predictions)
        }
      })
    }
  }
})
```

В результаті отримуються зображення, які приховуються від користувача браузера, але залишаються в історії пошуку.

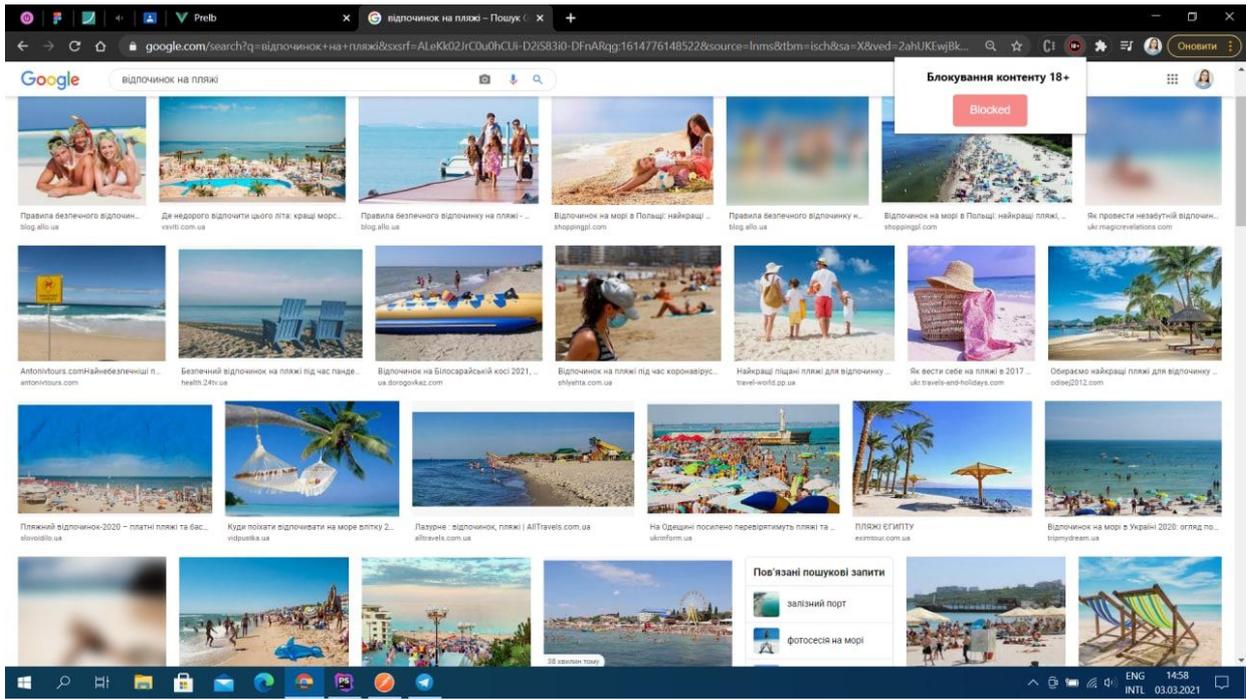


Рисунок 1 – Результат застосування розширення для браузера Google Chrome для блокування контенту

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** У роботі було спроектовано та розроблено розширення для браузера Google Chrome, що здійснює блокування растрового графічного контенту. При реалізації було використано наступні засоби розробки: JavaScript, PHP, HTML, CSS, середовище розробки JetBrains PhpStorm та бібліотека NSFWJS, що застосовувалась з метою виявлення контенту з небажаним вмістом. Така програмна розробка може бути використана для обмеження перегляду графічного контенту за допомогою браузера на домашніх персональних комп'ютерах та тих, що надаються роботодавцем, у навчальних закладах, закладах позашкільної освіти. При чому зображення не будуть приховані або видалені із історії перегляду браузера.

#### Список бібліографічного опису

1. Definition of NSFW [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.merriam-webster.com/dictionary/NSFW>.
2. FamilyLink. Допоможіть дитині освоїтись у світі цифрових технологій [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://families.google.com/intl/ru/familylink/>.
3. Browser Market Share Worldwide [Електронний ресурс]. - Режим доступу <https://gs.statcounter.com/browser-market-share>.
4. Chaudhary M. PHPStorm Cookbook / Mukund Chaudhary, Ankur Kumar. – М : Книга по Требованию, 2014. – 254 с.
5. NSFWJS. Client-side indecent content checking [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://github.com/infinitered/nsfwjs/blob/master/README.md>.
6. TensorFlow for JavaScript [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.tensorflow.org/js/tutorials>. Назва з екрану.
7. tensorflow / tfjs-models. MobileNet [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://github.com/tensorflow/tfjs-models/tree/master/mobilenet>.
8. Harnes R. Pro JavaScript Design Patterns / Dustin Diaz, Ross Harnes. – Apress, 2008. – 269 с.

#### References

1. Definition of NSFW [online]. – Available from: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/NSFW>.
2. FamilyLink. Dopomozhit' dytni osvoitys' u sviti tsyfrovyyh tehnologiy [online] / Rezhym dostupu <https://families.google.com/intl/ru/familylink/>.
3. Browser Market Share Worldwide [online]. - Available from: <https://gs.statcounter.com/browser-market-share>.
4. Chaudhary M. PHPStorm Cookbook / Mukund Chaudhary, Ankur Kumar. – Packt Publishing, 2014. – 254 p.
5. NSFWJS. Client-side indecent content checking [online]. – Available from: <https://github.com/infinitered/nsfwjs/blob/master/README.md>.
6. TensorFlow for JavaScript [online]. – Available from: <https://www.tensorflow.org/js/tutorials>.
7. tensorflow / tfjs-models. MobileNet [online]. – Available from: <https://github.com/tensorflow/tfjs-models/tree/master/mobilenet>.
8. Harnes R. Pro JavaScript Design Patterns / Dustin Diaz, Ross Harnes. – Apress, 2008. – 269 с.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-04>

УДК: 629.78.048.3

**Булавка Сергій Сергійович**, аспірант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Машинобудівний навчально-науковий інститут, кафедра кондиціонування і рефрижерації, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДСТАРТОВОЇ СИСТЕМИ ТЕРМОСТАТУВАННЯ ПОВІТРЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

**Булавка С. С. Підвищення ефективності передстартової системи термостатування повітря космічних апаратів.** У роботі було запропоновано модифіковані структурні схеми передстартової системи термостатування повітря космічних апаратів для підвищення її ефективності та виконано порівняльну оцінку. Теоретичні результати, отримані для передстартової системи термостатування повітря космічних апаратів показали, що розроблені структурні схеми мають більшу ефективність роботи у порівнянні з існуючою, оскільки відхилення значень розподілення градієнту температур за довжиною по осі при температурі зовнішнього середовища в 20 і 30°C не перевищує 16,7%. Отримані результати вказують на доцільність в застосуванні запропонованої модифікованої схеми передстартової системи термостатування повітря з підпірним дроселем та фільтрами грубого і тонкого очищення.

**Ключові слова:** космічні апарати, передстартова система термостатування, ефективність, ракети-носії, підпірний дросель, фільтри грубого і тонкого очищення

**Булавка С.С. Повышение эффективности предстартовой системы термостатирования воздуха космических аппаратов.** В работе предложены модифицированные структурные схемы предстартовой системы термостатирования воздуха космических аппаратов для повышения ее эффективности и выполнено сравнительную оценку. Теоретические результаты, полученные для предстартовой системы термостатирования воздуха космических аппаратов показали, что разработанные структурные схемы имеют большую эффективность работы по сравнению с существующей, поскольку отклонения значений распределения градиента температур по длине оси при температуре окружающей среды в 20 и 30°C не превышают 16,7%. Полученные результаты указывают на целесообразность в применении предложенной модифицированной схемы предстартовой системы термостатирования воздуха с подпорным дроселем и фильтрами грубой и тонкой очистки.

**Ключевые слова:** космические аппараты, предстартовая система термостатирования, эффективность, ракеты-носители, подпорный дросель, фильтры грубой и тонкой очистки

**Bulavka S. S. Improving the efficiency of the pre-launch thermostat system the air of spacecraft.** The paper proposes modified structural diagrams of the prelaunch thermostat system the air of spacecraft to increase its efficiency and makes a comparative assessment. Theoretical results obtained for the pre-launch thermostat system the air of spacecraft showed that the developed structural schemes have greater efficiency compared to the existing one, since the deviations of the distribution of the temperature gradient along the axis at an ambient temperature of 20 and 30°C do not exceed 16.7 % The results obtained indicate the feasibility in applying the proposed modified scheme of the pre-launch thermostat system the air with a retaining choke and coarse and fine filters.

**Keywords:** spacecraft, pre-launch thermostat system, efficiency, launch vehicles, booster throttle, coarse and fine filters.

**Постановка проблеми.** Космічна галузь України потребує забезпечення конкурентоспроможності розробляємих космічних ракетних комплексів (КРК) з використанням ракет-носіїв (РН) на світовому ринку космічних послуг. РН розглядаються як потенційні носії відповідно до національних програм України та інших держав для реалізації супутникових програм і систем. Одним з найважливіших завдань є забезпечення збереженості і працездатності космічного апарату (КА) на всіх етапах його виведення в космос: при транспортуванні з монтажно-випробувального комплексу до стартового майданчика, при підготовці до старту і під час польоту РН на активній ділянці траєкторії. Складовою частиною цієї проблеми є створення комфортних температурних умов для КА. У всіх випадках збереження КА забезпечується огорожею від впливу на нього теплових і газодинамічних навантажень за допомогою головного обтічника відсіку КА. Крім того в наземних умовах температурний режим у відсіку КА підтримується за допомогою системи термостатування (СТС), що здійснює примусову вентиляцію в відсіку [2, 3]. Досвід комерційного використання РН [2-5] показав, що в зв'язку з вимогою створення більш комфортних умов для сучасних КА виникали завдання по доопрацюванням і модернізації штатних СТС. Все більш активне використання РН в рамках комерційних проектів, їх модернізація в частині збільшення розмірів відсіку КА, створення нових РН обумовлюють актуальність нового підходу до проблем модернізації та розробки систем термостатування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз конструктивних особливостей існуючих відсіків КА показує, що ці системи розроблялися для роботи з герметичними апаратами, коли в

відсіку здійснюється тільки контроль температурно-вологісного режиму. Термостатне повітря у відсіку КА подається через щілинні газоводи, що формують інтенсивні пристінні струмені, швидкість яких на виході з щілинних колекторів досягає 12...16 м/с. Основна маса повітря рухається в пристінних струменях повз КА, потім розгортається в місці зіткнення струменів і рухається уздовж корпусу головного обтічника до вихідних отворів на його конічній частині [4, 5]. Поблизу поверхонь КА створюються значні застійні області, в яких практично відсутня швидкість руху повітря. У цих умовах коефіцієнти конвективної тепловіддачі з поверхні КА мають значення на рівні природної конвекції ( $3...5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\text{K}^{-1}$ ), і завдання стабілізації температури КА здійснюється за рахунок збільшення подачі термостатного повітря в відсік і теплознімання пристінними струменями [6, 7]. У той же час поверхні вузлів КА, що знаходяться в зоні пристінних струменів, можуть піддаватися значному газодинамічному впливу термостатного повітря ( $V > 3-4 \text{ м/с}$ ).

Працездатність сучасних негерметичних КА, що виготовляються з матеріалів з невисокими механічними характеристиками, в значній мірі буде залежати від інтенсивності впливу на нього навколишнього середовища в відсіку [2-5]. Тому в відсіку повинні забезпечуватися комфортні умови для КА: низький рівень теплового і газодинамічного впливу на КА за рахунок зниження в 1,5...2 рази теплотоку на КА в порівнянні з існуючими нормами при одночасному обмеженні швидкості термостатного повітря поблизу поверхні КА до 1,5...2 м/с; повинні виконуватися підвищені вимоги до чистоти простору відсіку (наприклад, на рівні федерального стандарту США Fed Std 209E).

При польоті РН на активній ділянці траєкторії через вихідні люки СТС здійснюється скидання надлишкового тиску повітря з відсіку КА в навколишній простір (дренування). При зміні кута атаки або зміні швидкісного режиму при числах Маха  $M \approx 1$  можлива різка зміна надлишкового тиску на поверхні відділення КА. При відсутності лічильників води на вихідних люках СТС можливо втікання повітря з навколишнього середовища в відсік КА [2-4, 6]. Перед відділенням КА від РН до моменту скидання головного обтічника за рахунок дренування повітря повинне бути забезпечене вирівнювання тиску в відсіку з тиском навколишнього простору. В іншому випадку надмірна різниця тисків призведе до впливу істотних газодинамічних навантажень на КА в момент скидання обтічника. На основі аналізу конструктивних особливостей систем термостатування КА [5, 7-10] повинні бути сформульовані нові вимоги до характеристик даної системи. Раніше вимоги до СТС визначали технічні умови на параметри термостатного повітря – межі зміни температури і вологості повітря, об'ємна витрата повітря, надлишковий тиск у відсіку КА в режимі наземного термостатування і в момент скидання головного обтічника [2-5, 9, 11]. Нові, сучасні вимоги до СТС, складаються в додатковому нормуванні наступних характеристик роботи СТС:

- рівень середніх коефіцієнтів теплообміну при охолодженні КА загальною системою термостатування;
- рівень середніх швидкостей руху термостатного повітря поблизу поверхонь КА;
- чистота простору відсіку КА на рівні міжнародних стандартів;
- рівень середніх коефіцієнтів теплообміну і швидкості повітря для пристроїв локального обдування теплонапружених вузлів КА.

Додаткові вимоги до СТС можуть бути задоволені наступними конструктивними удосконаленнями існуючих СТС [5, 7-11]:

- встановленням додаткових підвідних патрубків, що дозволить при необхідності збільшити кратність повітрообміну в відсіку КА;
- установкою лічильників води на вихідних люках СТС і мембранних фільтрів на перегородках між відсіком КА і приладовим відсіком (ПО);
- установкою автономних пристроїв локального обдування теплонапружених елементів КА;
- установкою ґрат, перфорованих екранів, панелей, що забезпечують більш рівномірний обдув КА.

Важливою умовою запуску РН є забезпечення температурно-вологісного режиму в її відсіках при проведенні передстартової підготовки перед пуском.

СТС під час проектування вимагає рішень багатьох завдань, спрямованих на забезпечення необхідних значень чистоти, тиску, температури, витрати і температури точки роси.

**Формулювання цілей статті.** У роботі необхідно виконати розробку і удосконалення передстартової системи термостатування повітря КА з метою підвищення її ефективності.

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до існуючих систем термостатування повітря КА приведемо на рис. 1 структурну схему. Для наведеної схеми було обране обладнання модуля передстартової системи термостатування, а також додаткове обладнання, яке складається з модуля джерела живлення, системи автоматизованого управління і контролю.

Приведена структурна схема передстартової системи термостатування повітря КА (рис. 1) може бути модифікована, а саме: перед нагрівачем встановити підірний дросель, який забезпечить необхідний тиск осушення повітря з деяким запасом. Дана модифікована структурна схема передстартової системи термостатування повітря КА наведена на рис. 2.

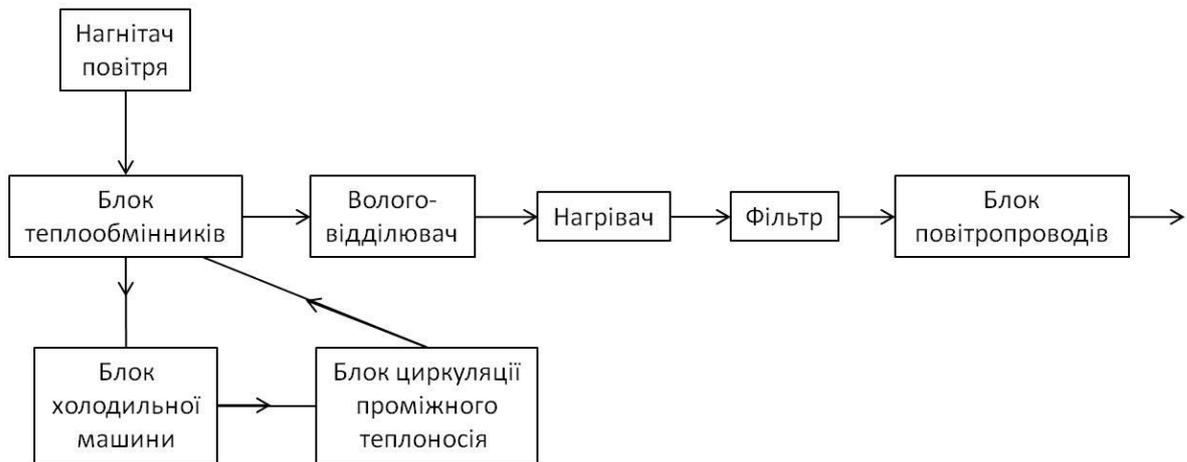


Рис. 1. Структурна схема передстартової системи термостатування повітря КА

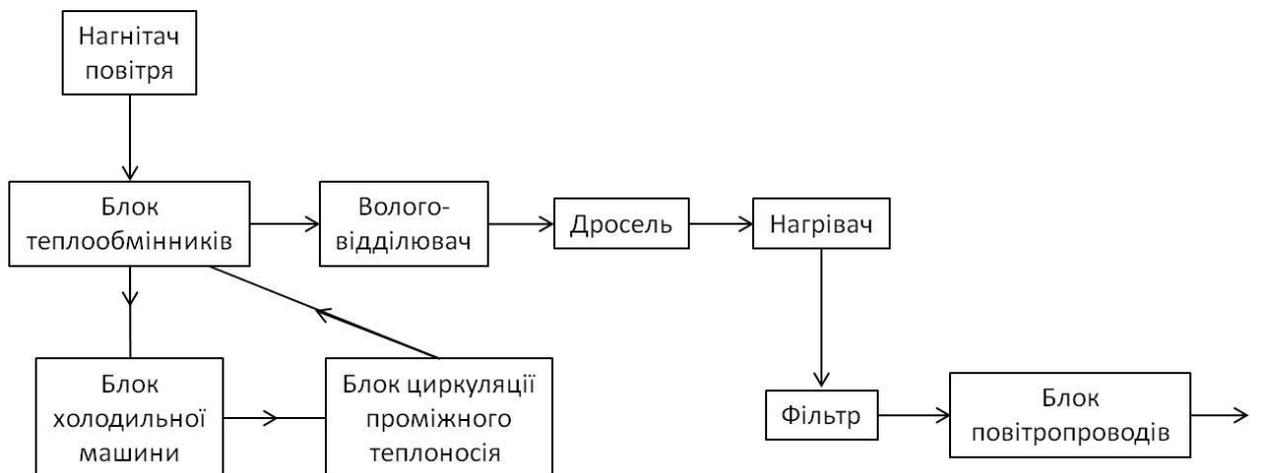


Рис. 2. Модифікована структурна схема передстартової системи термостатування повітря КА з підірним дроселем

Крім того, в роботі пропонується виконати ще одну модифікацію структурної схеми, яка полягає у встановленні перед транспортно-установчим агрегатом блоку фільтрів: грубого і тонкого очищення. Таку модифіковану структурну схему наведемо на рис. 3.

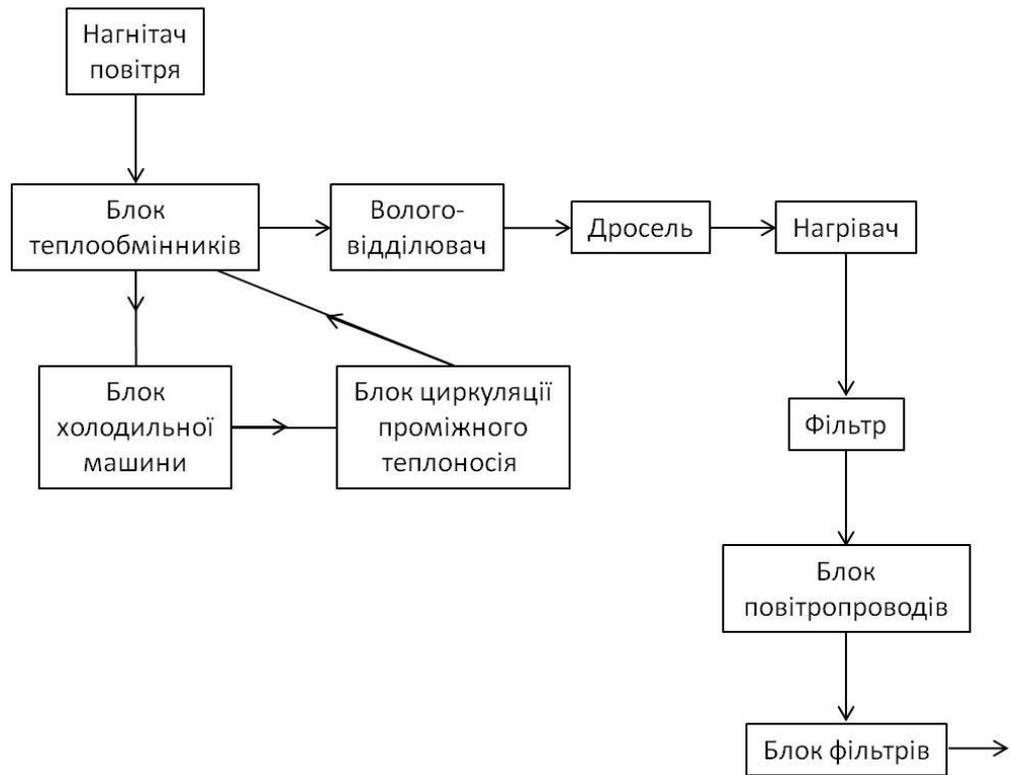


Рис. 3. Модифікована структурна схема передстартової системи термостатування повітря КА з підпірним дроселем та фільтрами грубого і тонкого очищення

Запропоноване установлення блоку фільтрів пов'язане з вимогами до чистоти подаваного повітря за стандартом ISO 14644-1. Дана модифікація структурної схеми передстартової системи термостатування повітря КА дозволить контролювати якість повітря (температуру і вологість) безпосередньо на об'єктах моніторингу.

Для приведених структурних схем передстартової системи термостатування повітря КА далі виконаємо порівняння отриманої якості безпосередньо на окремих об'єктах. Схему підводу термостатуючого повітря до характерних відсіків РН приведемо на рис. 4.

З рис. 4 можемо бачити наявність входних та вихідних отворів, що розташовані в характерних відсіках РН. До входних отворів приєднані повітропроводи від модуля термостатування, а у внутрішньому просторі відсіків РН розташовані дифузори, які виконують роль по напрямленню повітря. Конструкція дифузорів впливає на швидкість розповсюдження термостатуючого повітря та вихідну температуру внутрішнього середовища РН.

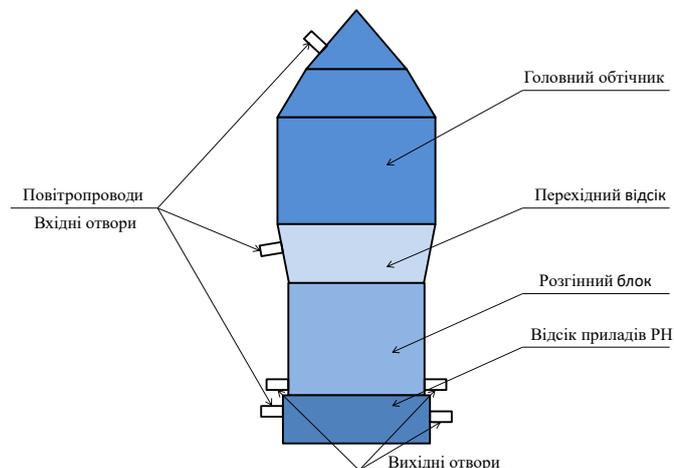


Рис. 4. Схема підводу термостатуючого повітря до характерних відсіків РН

Для вирішення завдання по встановленню ефективності передстартової системи термостатування повітря використане комп'ютерне моделювання за допомогою програмного комплексу FlowVision, в якому реалізовано рішення рівнянь руху в'язкого стисненого газу. При вирішенні даної задачі використовуються модифікована  $K$  модель і автоматична генерація сіток. Для вирішення поставленого завдання вихідною є наступна інформація:

- загальна модель внутрішнього розташування відсіків і блоків РН (рис. 4);
- витрати термостатуючого повітря, що подається до головного обтічника, розгінного блоку та відсіку приладів РН складають 7000, 5000 та 4500 м<sup>3</sup>/год відповідно;
- температура повітря термостатування складає 10...25 °С.

Крім того, у вихідну інформацію закладена необхідність забезпечення швидкості течії повітря термостатування у внутрішньому середовищі головного обтічника РН на рівні до 30 м/с на відстані, що не перевищує 5,5 м по осі РН і виконання мінімізації надходження змішаного повітря з розгінних блоків через перехідний відсік в зону головного обтічника, де розташовано КА.

Приведемо на рис. 5 результати дослідження залежності градієнта температури за довжиною по осі РН при застосуванні структурної схеми передстартової системи термостатування повітря, що наведена на рис. 1 та за умови різних значень температур зовнішнього середовища та вимог щодо значень температури повітря термостатування.

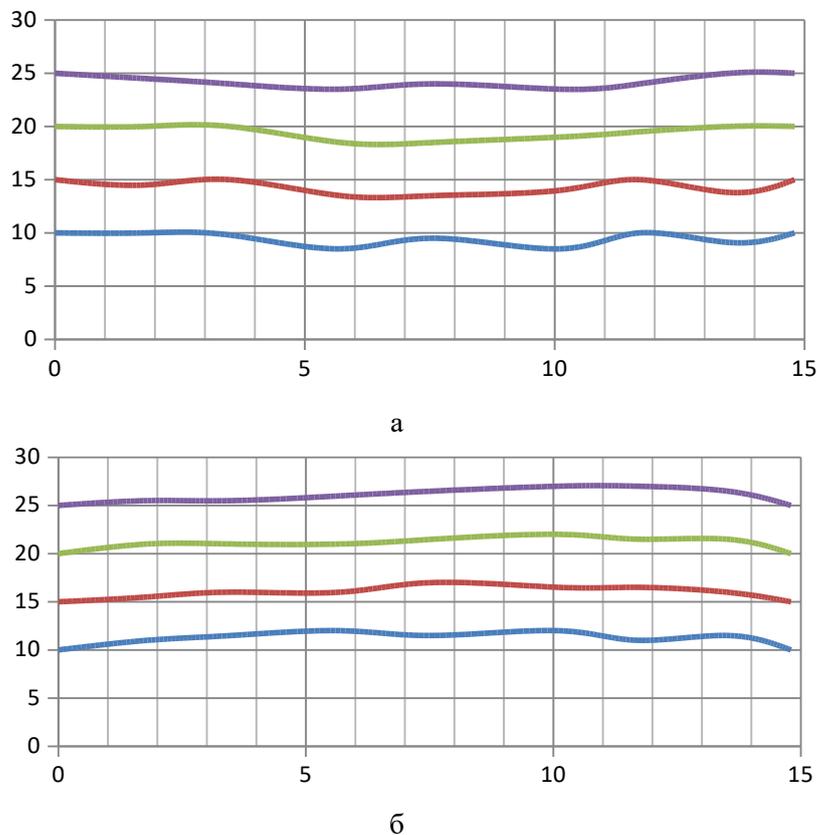
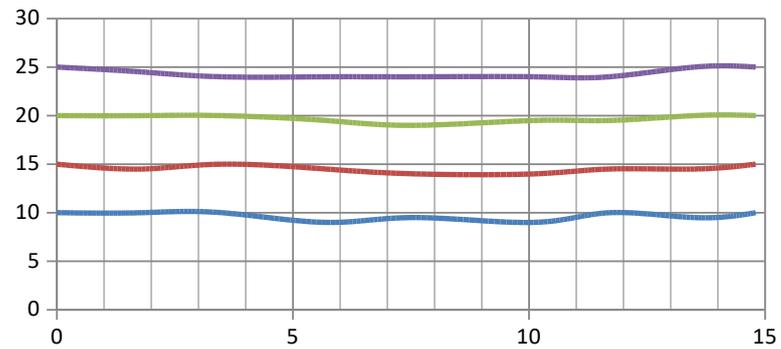
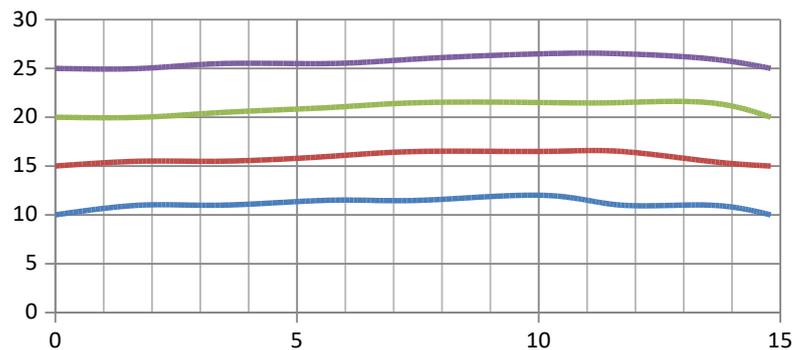


Рис. 5. Градієнт температур за довжиною по осі РН при застосуванні структурної схеми передстартової системи термостатування повітря, що наведена на рис. 1 та при температурі зовнішнього середовища 20°C (а) і 30°C (б) і необхідній температурі термостатування: 1 – 10°C; 2 – 15°C; 3 – 20°C; 4 – 25°C

Також отримані результати дослідження (рис. 6) залежності градієнта температури за довжиною по осі РН при застосуванні модифікованої структурної схеми передстартової системи термостатування повітря з підпірним дроселем, що наведена на рис. 2 та за умови різних значень температур зовнішнього середовища та вимог щодо значень температури повітря термостатування.



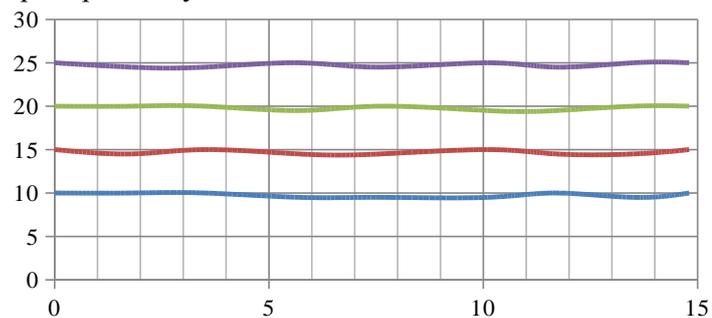
а



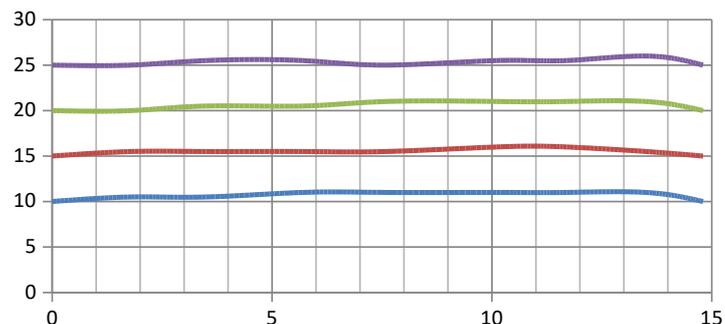
б

Рис. 6. Градієнт температур за довжиною по осі РН при застосуванні модифікованої структурної схеми передстартової системи термостатування повітря з підпірним дроселем, що наведена на рис. 2 та при температурі зовнішнього середовища 20°C (а) і 30°C (б) і необхідній температурі термостатування: 1 – 10°C; 2 – 15°C; 3 – 20°C; 4 – 25°C

На рис. 7 приведені результати дослідження залежності градієнта температури за довжиною по осі РН при застосуванні модифікованої структурної схеми передстартової системи термостатування повітря з підпірним дроселем та фільтрами грубого і тонкого очищення, що наведена на рис. 3 та за умови різних значень температур зовнішнього середовища та вимог щодо значень температури повітря термостатування.



а



б

Рис. 7. Градієнт температур за довжиною по осі РН при застосуванні модифікованої структурної схеми передстартової системи термостатування повітря з підпірним дроселем та фільтрами грубого і тонкого очищення, що наведена на рис. 3 та при температурі зовнішнього середовища 20°C (а) і 30°C (б) і необхідній температурі термостатування: 1 – 10°C; 2 – 15°C; 3 – 20°C; 4 – 25°C

Спостерігається практично однакова динаміка розподілення градієнту температур повітря термостатування за довжиною по осі РН (рис. 5-7), як при температурі зовнішнього середовища в 20°C, так і в 30°C.

**Висновки.** У роботі для підвищення ефективності передстартової системи термостатування повітря КА запропоновано модифіковані структурні схеми, на основі яких виконано порівняльну оцінку температури повітря безпосередньо на об'єктах КА.

Наведені теоретичні результати модифікованих структурних схем передстартової системи термостатування повітря КА показали наступне.

Для наведеної структурної схеми (рис. 1) розподілення градієнту температур за довжиною по осі РН при температурі зовнішнього середовища в 20 і 30°C відрізняється на 6,4...17,6%. Для приведеної структурної схеми (рис. 2) розподілення градієнту температур за довжиною по осі РН при температурі зовнішнього середовища в 20 і 30°C відрізняється на 4,2...16,7%. Для структурної схеми (рис. 3) розподілення градієнту температур за довжиною по осі РН при температурі зовнішнього середовища в 20 і 30°C відрізняється на 2,0...9,1%.

Отримані результати вказують на доцільність в застосуванні модифікованої схеми передстартової системи термостатування повітря з підпірним дроселем та фільтрами грубого і тонкого очищення.

#### Список бібліографічного опису

1. Галинский В.П., Тимошенко В.И. (1998). Проблемы создания научно-методического обеспечения по аэродинамике ракет-носителей. *Космична наука і технологія*. 4, № 2/3. С. 64-72.
2. Дегтяренко В. И. (1999). Определение параметров воздуха в отсеке ракеты на активном участке полета. *Техническая механика*. № 1. С. 17-22.
3. Тимошенко В.И., Галинский В.П., Белоцерковец И.С. (1998). Проблемы математического моделирования процессов аэрогазодинамики ракет-носителей. *Вісник Дніпропетровського університету. Механіка*. Дніпропетровськ, Вип. 1. С. 37-52.

#### References

1. Carbonell, D., Cadafalch, J., & Consul, R. (2011). A Transient Model for Radiant Heating and Cooling Terminal Heat Exchangers Applied to Radiant Floors and Ceiling Panels. *Proceedings of the ISES Solar World Congress 2011*. doi: 10.18086/swc.2011.26.03.
2. Kumar, A. V., Kumar, O. A., & K. Bala Kumar | M. Dinesh Kumar. (2019). Preparation of Fan Coil Unit using Revit Software. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, Volume-3(Issue-3), 1382–1387. doi: 10.31142/ijtsrd23376.
3. Chen, J., & Xie, W. W. (2012). Analysis on Load-Undertaking of Fan Coil Unit with Fresh Air System. *Advanced Materials Research*, 614-615, 678–681. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.614-615.678.
4. Du, Y. (2014). Feasibility Analysis of Radiant Floor Cooling and Heating System Applications. *Applied Mechanics and Materials*, 716-717, 428–430. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.716-717.428.
5. Budiaková, M. (2016). Indoor Environment Influenced by Radiant Effect of Floor Heating. *Applied Mechanics and Materials*, 824, 218–225. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.824.218.
6. Kerndl, M., & Steffan, P. (2017). Intelligent radiant floor heating regulation system with wireless sensors. 2017 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). doi: 10.1109/tsp.2017.8075936.
7. Klubal, T., & Ostrý, M. (2014). Integration of PCMs and Capillary Radiant Cooling/Heating to Ensure of Thermal Comfort. *Advanced Materials Research*, 1041, 350–353. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1041.350.
8. Liu, X., Shi, L., & Li, Y. (2017). Simulation study on capillary asymmetric radiant heating system. *Procedia Engineering*, 205, 2215–2222. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.051.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-05>

УДК 514.18

<sup>1</sup>Верещага Віктор Михайлович, д.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-1965-1829>

<sup>2</sup>Адоньєв Євген Олександрович, д.т.н.

<https://orcid.org/0000-0003-1279-4138>

<sup>1</sup>Павленко Олександр Михайлович, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-8646-2622>

<sup>3</sup>Лисенко Ксенія Юрївна, аспірантка

<sup>1</sup>Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

<sup>2</sup>Запорізький національний університет

<sup>3</sup>Мелітопольська школа прикладної геометрії імені Володимира Найдиша

## ГАРМОНІЗАЦІЯ ТОЧКОВИХ ПОЛІНОМІВ

**Верещага В.М., Адоньєв Є.О., Павленко О.М., Лисенко К.Ю. Гармонізація точкових поліномів.** Точковий поліном – це ціла раціональна функція у параметричній формі, що складається із суми добутків, у яких першими множниками кожного з доданків є базисна точка вихідної дискретно поданої лінії (ДПЛ), а другим – алгебраїчний множник, що являє собою цілий раціональний вираз, який подається у вигляді добутку різниць між параметрами відповідних вузлових точок і поточним параметром – аргументом  $t$  для проміжної точки. Точкові поліноми покладено в основу композиційної геометрії та композиційного методу геометричного моделювання. Композиційна геометрія – це геометрія, у якій кожна вихідна геометрична фігура (ГФ) розділяється на геометричну та параметричну складові і розв'язок будь-якої задачі відбувається відносно усіх базисних точок цієї ГФ, безвідносно до системи координат, в якій ці базисні точки визначені. Процес розділення ГФ на геометричну та параметричну складові названо нами – уніфікацією вихідної ГФ. Геометрична складова описується за допомоги композиційної матриці точкової –  $A_T$ , а параметрична – за допомоги композиційної матриці параметричної –  $A_P$ . Складові точкового поліному – доданки, являють собою добутки відповідних елементів композиційних матриць – точкової  $A_T = ((A_{ij}))$  та параметричної  $A_P = ((a_{ij}))$ . Композиційні матриці точкові описують геометричні композиції точок для визначеної їх кількості. При цьому, геть не існують ніяких обмежень щодо координат, які ці точки визначають. Тобто, зміна або заміна будь-якої з точок геометричної композиції або, навіть, усієї композиції точок, у цілому, призведе тільки до зміни елементів композиційної матриці (КМ) точкової, і ніяк не потягне за собою зміни подальшого розв'язку. При цьому, зовсім не відбудеться змін у КМ параметричній, яка визначає взаємне розташування між елементами композиції точок, які утворюють ГФ. Окрім випадків, коли нововведені точки змінили своє розташування уздовж напрямку, у якому здійснювалася параметризація елементів вихідної ГФ. І, навіть, у цьому випадку, зміні підлягають тільки окремі елементи КМ параметричної, а подальший алгоритм розв'язку геть не стануть змін. Під композицією, взагалі, необхідно розуміти дискретний набір взаємопов'язаних елементів (часток, об'єктів, факторів, точок тощо), з яких складають цілісний об'єкт, що сприймається як ціле, має певну внутрішню єдність, при цьому, зміна або заміна будь-якого з цих елементів, у цілому, не тягне за собою ніяких змін для решти інших елементів наявної геометричної композиції. Геометрична композиція – це композиція, елементами якої є непушта скінчена множина точок, частина з яких може утворювати певну підмножину, і, при цьому, для кожного елемента цієї множини встановлено його власні розміри та розміри, що визначають їх взаємне розташування.

**Ключові слова.** Точкові поліноми, гармонізація, характеристичні функції, БН-координати, Б-криві.

**Верещага В.М., Адоньєв Е.А., Павленко А.М., Лисенко К.Ю. Гармонизация точечных полиномов.** Точечный полином – это целая рациональная функция в параметрической форме, которая состоит из суммы произведений, в которых первыми множителями каждого из слагаемых является базисная точка исходной дискретно представленной линии (ДПЛ), а вторым – алгебраический множитель, который представляет собой целое рациональное выражение, которое подается в виде произведения разницы между параметрами соответствующих узловых точек и текущим параметром – аргументом  $t$  для промежуточной точки. Точечные полиномы положены в основу композиционной геометрии и композиционного метода геометрического моделирования. Композиционная геометрия – это геометрия, в которой каждая исходная геометрическая фигура (ГФ) разделяется на геометрическую и параметрическую составляющие и решение любой задачи производится относительно всех базисных точек этой ГФ, безотносительно к системе координат, в которой эти базисные точки определены. Процесс разделения ГФ на геометрическую и параметрическую составляющие назван нами – унификацией исходной ГФ. Геометрическая составляющая описывается с помощью композиционной матрицы точечной –  $A_T$ , а параметрическая – с помощью композиционной матрицы параметрической –  $A_P$ . Составляющие точечного полинома – слагаемые, представляют собой произведения соответствующих элементов композиционных матриц – точечной  $A_T = ((A_{ij}))$  и параметрической  $A_P = ((a_{ij}))$ . Композиционные матрицы точечные описывают геометрические композиции точек для определенного их количества. При этом, совершенно не существует никаких ограничений относительно координат, которые эти точки определяют. То есть, изменение или замена любой из точек геометрической композиции или даже всей композиции точек, в целом, приведет только к изменению элементов композиционной матрицы (КМ) точечной, и никак не повлечет за собой изменения дальнейшего решения. При этом, совершенно не произойдет изменений в КМ параметрической, которая определяет взаимное расположение между элементами геометрической композиции точек,

образующих ГФ. Кроме случаев, когда нововведенные точки изменили свое расположение вдоль направления, в котором осуществлялась параметризация элементов исходной ГФ. И даже в этом случае, изменению подлежат только отдельные элементы КМ параметрической, а дальнейший алгоритм решения и само решение совсем не подвергается изменению. Под композицией, вообще, необходимо понимать дискретный набор взаимосвязанных элементов (частей, объектов, факторов, точек и т.д.), из которых составляют целостный объект, который воспринимается как целое, имеет определенное внутреннее единство, при этом, изменение или замена любого из этих элементов, в целом, не влечет за собой никаких изменений для остальных других элементов имеющейся геометрической композиции. Геометрическая композиция - это композиция, элементами которой являются непустое конечное множество точек, часть из которых может образовывать определенное подмножество, и, при этом, для каждого элемента этого множества установлено его собственные размеры и размеры, определяющие их взаимное расположение.

**Ключевые слова.** Точечные полиномы, гармонизация, характерные функции, БН-координаты, Б-кривые.

**Vereshchaha V., Adoniev E., Pavlenko O., Lysenko K. Harmonization of point polynomials.** A point polynomial is an entire rational function in parametric form, which consists of the sum of products in which the first factors of each of the terms is the base point of the original discretely presented line (LPL), and the second is the algebraic factor, which is a whole rational expression that is served in the form of the product of the difference between the parameters of the corresponding nodal points and the current parameter - the argument  $t$  for the intermediate point. Point polynomials form the basis of compositional geometry and the compositional method of geometric modeling. Compositional geometry is a geometry in which each initial geometric figure (GF) is divided into geometric and parametric components and any problem is solved with respect to all the base points of this GF, regardless of the coordinate system in which these base points are defined. The process of dividing the GF into geometric and parametric components was called by us - the unification of the original GF. The geometric component is described using the point matrix - AT, and the parametric - using the parameter matrix - AP. The components of a point polynomial - terms, are the products of the corresponding elements of the compositional matrices - point  $AT = ((A_{ij}))$  and parametric  $AP = ((a_{ij}))$ . Point composite matrices describe the geometric composition of points for a certain number of points. Moreover, there are absolutely no restrictions on the coordinates that these points determine. That is, changing or replacing any of the points of the geometric composition, or even the entire composition of the points, as a whole, will only lead to a change in the elements of the composite matrix (CM) of the point, and will not entail a change in the further solution. At the same time, there will be absolutely no changes in the parametric CM, which determines the mutual arrangement between the elements of the geometric composition of the points that form the GF. Except when the newly introduced points changed their location along the direction in which the elements of the initial GF were parameterized. And even in this case, only certain elements of the parametric CM are subject to change, and the further decision algorithm and the solution itself are not subject to change at all. Under the composition, in general, it is necessary to understand a discrete set of interconnected elements (parts, objects, factors, points, etc.) that make up the whole object, which is perceived as a whole, has a certain internal unity, while changing or replacing any of these elements, in general, does not entail any changes for the remaining other elements of the existing geometric composition. A geometric composition is a composition whose elements are a nonempty finite set of points, some of which can form a certain subset, and at the same time, for each element of this set its own sizes and dimensions that determine their relative position are established.

**Keywords.** Point polynomials, harmonization, characteristic functions, BN coordinates, B-curves.

**Постановка наукової проблеми.** Застосування точкових поліномів є основою, що забезпечують геометричний спосіб інтерполяції, який не потребує складання та розв'язання, відносно коефіцієнтів, систем лінійних рівнянь, у порівнянні із застосуванням цілих раціональних функцій. Однак, як і у цілих раціональних функцій, так і у точкових поліномів з підвищенням степеня з'являються неконтрольовані точки перегину. На наш погляд, у точкових поліномів це виникає через те, що його складові – характеристичні функції є не гармонізовані, тобто забезпечують необхідні але не достатні умови щодо інтерполяції дискретно поданої лінії (ДПЛ). Поява неконтрольованих точок перегину на лініях, що знаходяться на поверхні, яка обмежує геометричне тіло, є небажаним. Отже, виникає проблема щодо підвищення усталеності точкових поліномів, до появи небажаної осциляції, зі збільшенням їхнього степеня. Розв'язання цієї проблеми буде показано у даній статті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [2, 3], у яких викладено основи точкового БН-числення (Балюби-Найдиша числення), було надано різні методи складання точкових рівнянь для об'єктів (геометричних фігур) різного координатного простору. У всіх запропонованих там методах, для здійснення параметризації ГФ, завжди визначався один з елементів цієї ГФ, який подавався як одиниця вимірювання для решти інших. Цей елемент обирався безвідносно до його розташування у вихідній системі координат та до його власних розмірів.

Шляхом знаходження виразів та значень відношення усіх необхідних елементів до обраного одиничного, відбувалася параметризація вихідної геометричної фігури (ГФ). Добутки кожного зі знайдених параметрів ГФ на відповідні її точки, входили до складу точкових рівнянь. Зважаючи на те, що параметризація ГФ здійснювалася на основі просто відношення зв'язаних трьох точок цієї ГФ, моделювання, у точковому БН-численні, відбувається у просторі параметрів, а результат розв'язання задачі проєктується на площини проєкцій, на підпростори, тощо. При цьому, таке моделювання

однаково відбувається для просторів параметрів будь-якої розмірності, за умови, що цей простір параметрів є скінченим.

Оскільки параметризація, у точковому БН-численні відбувається на базі однієї ГФ для самої себе і для ГФ, що пов'язані з нею певними геометричними відношеннями, то знайдені параметри є гармонізованими і не потребують корегування.

Однак, у роботах [2, 3] відбувається параметризація, з використанням геометричних схем, для точкових кривих другого степеня. У роботі [6], з використанням геометричних схем, показано побудову точкових кривих третього степеня, на прикладі яких вбачається складність здобуття таких точкових рівнянь третього степеня.

Виходячи з розглянутого, у роботі [7] було запропоновано техніку алгебраїчного знаходження параметрів точкових рівнянь степеня  $> 3$ . Однак, і у роботі [7] алгоритми їх знаходження є недосконалими, тому у цій статті надається узагальнений алгоритм формування характеристичних функцій для точкового полінома  $n$ -го степеня, який забезпечує геометричний спосіб інтерполяції дискретно поданої лінії, композиція для якої утворюється  $n$  точками.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Виходячи із проведеного аналізу останніх досліджень і публікацій, вирізимо частини загальної проблеми, які потребують розв'язання.

По-перше. Необхідно розробити узагальнену техніку алгебраїчного формування виразів характеристичних функцій для точкових поліномів  $n$ -го степеня. Однак, як з'ясувалося, спосіб алгебраїчного формування виразів характеристичних функцій забезпечує необхідні умови щодо виконання глобальної інтерполяції вихідної геометричної композиції ДПЛ точковими поліномами. В результаті виконання тільки необхідних умов на інтерполянтах  $n$ -о степеня виникають осциляції, які супроводжуються повою неконтрольованих точок перегину.

По-друге. Розробити спосіб проведення до взаємної відповідності між усіма алгебраїчно сформованими виразами характеристичних функцій як параметричними складовими частинами точкового полінома. Цей спосіб приведення до взаємної відповідності названо авторами – гармонізацією.

**Формулювання мети дослідження.** Розробити, у загальному вигляді, запис точкового поліному та його складових елементів – характеристичних функцій. Надати алгебраїчний спосіб утворення цих характеристичних функцій та надати відповідні визначення. Запропонувати спосіб гармонізації точкового поліному.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо розбіжності між многочленом і точковим поліномом.

У відповідності до [8], многочлен – це ціла раціональна функція, запис якої має вигляд:

$$y = \sum_{j=0}^n a_j x^j \quad (1)$$

де,  $a_j$  – сталі числа – коефіцієнти, які визначаються у відповідності до певних вимог;

$n$  – ціле невід'ємне число;

$x^n$  – аргумент – цілий раціональний елемент.

Розв'язання (1) відносно  $a_j$ , (для  $j = \overline{0, n}$ ), відбувається шляхом розв'язання систем  $m$  лінійних рівнянь:

$$\sum_{j=0}^n a_j x_i^j = b_i, \text{ для } i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де  $x_i^j$  – значення цілого раціонального елемента у вузлових точках.

У доданках з (2) множники  $x_i^j$  можна розглядати як вагові коефіцієнти, що визначають вплив кожного  $a_j$  на поведінку кривої (2), в цілому. Враховуючи сказане, можна зауважити, що навіть за маленьких значень коефіцієнтів  $a_n; a_{n-1}; a_{n-2} \dots$  їх вплив на поведінку кривої (2) може бути достатньо значним через великі значення відповідних множників  $x_i^n; x_i^{n-1}; x_i^{n-2} \dots$

Таке нерівномірне розподілення впливу кожного з коефіцієнтів  $a_j$ , як правило, призводить до появи неконтрольованих точок перегину на графіку кривої (1). Окрім того, застосування, у моделюванні, многочленів (1), за великих значень показників степеня  $n$ , потребує підвищення розмірності розрахункових значень для зменшення похибки у розрахунках. Підвищення розмірності, як правило, тягне за собою збільшення витрат комп'ютерних ресурсів, а це, у свою чергу, зменшує ефективність процесу моделювання.

Геть по іншому все відбувається у точкового полінома [1, 4, 5, 7], запис якого, у загальному вигляді для  $n$  точок, є наступним:

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \cdot P_i(t), \quad (3)$$

де  $M$  – поточна точка на кривій точкового полінома;

$A_i$  – вихідні вузлові (базисні) точки, які необхідно глобально інтерполювати;

$P_i(t)$  – характеристична функція (ХФ) для відповідної  $i$ -тої базисної точки.

У загальному вигляді ХФ для  $n$  базисних точок, має наступний запис:

$$P_j(t) = \frac{1}{\lambda_j} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (t_i - t), \text{ для } j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де  $\lambda_j = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (t_i - t_j)$ , для  $j = \overline{1, n}$ .

У розгорнутому вигляді ХФ (4), наприклад для  $n = 3$ , матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} P_1(t) &= \frac{1}{\lambda_1} (t_2 - t)(t_3 - t), \text{ де число } \lambda_1 = (t_2 - t_1)(t_3 - t_1); \\ P_2(t) &= \frac{1}{\lambda_2} (t_1 - t)(t_3 - t), \text{ де число } \lambda_2 = (t_1 - t_2)(t_3 - t_2); \\ P_3(t) &= \frac{1}{\lambda_3} (t_1 - t)(t_2 - t), \text{ де число } \lambda_3 = (t_1 - t_3)(t_2 - t_3), \end{aligned} \quad (5)$$

де параметр  $0 \leq t \leq 1$  і може визначатися уздовж осі або уздовж довільної прямої, або поспіль уздовж ланок супровідної ламаної вихідної дискретно поданої кривої (ДПК). У сукупності (5) ХФ  $P_j(t)$ , для  $i = \overline{1, 3}$ , забезпечують інтерполяцію трьох вихідних точок  $A_i$ , для  $i = \overline{1, 3}$ . Через те, що у першій точці, за значення  $t = t_1$  перший множник перетворює значення ХФ  $P_1(t_1) = 1$ . У той же час, добуток різниць параметрів, за значень  $t = t_2$  та  $t = t_3$ , забезпечує  $P_i(t_{i+1}) = 0$  та  $P_i(t_{i+2}) = 0$ . За рахунок цього, за значення  $t = t_1$   $M = A_1$  з (3).

Аналогічні розмірковування будуть правдивими і для ХФ  $P_2(t)$  та  $P_3(t)$ . Якщо  $n > 3$ , алгоритм записів ХФ для відповідних точок лишається незмінним, таким як і для  $n = 3$ . У цьому полягає геометричний спосіб інтерполяції, у якого множниками точок, кожного з доданків є цілі раціональні вирази (4), (5) однакового степеня, які як вагові коефіцієнти в однакової мірі впливають на поведінку точкового полінома (3). За рахунок цього, на графіку кривої, що відповідає (3), не з'являються неконтрольовані точки перегину. Зі збільшенням  $n$  не зростає похибка геометричного способу інтерполяції, не треба підвищувати розрядність значень у розрахунках, не збільшуються витрати комп'ютерних ресурсів, що підвищує ефективність моделювання у порівнянні із застосуванням цілих раціональних функцій.

Однак, для одержання вказаних вище переваг точкових поліномів, після розробки записів характеристичних функцій, для усіх  $n$ , необхідно провести їх гармонізацію. Як відомо [9], гармонія –

це динамічний стан стійкої відповідності між цілим та його складовими частинами. Виходячи з означення гармонії, сформуємо тлумачення гармонізації точкової (точкової гармонізації).

Точкова гармонізація (гармонізація точкова) – це процес встановлення (приведення до) взаємної відповідності між усіма характеристичними функціями як параметричними складовими частинами точкового полінома, що являють собою параметричні множники у його доданках.

Для пояснення звернімося до запису точкового полінома (3), який не змінюється для будь-якої композиції з визначеної кількості  $n$  точок. Дійсно, обмежень щодо обрання положень кожної з  $n$  точок, яка являє собою геометричну фігуру (ГФ). Для цієї вихідної ГФ складається дві композиційні матриці: точкова -  $A_T$  та параметрична –  $A_{II}$  [1, 4, 5, 7]. Елементами параметричної композиційної матриці  $A_{II}$  є характеристичні функції (ХФ) з (3), сума яких  $\mu_n$  приймається як ціле і для вихідної ГФ має дорівнювати одиниці:

$$\mu_n = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (6)$$

Необхідність дорівнювання одиниці для цілого, доведено у точковому БН-численні [2, 3].

Однак, як показує досвід, майже завжди  $\mu_n \neq 1$ .

Той факт, що  $\mu_n$  не дорівнює одиниці означає, з геометричної точки зору, що ХФ  $P_i(t)$ , (для  $i = \overline{1, n}$ ) не належать одній вихідній геометричній фігурі. Для пояснення цієї думки, наведемо такий приклад. Усякий трикутник має три кути, сума яких є *const*, звідси витікає, що довільно, без підрахунку, обравши три кути  $\alpha, \beta, \gamma$ , сума яких не дорівнює  $180^\circ$ , об'єднати їх без гармонізації, в один трикутник не є можливим. Для їх гармонізації можна або взяти довільно два кути, а третій обчислити, з урахуванням  $const = 180^\circ$ ; або усі три пропорційно змінити.

З алгебраїчної точки зору  $\mu_n \neq 1$  означає, що дорівнювання нулю або одиниці значень ХФ у відповідних вузлових точках, є умовою необхідною але не достатньою для здійснення інтерполяції точковими поліномами без появи неконтрольованих точок перегину на інтерполяційній кривій.

Отже, у випадку, коли  $\mu_n \neq 1$ , треба застосовувати точкову гармонізацію, шляхом ділення кожної ХФ на  $\mu_n$ , тобто виконати гармонізацію характеристичних функцій  $P_i(t)$ , для  $i = \overline{1, n}$ , які будемо позначати  $P_i$ , для  $i = \overline{1, n}$ .

$$P_i = \frac{P_i(t)}{\mu_n}, \text{ де } i = \overline{1, n} \quad (7)$$

Гармонізовані ХФ  $P_i$  у роботах [1, 4, 5, 7] було названо БН-координатами (Балюби-Найдиша координатами). У цих же роботах надано визначення БН-координат. БН-координати – це дробово-раціональні вирази у параметричній формі, що вказують на розмір частки участі кожної із базисних точок ГФ у визначення положення поточної точки відносно цих базисних точок. Гармонізовані точкові поліноми у роботах [1, 4, 5, 7] було названо Б-кривими (Балюби кривими), які ще у більшій мірі є усталеними щодо появи неконтрольованих точок перегину, для граничних композицій вихідних точок.

**Висновки.** Таким чином, якщо точковий поліном є цілою раціональною функцією у параметричній формі, що складається із суми добутків, у якій першим множником є точка, а другим цілий раціональний вираз у параметричній формі, то гармонізований точковий поліном (Б-крива) є дробово-раціональною функцією, доданки якої також є добутками, першим множником у яких також виступає базисна точка, а другим є дробово-раціональний вираз. Степені цих дробово-раціональних виразів, що являють собою множники, для усіх базисних точок дискретно поданої лінії, є однаковими, а це робить однаковим вплив, кожної з базисних точок, на визначення положення поточної точки точкового полінома – інтерполянта.

І навпаки, у традиційних цілих раціональних функцій множниками біля коефіцієнтів є значення аргументів, які мають різний степінь, а це робить різним вплив кожного з коефіцієнтів цілої

раціональної функції на визначення поточної точки на ній. Окрім різного впливу на визначення поточної точки, збільшується вірогідність похибки та появи неконтрольованих точок перегину на інтерполяційній кривій. Використання цілих раціональних функцій потребують підвищення розрядності розрахункових значень задля зменшення похибки розв'язків. Підвищення розрядності необхідне через те, що значення аргументу найбільших степенів  $n$ ,  $(n - 1)$ ,  $(n - 2)$ , ..., як правило, має множниками замалі коефіцієнти для того, щоб підвищити точність розрахунків і щоб не виникли, через похибки у розрахунках, неконтрольовані точки перегину. В результаті сказаного, відбувається збільшення витрат комп'ютерних ресурсів, а це тягне за собою здороження процесу моделювання та експлуатації моделі, що зменшує ефективність проектування, в цілому.

І навпаки, використання гармонізованих точкових поліномів не вимагає підвищення розрядності значень чисел у розрахунках через те, що степінь дробово-раціональних виразів-множників базисних точок, є однаковим для усіх доданків. В результаті чого, розрахункові значення поточної точки постійно знаходяться у полі значень, не з'являються неконтрольовані точки перегину та не підвищується вартість проектування.

Отже, підбиваючи підсумок, можна сказати, що процес гармонізації точкових поліномів приводить усі його характеристичні функції, знайдені алгебраїчним способом і такі, що умовно кажучи, належать «різним геометричним схемам», до таких, які належать «одній геометричній схемі».

Застосування гармонізованих точкових поліномів у моделюванні ліній сіток на поверхнях об'ємних геометричних фігур довільної форми, має значні переваги перед розглянутими іншими моделями кривих, підвищує якість моделювання та є більш ефективним.

**Перспективи подальших досліджень.** Показати на порівняльних тестових прикладах переваги інтерполяції гармонізованими точковими поліномами високих степенів. Розробити теоретичні основи та алгоритми застосування гармонізованих точкових поліномів для моделювання у інтерактивному режимі плоских кривих різного ступеня складності.

#### Список бібліографічних посилань

1. Адоньєв Є.О. (2018) Композиційний метод геометричного моделювання багатофакторних систем: дис. докт. техн. наук. Р.512. АСМ.
2. Балюба І.Г. (1995) Конструктивна геометрія многообразий на основі точечного исчисления. Автореф. дисс... докт. техн. наук, 36 с. АСМ.
3. Балюба І.Г., Найдьш В.М. (2015) Точечное исчисление [учебное пособие], 234 с. АСМ.
4. Верещага В.М. (2017) Композиційне геометричне моделювання: Монографія, 108 с. АСМ.
5. Верещага В.М., Найдьш А.В., Адоньєв Є.О. (2019) Метод композиційного геометричного моделювання. Монографія, 310 с. АСМ.
6. Верещага В.М., Павленко О.М., Найдьш А.В. (2019) Моделювання горизонтального земельного майданчика у точковому численні: монографія, 187с. АСМ.
7. Верещага В.М., Найдьш А.В., Адоньєв Є.О., Лисенко К.Ю. (2019) Основи композиційного геометричного моделювання: навчальний посібник, 255с. АСМ.
8. Рубцов М.О., Кравець В.І., Назарова О.П. (2015) Вища математика: навч. посіб. у 2-х ч., ч1., 242 с. АСМ.
9. Укладач І.М. Забіяка (2007) Тлумачний словник сучасної української мови. Близько 50000 сл., 512 с. АСМ.

#### References

1. Adoniev E.A. (2018) Compositional method of geometric modeling of multifactor systems: dissertation, P. 512. ACM.
2. Balyuba I.G. (1995) Constructive geometry of manifolds based on point calculus. Author's dissertation... Ph.D., P. 36. ACM.
3. Balyuba I.G. Point calculation [textbook] (2015) P. 234. ACM.
4. Vereshchaga V.M. (2017) Compositional geometric modeling: Monograph / V.M. Screaming. P. 108. ACM.
5. Vereshchaga V.M., Naidysh A.B., Adoniev E.O. (2019) Method of compositional geometric modeling. Monograph / P.310. ACM.
6. Vereshchaga V.M., Pavlenko O.M., Naidysh A.V. (2019) Modeling of horizontal land area in point numbering: monograph P.187. ACM.
7. Vereshchaga V.M., Naidysh A.B., Adoniev E.O., Lysenko K.U. (2019) Fundamentals of compositional geometric modeling: a textbook P.255. ACM.
8. Rubtsov M.O., Kravets V.I., Nazarova O.P. (2015) Higher mathematics: textbook. way. at 2 p.m., h1. P.242. ACM.
9. Contributor I.M. Zabiaka (2007) Explanatory dictionary of the modern Ukrainian language. About 50,000 w., P.512. ACM.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-06>  
УДК 534.44:004

Головін Микола Борисович, канд. фіз.-мат. наук, доцент,  
<https://orcid.org/0000-0003-4516-4677>

Головіна Ніна Анатоліївна, канд. фіз.-мат. наук, доцент  
ВНУ імені Лесі Українки, м. Луцьк

## ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ В ЯКОСТІ АПЛІКАЦІЇ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЗВУКІВ У КУРСАХ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Головін М.Б., Головіна Н.А. Фур'є перетворення в якості аплікації спектрального аналізу звуків у курсах комп'ютерної фізики та захисту інформації. Розглянуто та апробовано прості приклади програмного коду в яких реалізуються Фур'є перетворення на мові Python засобами бібліотеки Numpy. Програмний код може бути використаний, як аплікація в багатьох розділах фізики для ілюстрації аналізу хвильових процесів, зокрема, в першу чергу, в акустиці та в оптиці, а також в курсі захисту інформації. Матеріал демонструє чисельні міжпредметні зв'язки математики та інформатики з різними розділами фізики та з курсом захисту інформації.

**Ключові слова:** Фур'є перетворення, спектральний аналіз, навчальне програмування, мова Python, бібліотека Numpy, міжпредметні зв'язки, комп'ютерна фізика, захист інформації.

Головин М.Б., Головина Н.А. Фурье преобразования в качестве аппликации спектрального анализа звуков в курсах компьютерной физики и защиты информации. Рассмотрены и апробированы простые примеры программного кода в которых реализуются Фурье преобразования на языке Python средствами библиотеки Numpy. Программный код может быть использован, как аппликация во многих разделах физики для иллюстрации анализа волновых процессов, в частности, в первую очередь, в акустике и в оптике, а также в курсе защиты информации. Материал демонстрирует многочисленные межпредметные связи математики и информатики с различными разделами физики и с курсом защиты информации.

**Ключевые слова:** Фурье преобразования, спектральный анализ, учебное программирование, язык Python, библиотека Numpy, межпредметные связи, компьютерная физика, защита информации.

Holovin M.B., Holovina N. A. Usage of Fourier transforms for spectral analysis of sounds in the courses of computer physics and information security. The simple examples of program code through which Fourier transform is realized on the Python language by the means of Numpy library is considered and tested. The program code may be used in different domains of physics for illustration the analysis of wave processes. In particular, it is especially relevant in the domains of acoustics, optics and the course of information security. The material demonstrates different inter-disciplinary connections between mathematics, informatics with different domains of physics and the course of information security.

**Key words:** Fourier transforms, spectral analysis, educational programming, Python language, Numpy library, interdisciplinary connections, computer physics, information security.

**Постановка проблеми.** Перетворення Фур'є в контексті вивчення фізики мають важливе світоглядне значення. На цьому прикладі можна проілюструвати нерозривність фізики, математики, а також інформатики. Відповідно міжпредметні зв'язки в цій темі максимально видимі. Особливо цікава в цьому сенсі акустика. Тут прості фізичні сигнали, можна отримувати без додаткових фізичних сенсорів та синтезаторів сигналу, адже пристрій, що здійснює математичну обробку (ноутбук) має на борту мікрофон і гучномовці. Ця робота є продовженням роботи [1] по підборі цікавих задач комп'ютерної фізики.

Іншим важливим моментом є те, що математичні перетворення Фур'є використовуються не тільки в акустиці. Існує багато практичних застосувань в інших різних областях знань, зокрема, в теорії чисел, комбінаториці, обробці сигналів, теорії ймовірностей, статистиці, криптографії, акустиці, океанології, оптиці, геометрії. Такий набір застосувань в різних сферах науки дозволяє створити нові міжпредметні зв'язки в широкому діапазоні напрямків.

З математичної точки зору обробка фізичних сигналів через перетворення Фур'є дозволяє реалізувати декомпозицію фізичного сигналу на сукупність відповідних синусоїдальних складових з їх відповідними параметрами: частотою, їх амплітудою та фазою. Також є можливість здійснювати і обернений перехід у модельний фізичний сигнал, який по суті є композицією різноамплітудних частот коливання матерії з відповідними фазовими зсувами. Перетворення Фур'є можна розглядати, як транзити в розгляді фізичного явища з часового простору (time domain) в частотний простір (frequency domain) та у зворотному напрямку.

Аналіз саме звукових коливань є цікавою темою з прикладної точки зору і сьогодні. Підсистема аналізу звукових коливань може входити як складова частина в системи розпізнавання голосу, які в свою чергу можуть входити в системи захисту банків, військових об'єктів, державних установ. Крім того, такі системи можуть використовуватись в криміналістичних системах ідентифікації конкретних

звуків. Аналіз акустичних коливань може стати у нагоді при автоматизованій діагностиці різноманітних систем від механічних (двигуни внутрішнього згорання) до біологічних, в тому числі тіла людини. Задача ідентифікації звукових коливань актуальна з точки зору інформатики саме тому, що входить у велику проблему розпізнавання образів.

Людина легко справляється з проблемою розпізнавання, розрізняючи голоси. Процеси сприйняття і розпізнавання звуку у людини майже не торкаються свідомості. З біологічної точки зору ці процеси важко піддаються дослідженню.

**Метою роботи** є розгляд та апробація простих прикладів програмного коду в яких реалізуються Фур'є перетворення на мові Python. Цей код є важливим, адже може бути використаний, як аплікація в різноманітних розділах комп'ютерної фізики та в курсі захисту інформації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Звук це коливальний рух частинок пружного середовища, який поширюється у вигляді хвиль у газоподібному, рідкому чи твердому середовищах. Це фізичне явище суб'єктивно сприймається органами слуху людини чи тварини. Людина чує звук в діапазоні частот від 16 Герц до 20 кілоГерц.

Усяке тіло, що коливається зі звуковою частотою, будучи поміщеним у пружне середовище, стає джерелом звукових хвиль. У струнних інструментах джерело звуку — струна, з'єднана з резонатором - корпусом інструмента, а у гучномовцях звук випромінює пружна коливна поверхня тієї чи іншої форми. Спеціальним пристроєм для генерації каліброваних звуків є камертон.

Серед звуків, що ми чуємо, є такий сорт, що називається шумом. Йому відповідають нерегулярні короткі стохастичні коливання різної частоти, амплітуди і фази. Музичний звук має інший характер. Музика характеризується наявністю більш-менш тривалих тонів, чи музичних «нот».

Звук струни, що вібрує, породжується так званими стоячими хвилями струни. Ці хвилі при схильності до затухання все ж таки мають досить тривалий час дії. Звук, який при цьому виникає, триває поки струна коливається. Частотний спектр цього коливання є квазістатичним.

Аналіз звуку – це розклад складного звукового процесу на ряд гармонічних коливань через Фур'є перетворення. Частотний аналіз дозволяє отримати розподіл амплітуд складових за частотами, амплітудами та фазами. Це амплітудно - частотні спектри. Інколи – розподіл фаз частотних складових. Це – фазочастотні спектри [2].

Ідентифікація звуків базується на програмній реалізації математичного Фур'є перетворення, дозволяє швидко здійснювати дослідження індивідуальних характеристик звукових коливань, як сукупності гармонічних складових.

**Модельний експеримент.** Розглянемо Фур'є перетворення реалізовані на мові Python з використанням бібліотеки Numpy. Нижче представлений код програми, який спочатку синтезує звукові коливання, як сукупність гармонічних складових, а потім перетворенням Фур'є вилучає зі складного, щойно синтезованого амплітудно-часового спектру, амплітудно-частотні складові цього спектру.[3, 4]. Представлена програма діюча, її можна відновити, якщо зшити до купи представлені в тексті програмні фрагменти.

**Перший фрагмент програми** підключає потрібні бібліотеки та вводить початкові параметри експерименту.

```
from numpy import array, arange, abs as np_abs
from numpy.fft import rfft, rfftfreq
from math import sin, pi, exp
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib as mpl
FD = 250000 #частота дискретизації, відліків в секунду
N = 2500 #довжина вхідного масиву, N/FD секунд
F=25.0 #циклічна частота вхідного сигналу
w=(2.*pi*F/FD) #відлік кругової частоти
A = array([5.0, 10.0, 20.0]) # масив амплітуд гармонійних складових звуку
k = array([100, 200, 400]) # масив частот гармонійних складових звуку
```

**Другий фрагмент програми** реалізує синтез модельного звуку на основі вхідних амплітудно-частотних параметрів гармонічних складових цього звуку. Звук є амплітудно-часовими коливаннями середовища. З програмного фрагменту видно, що модельний звук формується двома циклами. Зовнішній цикл по параметру «t» - час. Внутрішній цикл по «i» перебирає синусоїдальні складові з притаманними їм амплітудами «A[i]» та частотами «k[i]». Параметр «i» відповідальний за частотний склад звуку. У циклі по «i» відбувається підстановка у відповідну формулу амплітуд гармонічних

складових та їх частотних коефіцієнтів «k». Видно, що в даному конкретному випадку, синтез звуку реалізується трьома частотними складовими, кожна з яких має свій амплітудний вклад.

Результуючий звук розташовується в масиві «Zvuk», який надалі і буде піддаватись перетворенням Фур'є. З формули, що відповідає за послідовне заповнення масиву у відповідності з розгортанням часу видна експоненціальна складова. Вона відповідає за затухання звукових коливань з часом. Результуючий графік представлений на рис.1.

```
# генерація звуку на основі частотно-амплітудних параметрів гармонійних складових
Zvuk = array([0 for t in range(N)]) # ініціалізація масиву модельного звуку
for t in range(N): # цикл по модельному часу
    for i in range(3): # цикл по модельних гармонічних складових
        Zvuk[t]=Zvuk[t]+A[i]*exp(1-t*0.002)*sin(k[i]*w*t) # формування модельного звуку
plt.plot(arange(N)/float(FD), Zvuk, 'r') # підготовка даних для виводу їх в вигляді графіку
plt.xlabel('Час, сек. '); plt.ylabel(' Амплітуда сигналу ') # вивід підписів на осях графіку
plt.title(' Вхідний сигнал '); plt.grid(True) # вивід заголовку та координатної сітки
plt.show() # вивід амплітудно-часового графіку звуку
```

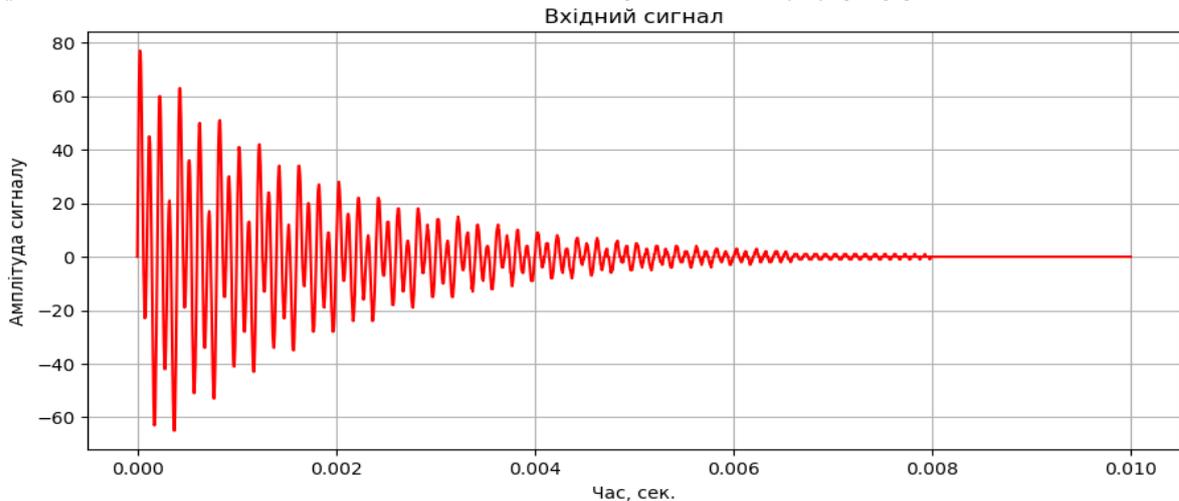


Рис.1 Графік синтезованого звуку

**Третій фрагмент програми** відповідає за Фур'є перетворення, що реалізує вилучення зі звуку, представленого амплітудно-часовою залежністю, амплітудно-частотних параметрів гармонічних складових звуку.

Функція `rfft()` з бібліотеки `numpy` обчислює одновимірне  $n$ -точкове дискретне перетворення Фур'є (DFT) дійсного масиву за допомогою ефективного алгоритму, який називається «швидке перетворення Фур'є» (ШПФ). Далі в програмному коді ми використали метод `rfftfreq()` для вилучення частотних даних, що відповідають методу `rfft()`.

```
# перетворення Фур'є сигналу з амплітудно-часового в амплітудно-частотний
Spectr= rfft(Zvuk) # обчислення дискретного дійсного rfft перетворення Фур'є
plt.plot(rfftfreq(N, 1./FD), np_abs( Spectr )/N) # підготовка даних для виводу їх в вигляді графіку
plt.xlabel('Частота, Гц'); plt.ylabel(' Амплітуда синусоїдальних складових ') # вивід підписів на осях графіку
plt.title('Спектр синусоїдальних складових звуку '); plt.grid(True) # вивід заголовку та координатної сітки
plt.show() # вивід амплітудно-частотного графіку гармонійних складових звуку
```

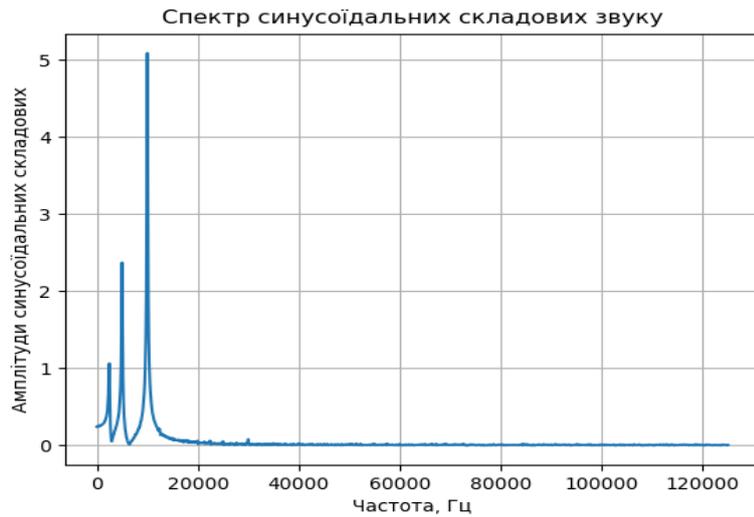


Рис.2 Амплітудно-частотний спектр звуку

З рис.2 видно, що Фур'є перетворення реалізоване в бібліотеці NumPy мови Python досить добре здійснює аналіз гармонічних складових звукових коливань.

Амплітуди гармонічних складових звуку, що представлені в модельному експерименті, співвідносяться, як 5: 10: 20, а частоти гармонічних складових співвідносяться, як 100: 200: 400.

В амплітудній і в частотній модальності вхідних параметрів діє один принцип: кожний наступний параметр перевищує попередній у два рази. Видно, що після перетворення, у вихідних параметрах (рис.2) ця тенденція теж приблизно відтворюється.

**Експериментальні дослідження реального звукового сигналу.** Були проведені також експериментальні дослідження реального звукового сигналу гітарної струни (рис.3) на предмет його спектрального аналізу за допомогою Фур'є перетворення (рис.4).

```
import numpy as np
import soundfile as sf
import matplotlib.pyplot as plt
data, fs = sf.read('zvuk_struni.wav') #завантаження звуку струни
N = len(data); T = 1.0/fs; x = np.linspace(0, (N*T), N);
plt.plot(x, data); plt.xlabel('Час, сек. '); plt.ylabel('Амплітуда сигналу')
plt.title('Вхідний сигнал'); plt.grid(True)
plt.show() # вивід амплітудно-часового графіку звуку
yf = np.fft.rfft(data); xf = np.fft.rfftfreq(data.size, d=T) # перетворення Фур'є
plt.plot(xf, yf); plt.xlabel('Частота, Гц'); plt.ylabel('Амплітуда синусоїдальних складових ')
plt.title('Спектр синусоїдальних складових звуку'); plt.grid(True)
plt.show() # вивід спектру гармонічних складових
```

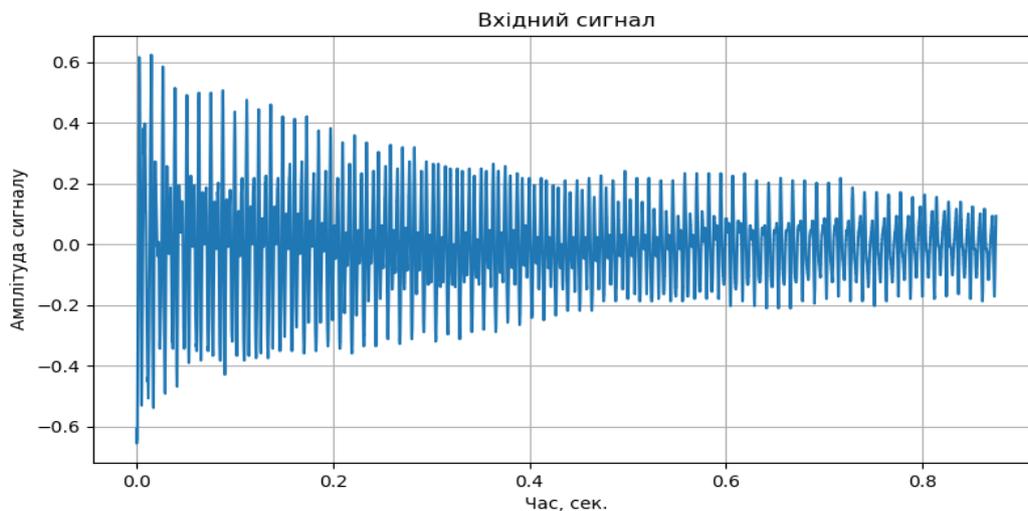


Рис.3 Графік реального звуку гітарної струни

Функція  $\text{fft}()$  повертає масив відповідної розмірності, в якому записаний результат ДПФ. Там містяться спочатку додатні частоти від нуля до частоти Найквіста (Котельнікова), потім від'ємні в порядку зростання.

У разі дійсного сигналу від'ємні частоти повністю симетричні додатнім, і тоді немає потреби їх записувати: довжина вихідного масиву  $N/2 + 1$ , частоти від нуля до частоти Найквіста. Необхідно зазначити, що дискретний спектр може дати не тільки додатні, а і від'ємні частоти. Це можна побачити, якщо записати ряд Фур'є у комплексній (експоненційній) формі:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{ik\omega_0 t}$$

де  $A_k$  є комплексним коефіцієнтом Фур'є, що дорівнює

$$A_k = A_k e^{-i\Phi_k} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-ik\omega_0 t} dt$$

Оскільки, в даному випадку  $k \in (-\infty, +\infty)$ , то спектральні характеристики  $A_k$  та  $\Phi_k$  будуть утворювати дискретний спектр, який має як додатні, так і від'ємні частоти. На практиці функція  $f(t)$  завжди є дійсною функцією. Тому від'ємні частоти фактично не несуть ніякої додаткової інформації, що можна легко показати, використовуючи властивості симетрії модуля та фази фур'є-образу, з яких випливає, що внаслідок дійсності функції при заміні додатних частот на від'ємні, амплітуди гармонічних складових не змінюються, а початкові фази змінюються на протилежні. Тобто амплітудний спектр є парною функцією, а фазовий – непарною функцією. Через це, аналізуючи спектральні характеристики сигналів, від'ємними частотами зазвичай нехтують.

Спектр синусоїдальних складових звуку

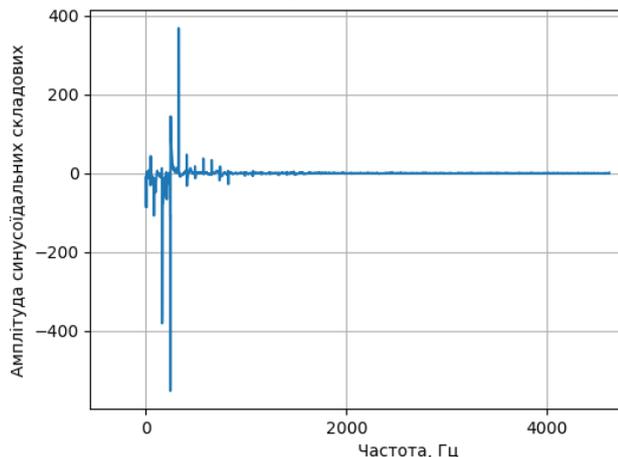


Рис.4 Амплітудно-частотний спектр звуку струни

Кожна складова спектра, записаного в комплексній формі, зображується на графіку двома лініями на частотах  $\pm\omega_k$  і має амплітуду  $A/2$ , а постійна складова зображується такою ж, як і в спектрі, записаному у дійсній формі. Спектр сигналу, якщо його записувати через комплексні гармоніки, на відміну від спектра у дійсній формі, займе на осі частот не тільки область додатних, але й область від'ємних значень, але амплітуди усіх гармонічних складових, окрім складової з  $\omega = 0$ , удвічі менші за амплітуди складових дійсного спектру.

Зрозуміло, від'ємні частоти не мають фізичного змісту, але, подання сигналу у комплексній формі робить його математичну обробку більш простою і зручною.

Зі спектру, представленого на рис.4 видно, два основних гармонічних коливання в спектрі струни з частотою 250 та 325 Гц. Коливання з частотою 325 Гц має амплітуду більше ніж в два рази більшу. Основна частота відповідає табличним значенням для найтовстішої (басової) гітарної струни.

#### Висновки

- Створено програмний код для дослідження індивідуальних характеристик звукових коливань, як сукупності гармонічних складових.
- Проведено первинну перевірку програми на предмет коректності роботи. Для цього синтезовано звукове коливання з трьох гармонічних складових та здійснено зворотні дії по аналізу звуку перетворенням Фур'є.
- Перевірка показала коректність у визначенні співвідношень між амплітудами гармонічних складових та відповідно співвідношень між частотами цих складових.

- Проведено Фур'є перетворення реального звуку, отриманий спектр звуку гітарної струни. Виявлено, що спектр містить спочатку додатні частоти від нуля до частоти Найквіста (Котельнікова), а потім і від'ємні. Виявлена також і симетрія додатних та від'ємних складових.
- Практична цінність роботи полягає в тому, що представлений у статті програмний код може бути застосований, як підсистема у прикладних програмах захисту, розпізнавання та керування системами різного характеру.
- Матеріал демонструє чисельні міжпредметні зв'язки математики та інформатики з різними розділами фізики та з курсом захисту інформації.

#### Список бібліографічного опису.

1. Головін М.Б. Аплікації з комп'ютерної фізики мовою Visual Python на прикладі моделювання силової взаємодії. / Н.А.Головіна, М.Б.Головін, А.А.Федонюк // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво" Луцьк, 2020. Випуск № 40 с.16-22. <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/151>
2. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. — М.: Радио и связь, 1985.
3. Дж. Вандер Плас. Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение = Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data. — Питер, 2017. — 576 с.
4. Тараненко Ю. Спектральный анализ сигналов нелинейных звеньев АСУ на Python <https://habr.com/ru/post/325502/>

#### References

1. Holovin M.B. Applications of computer physics via Visual Python language on the example of modeling of force interaction. / N.A.Holovina, M.B. Holovin, A.A.Fedoniuk // Computer integrated technologies: education, science, production" Lutsk, 2020. Issue № 40 с.16-22. <http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/151>
2. Nussbaumer G. Fast Fourier transforms and algorithms for calculating convolutions. — M.: Radio and communication, 1985.
3. Gr.Vander Plas. Python for complex tasks. Data science and machine learning = Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data. — Petersburg, 2017. — 576 с.
4. Taranenko Yu. Spectral analysis of signals of non-linear links of the automated control system on Python. <https://habr.com/ru/post/325502/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-07>

UDC 517.958:52/59

**Hubal Halyna M.**, Ph.D. (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor,  
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

## MATHEMATICAL MODELING OF BIOCHEMICAL PROCESSES RATES IN BIOLOGICAL SYSTEMS

**Губаль Г.М. Математичне моделювання швидкостей біохімічних процесів в біологічних системах.** У статті виконано математичне моделювання швидкостей біохімічних процесів в біологічних системах. Розглянуто і досліджено приклад ферментативних реакцій.

**Ключові слова:** біохімічний процес, ферментативна реакція, система диференціальних рівнянь.

**Губаль Г.Н. Математическое моделирование скоростей биохимических процессов в биологических системах.** В статье выполнено математическое моделирование скоростей биохимических процессов в биологических системах. Рассмотрено и исследовано пример ферментативных реакций.

**Ключевые слова:** биохимический процесс, ферментативная реакция, система дифференциальных уравнений.

**Hubal H.M. Mathematical modeling of biochemical processes rates in biological systems.** Mathematical modeling of biochemical processes rates in biological systems is performed in the article. An example of enzymatic reactions is considered and investigated.

**Keywords:** biochemical process, enzymatic reaction, system of differential equations.

**Formulation of the scientific problem.** The processes that take place in living cells consist of a large number of reactions catalyzed by various enzymes [1]-[3]. For mathematical modeling of these biochemical processes in biological systems, it is necessary to construct systems of a large number of nonlinear differential equations with the same large number of variables [4]-[6]. Even mathematical modeling of individual chains of biochemical processes that consist of a large number of enzymatic reactions is quite complex.

**Research analysis.** To solve these problems, it is necessary to make simplifications taking into account some features of these reactions.

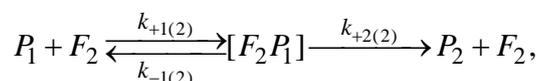
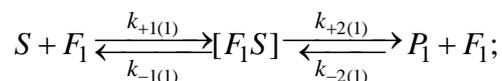
In the chain of reactions that take place in a living cell, the slowest reaction is determining. The slowest reaction is determined by the lowest value of the velocities. In the chain of enzymatic reactions, the reaction with the lowest maximum rate will be decisive (see the example of a chain of two consecutive enzymatic reactions given below). When diffusing through several partitions, the determining link will be the partition with the lowest diffusion coefficient. By the reaction rate, we mean the maximum rate of that reaction.

**Presentation of the main material and the justification of the obtained research results.** To find the determining link in the chain of biochemical reactions, it is necessary to find out how the rate of the whole process, i.e. the rate of production of the last link, depends on the rates of individual reactions. Obviously, when changing the maximum rates, any changes in the fast links will not affect the rate of the whole process. The rate of the whole process is affected only by the slowest link.

When the rates of individual reactions in the chain of biochemical reactions differ by orders of magnitude, i.e. by 10; 100 or more times, all fast reactions have time to reach equilibrium during the slowest reaction.

Since enzymatic reactions have the properties of low inversion and saturation, even when the rates of individual reactions differ little, the rate of the whole process depends only on the rate of the slowest link. Therefore, changes in other faster reactions have almost no effect on the overall rate.

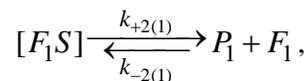
Let us prove this using the example of a chain of two consecutive enzymatic reactions:



where

- the substrate  $S$ , combining with the enzyme  $F_1$  (in the first reaction), forms the complex  $[F_1S]$ , and the final reaction product  $P_1$  is the substrate (the initial product) of the second reaction;
- $S$  is the substrate of the first reaction;
- $F_1, F_2$  are enzymes;
- $k_{+2(1)}$  is the absolute rate of decay of the complex  $[F_1S]$  into the product  $P_1$  and the enzyme  $F_1$ ;
- $k_{-2(1)}$  is the absolute reaction rate of the synthesis of the complex  $[F_1S]$ ;
- (1), (2) are indices that indicate, respectively, the first, second reaction.

In the reaction



a short arrow in the opposite direction indicates that the reaction is slightly reversed.

Note that the reaction rate primarily depends on the probability of collision, for example, in the first reaction of the substrate molecules  $S$  with the enzyme molecules  $F_1$ . The probability of encountering these molecules is proportional to the product of concentrations  $c_S$  and  $c_{F_1}$ . Then the reaction rate of their synthesis during the interaction is

$$v_{[F_1S]} = k_{+1(1)} c_{F_1} c_S,$$

where

- $k_{+1(1)}$  is the absolute reaction rate of the synthesis of the complex  $[F_1S]$ , which takes into account the average collision efficiency, depends on the temperature (which determines the rate of molecules) and other factors;
- $c_{F_1}$  is the concentration of the enzyme  $F_1$  (the concentration of the free enzyme  $F_1$ );
- $c_S$  is the concentration of the substrate  $S$ .

By the effectiveness of the collision, we mean the formation, in this case, of a new complex molecule of the complex of two molecules  $[F_1S]$  at the meeting (collision) of the molecule of the substrate  $S$  with the molecule of the enzyme  $F_1$ .

Similarly, the rate of decay of the complex  $[F_1S]$  is

$$v_{[F_1S] \rightarrow F_1 + S} = k_{-1(1)} c_{[F_1S]},$$

where

- $k_{-1(1)}$  is the absolute rate of decay of the complex  $[F_1S]$  into the substrate  $S$  and the enzyme  $F_1$ ;
- $c_{[F_1S]}$  is the concentration of the complex  $[F_1S]$  (the concentration of the bound enzyme  $F_1$ ).

Other rates of these two successive enzymatic reactions are similarly determined.

If the maximum rate of the second reaction is greater than the maximum rate of the first one, then the rate of the process is determined by the first reaction. So, everything that is produced in the first reaction, goes on without delay.

If, for example, the action of any inhibitors changes the rate of the second reaction, then taking into account the irreversibility of the second reaction, the rate of the first reaction will not change if the rate of the second reaction remains at least slightly higher than the first one. In this case, the rate of this whole process can only be affected by inhibitors of the first reaction. Thus, in this case, the inhibitors of the first reaction can control the rate of the whole process.

However, if the maximum rate of the second reaction is less than the first one, the intermediate product will accumulate. If we do not take into account at least the weak inversion of the first reaction or any

other ways of outflow of the product, the accumulation will continue indefinitely and a steady flow of the process is impossible.

Thus, in this case, the reversal (at least weak) plays an important role and must be taken into account.

Thus, the concentration of the intermediate product will grow until its reverse flow is equal to the difference between the inflow due to the first reaction and the outflow due to the second one. Therefore, a large amount of this product will accumulate, i.e. its reserve.

In this case, the rate of the second reaction as a determining one due to saturation will not depend on the concentration of the intermediate product and, therefore, on the values that affect the rate of the first reaction. This will be as long as the rate of the first reaction is greater than the rate of the second reaction.

Thus, the inhibitor does not affect the rate of the whole process as long as the rate of reaction it affects is not the lowest. However, when a certain concentration of the inhibitor is reached, when the rate of the reaction it affects becomes less than the rate of other reactions, then a further increase in the concentration of this inhibitor reduces the rate of the whole process. Then other inhibitors cease to act on the rate of the whole process.

This course of biochemical processes in biological systems simplifies the research.

The problem of regulation and self-regulation is one of the most important for cells. The principle of the lowest rate facilitates regulation, allows, in stationary conditions, to watch separate especially important reactions despite others.

If this principle of the lowest rate did not work, the cell would need to monitor a large number of different reactions simultaneously.

Obviously, the evolution of biological systems led to the selection of the connections between processes that simplified and made more reliable the system of self-regulation.

The accumulation of the product reserve before the next link (as described above) ensures the independent operation of this next link, making it quite autonomous and independent of other links of the process. This principle of autonomy of individual links is also very important for self-regulating systems.

The presence of a product reserve leads to greater inertia of the system. When, under the action of inhibitors, the accumulation of the product reserve occurs before another link, it switches to the second mode. The larger the reserve, the slower this switch is.

To consider transient modes, it is necessary to consider nonstationary solutions of kinetic equations.

The study of biological systems over time is quite complex. Even in simple biochemical processes in biological systems, dozens of intermediate products interact. Therefore, mathematical models of these processes contain dozens of equations.

To simplify mathematical models, it is necessary to reduce the number of variables and equations. To do this, we can use the fact that the rates of individual reactions in biochemical processes are quite different. There are mostly normal, fast, very fast, slow and very slow reactions. For example, if we are interested in changes in the system that take place in a few minutes, then the processes that take place in seconds and split seconds are considered fast and very fast, and the processes that take place in hours and days are considered slow and very slow.

If we are interested in changes by seconds, then processes by minutes are considered to be slow.

Thus, we can divide reactions into such groups: a) and b). Note the following:

- a) All concentrations that change slowly and very slowly can be considered to be constant and equal to the initial value. Then in the equations the corresponding variables become parameters and the number of equations decreases.
- b) In fast and very fast reactions, stationary concentrations are established. Then the differential equations describing these reactions are replaced by algebraic equations and the system of differential equations is further simplified.

After these simplifications a) and b) only reactions proceeding at approximately the same rates will remain.

Consider the following example.

Suppose that among  $N$  components of the biochemical process, there is a component with the concentration  $c_1$ , that is formed very quickly (i.e. the rate  $\frac{dc_1}{dt}$  is very high), but is also consumed very quickly. Otherwise, it would accumulate quickly. Then taking into account that the rate  $\frac{dc_1}{dt}$  is very high, for this component, the differential equation can be written in the form:

$$\frac{dc_1}{dt} = Mf_1(c_1, c_2, c_3, \dots, c_N) \quad (1)$$

or

$$m \frac{dc_1}{dt} = f_1(c_1, c_2, c_3, \dots, c_N), \quad (2)$$

where

$$m = \frac{1}{M};$$

$M$  is a very large number, i.e.  $M$  is much greater than one ( $M \gg 1$ ) and, therefore,  $0 < m \ll 1$ , and  $f_1(c_1, c_2, c_3, \dots, c_N)$  is a normal rate in magnitude.

From differential equation (2), it is obvious that the rate  $\frac{dc_1}{dt}$  is very high, and the rate  $f_1(c_1, c_2, c_3, \dots, c_N)$  is a normal in magnitude.

Then according to b) given above, differential equation (2) can be replaced by the algebraic equation that connects stationary concentrations:

$$f_1(\bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \dots, \bar{c}_N) = 0. \quad (3)$$

Note that, when replacing formula (2) by formula (3), it is taken into account that  $\frac{d\bar{c}_1}{dt} = 0$  since the stationary concentration  $\bar{c}_1$  is a constant value.

From equation (3), we express  $\bar{c}_1$  through other variables. Thus, we reduce the number of differential equations.

Let the concentration  $c_1$ , at the initial moment of time  $t_0$ , differ from its stationary value  $\bar{c}_1$  by a small value  $\Delta c_1$ . Then

$$c_1 = \bar{c}_1 + \Delta c_1.$$

All other concentrations should be stationary, i.e.  $\bar{c}_2, \bar{c}_3, \dots, \bar{c}_N$ , at  $t = t_0$ .

Then the function  $f_1$ , at the moment of time  $t_0$ , can be written in the form:

$$f_1 = f_1(\bar{c}_1 + \Delta c_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \dots, \bar{c}_N). \quad (4)$$

Let us decompose function (4) into a Taylor series on  $\Delta c_1$  about the point  $\bar{c}_1$ . Taking into account the smallness  $\Delta c_1$ , we will limit ourselves to the first term of the series. Then taking into account formula (3), we obtain:

$$f_1(\bar{c}_1 + \Delta c_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \dots, \bar{c}_N) \approx f_1(\bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \dots, \bar{c}_N) + \left. \frac{\partial f_1}{\partial c_1} \right|_{c_1=\bar{c}_1} \Delta c_1 = 0 + \lambda \Delta c_1 = \lambda \Delta c_1, \quad (5)$$

where  $\lambda = \left. \frac{\partial f_1}{\partial c_1} \right|_{c_1=\bar{c}_1}$ .

Note that the partial derivative  $\frac{\partial f_1}{\partial c_1}$  of the function  $f_1(c_1, c_2, c_3, \dots, c_N)$  with respect to  $c_1$  at the point  $c_1 = \bar{c}_1$  is taken at  $c_2 = \bar{c}_2, c_3 = \bar{c}_3, \dots, c_N = \bar{c}_N$ .

Substituting

$$c_1 = \bar{c}_1 + \Delta c_1 \quad \text{i} \quad f_1(c_1, c_2, c_3, \dots, c_N) = f_1(\bar{c}_1 + \Delta c_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \dots, \bar{c}_N)$$

into differential equation (1), we obtain:

$$\frac{d}{dt}(\bar{c}_1 + \Delta c_1) = M f_1(\bar{c}_1 + \Delta c_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3, \dots, \bar{c}_N).$$

Then taking into account that  $\bar{c}_1$  is constant, and  $\Delta c_1$  is variable, i.e.  $\Delta c_1 = \Delta c_1(t)$ , and formula (5), we obtain:

$$\frac{d}{dt} \Delta c_1(t) = M \lambda \Delta c_1(t). \quad (6)$$

Note that for simplification in formula (6), we put the sign = instead of the sign  $\approx$ . Let us write differential equation (6) in the following form:

$$\frac{d(\Delta c_1(t))}{\Delta c_1(t)} = M \lambda dt.$$

Then

$$\int_{\Delta c_1(t_0)}^{\Delta c_1(t)} \frac{d(\Delta c_1(t))}{\Delta c_1(t)} = \int_{t_0}^t M \lambda dt,$$

whence at  $\Delta c_1(t) > 0$  (and therefore,  $\Delta c_1(t_0) > 0$ ), taking into account that  $M$  and  $\lambda$  do not depend on  $t$ , we get:

$$\ln(\Delta c_1(t)) \Big|_{\Delta c_1(t_0)}^{\Delta c_1(t)} = M \lambda t \Big|_{t_0}^t$$

or

$$\ln(\Delta c_1(t)) - \ln(\Delta c_1(t_0)) = M \lambda (t - t_0),$$

or

$$\ln \frac{\Delta c_1(t)}{\Delta c_1(t_0)} = M \lambda (t - t_0).$$

Hence, we obtain the solution of differential equation (6):

$$\frac{\Delta c_1(t)}{\Delta c_1(t_0)} = e^{M \lambda (t - t_0)}$$

or

$$\Delta c_1(t) = (\Delta c_1(t_0)) e^{M \lambda (t - t_0)}. \quad (7)$$

If a steady state corresponding to equation (3) is stable, then over time ( $t$  increases)  $\Delta c_1(t)$  decreases. Then (at the stable steady state) solution (7) of differential equation (6) takes on the form:

$$\Delta c_1(t) = (\Delta c_1(t_0)) e^{-M|\lambda|(t-t_0)}. \quad (8)$$

Thus, according to formula (8), establishment of the stable steady state corresponding to equation (3), occurs because as  $|\lambda| \rightarrow \infty$ , the value  $\Delta c_1(t) \rightarrow 0$ .

The presence in formula (8) of a very large factor  $M$  in the exponent provides a very fast approach to zero  $\Delta c_1(t)$  (i.e.  $\Delta c_1(t) \rightarrow 0$ ) and, therefore, very fast establishment of stationary value of the concentration  $\bar{c}_1$  (i.e.  $c_1(t) \rightarrow \bar{c}_1$ ) since  $c_1(t) = \bar{c}_1 + \Delta c_1(t)$ .

In biochemical processes, the rates of individual reactions are significantly different.

The fastest reactions in living cells are enzymatic.

The rate of the enzymatic reaction is characterized by the time of the enzymatic reaction  $\tau_F$  that depends on the number of revolutions of the saturated enzyme:

$$\tau_F \approx \frac{c_S}{c_{F_{0(1)}}} \cdot \frac{1}{k_{+2(1)}},$$

where

$$c_{F_{0(1)}} = c_{F_1} + c_{[F_1S]};$$

$c_{F_{0(1)}}$  is the initial concentration of the enzyme  $F_1$ ;  $c_{F_{0(1)}} = \text{const}$ ;

$c_{F_1}$  is the concentration of the free enzyme  $F_1$ ;

$c_{[F_1S]}$  is the concentration of the bound enzyme  $F_1$  (the concentration of the complex  $[F_1S]$ ).

The values  $\tau_F$  in different enzymes are quite different. They are from hundredths of a second to minutes. Such a large difference between the rates makes it possible to distinguish fast and very fast reactions in comparison with normal ones in the chain of enzymatic reactions. Then the rate of the chain of reactions is determined by the slowest reactions. These times can be even a little longer due to the accumulation of reserve.

The next step is the synthesis of macromolecules. These processes require much more time. The attachment of only one amino acid to the protein chain or one nucleotide to the RNA or DNA chain takes a few seconds, and there should be hundreds and thousands of such acts. In comparison with them, all purely enzymatic processes can be considered to be very fast.

The longest processes are the construction of the working apparatus of the cell: ribosomes, mitochondria, etc. The time required for this construction, in different biological organisms, is different: from hours to days.

In unicellular organisms, the time of construction is basically of the same order as the period of reproduction, i.e. lifetime. Thus, as soon as the cell apparatus is built and started working, the cell reproduces again (divides).

In multicellular organisms, the cell lifetime in a stable state can be much longer than the cell construction time. This is because in higher organisms, each cell lives not only for itself, but also performs certain functions for the whole organism. The processes of cell construction are the most inertial, because they are mainly associated with long delays in the body's response to external influences.

Thus, in any investigated time interval it is possible to allocate some main defining reactions and to construct the system of differential equations for them.

In the mathematical study of such systems of differential equations, we can get important information about biochemical processes that take place in cells.

However, it is often difficult or impossible to solve even simplified systems of differential equations in analytical form accurately. Therefore, it is often sufficient to know only the basic qualitative

characteristics of the solutions. These characteristics are valuable when comparing the results of mathematical modeling of biochemical processes in biological systems with experimental ones.

**Conclusions and prospects for further research.** Mathematical modeling of biochemical processes rates in biological systems is performed in the article. The example of enzymatic reactions is considered and investigated.

A promising area of further research is mathematical analysis of qualitative characteristics of the solutions of systems of differential equations that describe biochemical processes rates in biological systems.

#### Список бібліографічного опису

1. П.К. Робінзон (2015) Ферменти: принципи та біотехнологічне застосування. *Essays Biochem.*, № 59, С. 1-41.
2. П.К. Агарвал (2006) Ферменти: інтегрований погляд на структуру, динаміку та функції. *Microbial Cell Factories*, т. 5, № 2. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-5-2>.
3. Т. Палмер, Ф.Л. Боннер (2007) *Ферменти: біохімія, біотехнологія, клінічна хімія*. 2-ге вид., Woodhead Publishing.
4. Б. Демидович, В. Моденов (2008) *Дифференциальные уравнения*. 3-е изд., Санкт-Петербург: Лань.
5. Д.Г. Зілл (2017) *Перший курс з диференціальних рівнянь з додатками для моделювання*. 11-ге вид., Cengage Learning.
6. А. Стразерс, М. Поттер (2019) *Дифференціальні рівняння: для науковців та інженерів*. 2-ге вид., Springer.

#### References

1. Robinson, P.K. (2015) Enzymes: principles and biotechnological applications. *Essays Biochem.*, no. 59, P. 1-41.
2. Agarwal, P.K. (2006) Enzymes: an integrated view of structure, dynamics and function. *Microbial Cell Factories*, vol. 5, no. 2. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-5-2>.
3. Palmer, T. & Bonner, P.L. (2007) *Enzymes: biochemistry, biotechnology, clinical chemistry*. 2nd ed., Woodhead Publishing.
4. Demidovich, B. & Modenov, V. (2008) *Differential Equations*. 3rd ed., Saint Petersburg: Lan.
5. Zill, D.G. (2017) *A first course in differential equations with modeling applications*. 11th ed., Cengage Learning.
6. Struthers, A. & Potter, M. (2019) *Differential equations: for scientists and engineers*. 2nd ed., Springer.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-08>

УДК: 004.93.1; 681.142

<sup>1,2</sup>Заяць Василь Михайлович, д.т.н., професор;

<https://orcid.org/0000-0001-7150-1070>

<sup>1</sup>Маєвський Яцек, PhD, доцент;

<https://orcid.org/0000-0001-7715-6415>

<sup>3</sup>Заяць Марія Михайлівна, старший викладач.

<https://orcid.org/0000-0002-9015-0138>

<sup>1</sup>Університет Технологічно-Природничий (УТР), м. Бидгощ, Польща.

<sup>2</sup>Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна.

<sup>3</sup>НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

## ОСОБЛИВОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ PSPICE

**Заяць В.М., Маєвський Яцек, Заяць М.М. Особливості та функціональні можливості програмного комплексу Pspice.** В роботі взначені особливості вхідної мови даного програмного комплексу, способи опису речень вхідної мови, побудови власних моделей досліджуваних об'єктів та використання моделей, заданих у відкритій бібліотеці даного комплексу. Описано можливі режими роботи комплексу та способи їх ефективного використання. Отримані результати дозволяють проводити ефективне схемо технічне моделювання та аналіз як відомих об'єктів, так і новостворюваних, забезпечуючи при цьому економію матеріальних та людських ресурсів.

**Ключові слова:** модель, комп'ютерне моделювання, директиви управління, нелінійні сигнали, мова програмування, комплекс програм Pspice.

**Заяць В.М., Маєвський Яцек, Заяць М.М. Особенности и функциональные возможности программного комплекса Pspice.** В работе отмечены особенности входного языка данного программного комплекса, способы описания предложенный входного языка, построения собственных моделей изучаемых объектов и использования моделей, заданных в открытой библиотеке данного комплекса. Описаны возможные режимы работы комплекса и способы их эффективного использования. Полученные результаты позволяют проводить эффективное схемо техническое моделирование и анализ как известных объектов, так и вновь создаваемых, обеспечивая при этом экономию материальных и человеческих ресурсов.

**Ключевые слова:** модель, компьютерное моделирование, директивы управления, нелинейные сигналы, язык программирования, комплекс программ Pspice.

**Zaiats V.M., Majewski Jacek, Zaiats M.M. System approach to bilding models for intelligent processing of data in eco-information systems.** The paper notes the features of the input language of this software package, methods of describing sentences of the input language, building own models of the studied objekt and using the models specified in the open library of this complex. Possible operating modes of the complex and methods of their effective use are described. The results obtained make it possible to carry out effective circuit and technical modeling and analysis of both known objekts and newly created ones, while ensuring the economy of material and human resources.

**Keywords:** model, computer simulation, control directives, nonlinear signals, programming language, Pspice software packages.

**Вступ і постановка проблеми.** При аналізі динамічних процесів складної природи доцільно скористатися створенням дискретних моделей, підходи до побудови яких описано в роботах [1-3].

При створенні нових реальних пристроїв, дослідженні невивчених фізичних чи природних явищ, побудові систем розпізнавання та ідентифікації, що мають бажані характеристики інформаційного сигналу або невідомі характеристики, які підлягають вивченню, доцільно провести аналітичне або комп'ютерне моделювання й аналіз, створивши адекватні математичної моделі об'єкта, що розробляється чи вивчається. Такий підхід вимагає значно менших часових і технічних засобів порівняно з фізичним чи натурним експериментом, особливо на попередній стадії розробки моделі чи аналізі складно структурованого процесу за відсутності достовірної апріорної інформації про оточуюче середовище та поведінку об'єктів, що в ньому знаходяться.

Останнім часом у нелінійній динаміці широке застосування знаходять дискретні моделі систем [3 4], для яких дискретність закладена в природі самого об'єкта досліджень, а не є наслідком дискретизації неперервної системи.

Доцільність використання дискретних за своїм походженням моделей пояснюється такими особливостями:

- простотою математичного опису порівняно з неперервними моделями;

- наявністю суттєво ширшого спектру динамічних режимів порівняно з відомими моделями;
- нескінченною вимірністю, що дозволяє моделювати кожну нову гармоніку процесу шляхом її введення у вектор змінних стану, тоді як для неперервних систем для вирішення цієї задачі необхідно підвищувати розмірність системи;
- відсутністю необхідності визначення кроку дискретизації, оцінки локальної і глобальної похибок чисельних методів, областей стійкості та синхронізації;
- зручністю та кращою адаптованістю до постановки комп'ютерного експерименту порівняно з неперервними моделями.
- можливість прогнозування та передбачення поведінки об'єкта чи явища в майбутньому на основі неповних вхідних даних

Моделі, дискретні за своєю природою, застосовні як до побудови пристроїв, що мають бажані режими, так і до розпізнавання та ідентифікації ситуацій у системах зі складною динамікою й поведінкою.

Найбільш простими і зручним до аналізу дискретних моделей є комплекс програм Pspice [5, 6, 7], що дозволяє аналізувати їх відносно нескладними засобами, зберігаючи якісні особливості процесу і в першому наближенні отримати аналітичні оцінки для прогнозування його поведінки. Опису вхідної мови та особливостей використання комплексу програм Pspice і присвячена дана робота.

**Метою роботи** є опис особливостей використання та функціональних можливостей комплексу програм Pspice, способів задання речень вхідної мови, створення власних моделей об'єктів та використання наявних у бібліотеці даного комплексу. Побудова та аналіз моделі досліджуваного об'єкту дасть можливість в першому наближенні оцінити поведінку досліджуваного об'єкту та визначити напрями та умови його доцільного використання,

**Вхідна мова Pspice.** Комплекс програм Pspice призначений для моделювання аналогових, цифрових та аналогово-цифрових пристроїв та ідентифікації параметрів моделей досліджуваних об'єктів. Вхідна мова Pspice є доволі простою і зручною в користуванні. Складання завдання на виконання розпочинається з присвоєння імен вузлам принципової схеми, які можуть бути цілими числами від 0 до 9999 або алфавітно-цифровими символами. Посилання на алфавітно – цифрові вузли здійснюють у квадратних дужках.

При створенні завдання задається довільне ім'я файлу, яке по замовчуванню має розширення .CIR. Перша стрічка завдання – це заголовок, який потім виводиться у вихідному файлі (містить будь-який текст без кирилиці). Коментар поміщається в «\*». Будь – який текст у стрічці після «;» сприймається як коментар. Завдання закінчується директивою .END. Порядок, в якому вводяться стрічки завдання не має значення. Для продовження рядка в іншому рядку використовується символ + у першій позиції.

Програма Pspice не розрізняє великі та малі букви. Коми, знаки рівності, пропуски є еквівалентні. В одному завданні можна описати декілька задач на моделювання, тим самим зекономити час на запуску кожного із завдань. Складання завдання починається з нумерації вузлів і довільного опису всіх елементів принципової схеми.

Усі речення вхідної мови поділяються на опис компонент і директиви управління завданням. Структура опису компонент є наступною:

<ім'я компонента>, <номери двох або більше вузлів, ім'я моделі>,  
<числові дані>.

Ім'я компоненти складається з послідовності символів латинського алфавіту й цифр довжиною не більше 133 символів (рекомендується 8 символів). Перший символ імені компоненти – букви латинського алфавіту від А до Z. Перший символ імені визначає тип компоненти:

- В – арсенід-гелієвий польовий транзистор із каналом n-типу;
- С – конденсатор;

- D – діод;
- E – джерело напруги, кероване напругою;
- F – джерело струму, кероване струмом;
- G – джерело струму, кероване напругою;
- H – джерело напруги, кероване струмом;
- I – незалежне джерело струму;
- J – польовий транзистор із керованим р-п переходом;
- K – взаємна індуктивність або магнітний сердечник трансформатора;
- L – індуктивність;
- M – МОП – транзистор;
- N – аналого-цифровий перетворювач;
- O – цифро-аналоговий перетворювач;
- Q – біполярний транзистор;
- R – резистор;
- S – ключ, керований напругою;
- T – лінія затримки;
- V – незалежне джерело напруги;
- W – ключ, керований напругою;
- U – цифровий пристрій;
- X – макромодель.

Номери вузлів повинні слідувати в певному порядку для кожної компоненти. Ім'я моделі компонентів не є обов'язковим параметром. Він вказується при створенні власної моделі або використання існуючої. Далі вказують числові значення параметрів компоненти. Масштабування чисел здійснюється за допомогою суфіксів.

$$F = 10^{-15};$$

$$P = 10^{-12};$$

$$N = 10^{-9};$$

$$U = 10^{-6};$$

$$M = 10^{-3};$$

$$K = 10^3;$$

$$MEG = 10^6;$$

$$G = 10^9;$$

$$T = 10^{12}.$$

Параметри компонент вказуються двома способами: безпосередньо в реченні вхідного файлу або за допомогою директиви `.MODEL`, яка має наступну структуру

.MODEL <ім'я моделі> <ім'я типу> <ім'я параметру>=<значення> <допустимий розкид параметрів>.

Тип компоненти визначається наступним чином:

RES- резистор

CAP- конденсатор

IND- індуктивність

D- діод

NPN- біполярний n-p-n транзистор

PNP- біполярний p-n-p транзистор

UDLY- цифрова лінія затримки

В директиві .MODEL в круглих дужках вказується список значень параметрів моделі:

.MODEL RM RES (R=1.5 , TC1=0.2,TC2=0.05 )

.MODEL CK CAP(C=1 , DEV= 0.1).

Опис моделі реалізується двома реченнями:

R1 2 3 RM 2

.MODEL RM (R=0.5 TR1=0.05 TR2=0.02)

де нелінійний опір вираховується згідно формули:

$$R1 = \langle \text{опір} \rangle \cdot R(1 + TR1(T - T0) + TR2(T - T0)^2)$$

Наведемо приклад опису нелінійної ємності:

C1 6 7 cmod 10U

.MODEL cmod cap (C=2.5 VC1=0.1 VC2=0.2),

де нелінійна ємність вираховується згідно формули:

$$C1 = \langle \text{ємність} \rangle \cdot C \cdot (1 + VC1 \cdot V + TC1(T - T0))$$

Цілком аналогічно задаються величиною нелінійної індуктивності. Для опису незалежних джерел живлення служить таке подання:

I1 <вузол1> <вузол2> DC <значення> AC <вузол> <фаза>.

Для прикладу

П 1 2 2.3та

V 4 5 DC 0.02

V 7 8 AC 1.95

При аналізі перехідних процесів можна задавати цілий набір нелінійних функцій часу, поведінка яких зображена на рис. 1-3. Варіюючи параметри цих функцій можна моделювати сигнали різної форми та тривалості, використовуючи такі імена:

$EXP(y_1, y_2, t_1, t_2, t_3)$  - експоненційна функція

$PULSE(y_1, y_2, t_1, t_2, t_3, t, T)$  - імпульсна функція;

$SIN(y_0, y_u, f, t_1, d, \varphi)$  - гармонічна функція.

Зауважмо, що задаючи в гармонічній функції значення параметра  $d$  відмінне від нуля можна змоделювати зникаючу синусоїду чи косинусоїду

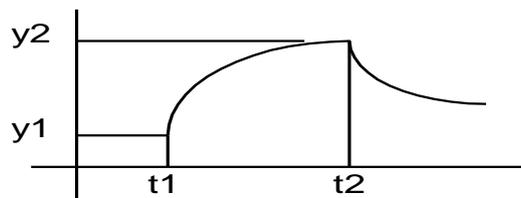


Рис. 1. Графік експоненційної функції

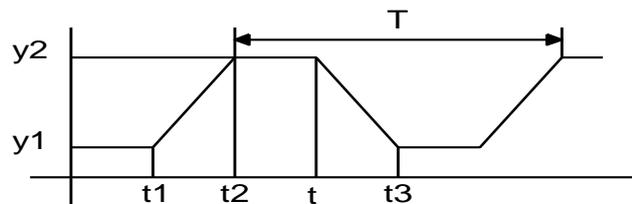


Рис. 2. Графік імпульсної функції

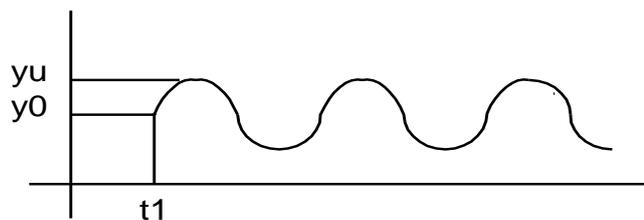


Рис. 3 Графік гармонічної функції

Для моделювання залежних джерел струму та напруги використовується поліноміальна функція POLY, яка апроксимується виразом

$$Y = P_0 + P_1 X_1 + P_2 X_2 + \dots + P_N X_N + P_{N+1} X_1^2 + P_{N+2} X_1 X_2 + \dots + P_{N+N} X_1 X_N + P_{2N+1} X_2^2 + \dots + P_{2N+N-1} X_2 X_N + \dots$$

При  $n = 1$

$$Y = f(X_1) = P_0 + P_1 X_1 + P_2 X_1^2 + \dots$$

При  $n = 2$

$$Y = f(X_1, X_2) = P_0 + P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_1^2 + P_4 X_1 X_2 + P_5 X_2^2$$

При  $n = 3$

$$Y = f(X_1, X_2, X_3) = P_0 + P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3 + P_4 X_1^2 + P_5 X_1 X_2 + P_6 X_1 X_3 + P_7 X_2^2 + P_8 X_2 X_3 + P_9 X_3^2 + P_{10} X_1^3 + P_{11} X_1^2 X_2 + P_{12} X_1^2 X_3 + P_{13} X_1 X_2^2 + P_{14} X_1 X_2 X_3 + P_{15} X_1 X_3^2 + P_{16} X_2^3 + P_{17} X_2^2 X_3 + P_{18} X_2 X_3^2 + P_{19} X_3^3$$

Для прикладу джерело  $E_{NE} = 0 + 13,6V_{3,0} + 0,2V_{4,6} + 0,1V_{3,0}^2$  описується так:

$$ENE\ 50\ 51\ poly\ (2)\ (3,0)\ (4,6)\ 0,0\ 13,6\ 0,2\ 0,1.$$

Ця функція може бути застосована для побудови систем з модуляцією, зокрема, до аналізу амплітудно-модульованих коливань.

**Основні директиви управління завданнями в середовищі Pspice.** Основні директивами управління завданнями в середовищі Pspice дозволяє проводити 9 видів аналізу:

1. аналіз схеми по постійному струму
2. багатоваріантний аналіз при зміні параметрів схеми
3. чутливість характеристик кола до змін параметрів
4. розрахунок перехідних функцій
5. частотні характеристики лінеаризованої схеми
6. спектральні густини внутрішніх шумів
7. розрахунок перехідних аналіз характеристик
8. спектральний аналіз
9. статичний аналіз по методу Монте – Карло

Перший режим реалізується завжди без будь-яких директив і видається карта вузлових потенціалів. Для повної інформації використовується директива .DP .

Багатоваріантний аналіз при варіації змінної або кількох змінних  
 .DC <ім'я 1-ї зм.> <поч. зч> <кін. зм.> <приріст-ї зм.> <поч. зч>  
 <кін. зм.> <приріст>.

Чутливість характеристик розраховується згідно директиви  
 .SENS <вихідні змінні>

Скажімо, якщо схеми складаються з R1,R2,G3 і маємо запис  
 .SENS V(g), V(S)G

то будуть розраховані величини  $dV(g)/dR1$ ,  $dV(S)/dR1$ ,  $dV(g)/dR2$ ,  $dV(S)/dR2$ ,  $dV(g)/dG3$ ,  $dV(S)/dG3$   
 Для розрахунку передавальних функцій використовується директива .TF <вихідна змінна><ім'я джерела напруги чи струму>. Наприклад, при виклику директиви .TF V(5) VIN результат буде  $dV(5)/dVIN$ .

Частотні характеристики розраховуються згідно директиви  
 .AC <h> <початкова частота> <кінцева частота>.

Вивід результатів здійснюється по директиві .PRINT або .PROBE.

Для розрахунку перехідних процесів використовується директива  
.TRAN <крок виводу> <кінцевий час> <початковий час>  
<максимальний крок вирахувань> .UIC.

Якщо максимальний крок виводу не вказаний, то він вибирається автоматично, як <кінцевий час>/50.

Перед розрахунком перехідних процесів проводиться розрахунок по постійному струму. Щоб відмінити цей режим використовується параметр UIC.

Але тоді необхідно задати початкові умови на реактивних елементах:

Наприклад:

C1 3 4 100Ф IC=0.5

Для задання перехідного процесу використовується директива .TRAN. Приклади використання цієї директиви:

.TRAN 5MS 500MS

.TRAN 5MS 500MS 100MS UIC

.TRAN 5MS 500MS 0MS 0.5MS

Розглянемо як приклад розрахунок перехідного процесу схеми автогенератора, показаної на рис.4

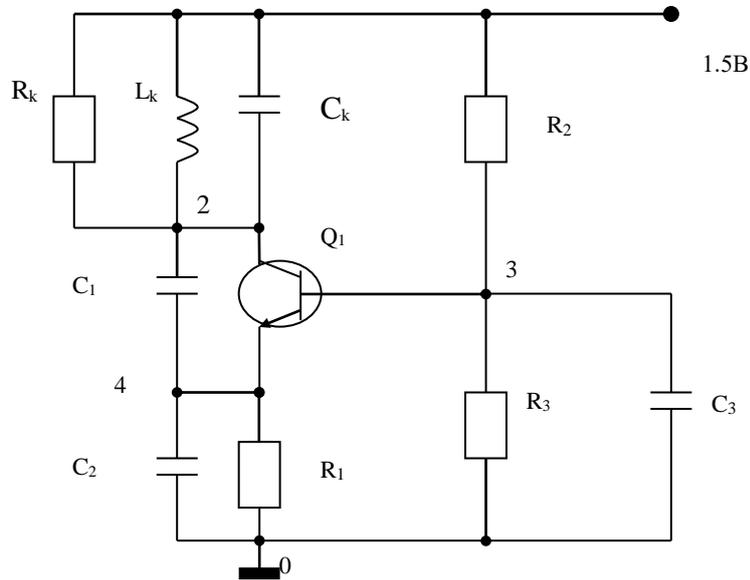


Рис. 4. Схема автоколивної системи.

Наведемо робочу програму для проведення розрахунку перехідного процесу:

```

GENERATOR
R1 4 0 510
R2 1 3 150K
R3 3 0 10K
C3 3 0 2200PF
CK 1 2 30PF
C2 4 0 120 PF
C1 2 4 10 PF
LK 1 2 1U
RK 1 2 10K
Q1 234 KT312
V 10 1.5V
.LIB D:\PISE\LIB\Q.LIB
.PROBE
.END

```

Для розрахунку спектральних характеристик використовується директива .FOUR <f1> <вихідні змінні>.

Результат виводиться у вигляді таблиці при використанні директив .PRINT, .PROBE або PLOTTER. Найвигідніший ряд додаткових директив [5, 6, 7] для зручності роботи в середовищі Pspice.

**Висновки.** У роботі наведено опис особливостей застосування та функціональних можливостей базової версії комплексу програм Pspice, його вхідної мови, способів задання речень у робочих файлах, використання директив управління, побудови власних моделей та використання моделей наявних у власній бібліотеці комплексу програм. Відзначимо, що комплекс програм Pspice є відкритим і може поповнюватися новими моделями при їх створенні та записі у бібліотеку.

Наведені конкретні приклади опису та аналізу нелінійних сигналів, генераторних схем та неінійних джерел живлення можуть ефективно використовуватися як при аналізі аналогічних процесів, так і в ході розробки власних моделей об'єктів.

Результати, наведені в роботі, можуть використовуватися як в ході проведення науково-дослідницьких робіт, так і при освоєнні програмного комплексу Pspice [5, 6, 7].

#### Список бібліографічного опису

1. Заяць В.М. Построение и анализ .модели дискретной колебательной системы // Кибернетика и системный анализ. – 2000. – С. 161-165..
2. Заяць В.М. Моделі дискретних коливних систем. – Львів: В-во УАД. – 2011. – С. 37-39.
3. Заяць В.М. Методи, алгоритми та програмне забезпечення для моделювання та аналізу динаміки складних об'єктів і систем на основі дискретних моделей, Львів, Новий Світ, 2009, 400 с.
4. Шарковський С.Ф., Коляда А.Г., Сивак В.В., Федоренко А.Н. Динамика одномерных отображений. – К.: Наукова думка, 1989. – 216 с.
5. Разевиг В.Д. Применение программ P- CAD и Pspice для схемотехнического моделирования.- Вып. 2. Моделирование компонентов аналоговых устройств / В.Д. Разевиг // М.: Радио и связь.-Вып 2, 1992.– 118 с.
6. Разевиг В.Д. Применение программ P- CAD и Pspice для схемотехнического моделирования.- Вып.3. Моделирование аналоговых устройств / В.Д. Разевиг // М.: Радио и связь.-Вып 3, 1992.- 120 с.
7. Заяць В.М. Методи і засоби комп'ютерних інформаційних технологій в прикладних застосуваннях. Підручник / В.М. Заяць // Львів: Вид-во "Українські технології", 2017. ISBN 978-966-345-315-6 - 260 с.

#### References

1. V.M. Zaiats, "Constraction and analyses of model descrete oscillation systems", Cybernetics and Systems Analysis, vol. 2., Kiev, NAS of Ukraine, 2000, pp. 161-165.
2. V.M. Zaiats, "The Models Descrete Oscillation Systems", Computer Tegnology of Print, Lviv,UAP, 2011, pp.37-39.
3. V.M. Zaiats, Methods, Algorithms and Software for Simulation and Analysis of the Dynamics of Complex Objects and Systems Based on Discrete Models, Lviv, New World, 2009, 400 p
4. Sharkovsky S.F., Kolyada A.G., Sivak V.V., Fedorenko A.N. Dynamics of one-dimensional mappings. - K .: Ukraine, 1989. - 216 p.
5. Razevig V.D. Application of P-SAD and Pspice programs for circuit modeling.- Issue. 2. Modeling of components of analog devices / V.D. Razevig // M .: Radio i svyaz.-T2, 1992.– 118 p.
6. Razevig V.D. Application of P-SAD and Pspice programs for circuit modeling.- Issue 3. Modeling of analog devices / V.D. Razevig // M .: Radio and communication.-Issue 3, 1992.- 120 p.
7. V. Zaiats. Methods and means of computer information technologies in applied applications. Textbook / V. utp.edu.plZaiats // Lviv: Publishing "Ukrainian technologies", 2017. 262 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-09>

УДК 681.518, 681.513

**Ковівчак Ярослав Васильович.**, доцент кафедри автоматизованих систем управління<https://orcid.org/0000-0003-3562-4924>**Дубук Василь Іванович**, доцент кафедри автоматизованих систем управління<https://orcid.org/0000-0002-6339-1032>**Слюсар Василь Володимирович**, магістр

Національний університет "Львівська політехніка"

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

**Ковівчак Я., Дубук В., Слюсар В. Розробка інформаційної системи управління електроспоживанням у розумному будинку.** Стаття присвячена дослідженню та розробці інформаційної системи управління електроспоживанням у розумному будинку. У статті проведено аналіз основних існуючих систем та програмних засобів управління електроспоживанням у розумному будинку. Приведено їх переваги та недоліки. Запропоновано структурну схему системи з урахуванням визначених інформаційних потоків. Розроблено програмні модулі та інтерфейс користувача системи управління електроспоживанням у розумному будинку.

**Ключові слова:** система управління, електроспоживання, енергоефективність, розумний будинок.

**Ковивчак Я., Дубук В., Слюсар В. Разработка информационной системы управления электропотреблением в умном доме.** Статья посвящена исследованию и разработке информационной системы управления электропотреблением в умном доме. В статье произведен анализ основных существующих систем и программных средств управления электропотреблением в умном доме. Приведены их преимущества и недостатки. Предложено структурную схему системы с учетом определенных информационных потоков. Разработаны программные модули и интерфейс системы управления электропотреблением в умном доме.

**Ключевые слова:** система управления, электропотребление, энергоэффективность, умный дом.

**Kovivchak Ya., Dubuk V., Slusar V. Development of an information system for power consumption management in a smart home.** The article is devoted to the research and development of information system for electric power consumption management in a smart home. The article analyzes the main existing systems and software for electric power consumption management in a smart home. Their advantages and disadvantages are given. The structural scheme of the system taking into account the definite information flows is offered. Software modules and user interface of the electric power consumption management system in a smart home have been developed.

**Keywords:** control system, electric power consumption, energy efficiency, smart home.

### Вступ

Сучасний стан технічного розвитку інформаційних технологій дає змогу значно спростити виконання необхідних завдань у домашньому побуті. Наприклад, здійснювати управління автоматичним освітленням у будинку, а саме: вмикати світло у кімнаті, коли в неї заходить людина і вимикати його, коли кімната стає порожньою, управляти побутовими електричними пристроями (кавоваркою, пароваркою, телевізором і т.д.). Всіма цими функціями володіють системи домашньої автоматизації, які отримали назву «розумний будинок». Такі системи, безумовно, підвищують рівень комфорту життя, але, одночасно, створюють додаткові проблеми, такі, як збільшення споживання електроенергії та загрозу інформаційної безпеки, оскільки вони здебільшого мають низький рівень захисту при підключенні до мережі Інтернет.

Повсякденний темп життя людини сприяє активній автоматизації більшості простих процесів, таких як прибирання в будинку чи квартирі, приготування кави чи сніданку, підтримки температурного режиму, провітрювання оселі, контроль вологості повітря у помешканні. Всі ці процеси виконуються без участі людини, завдяки використанню систем домашньої автоматизації. Такі системи створені для підвищення комфорту життя та рівня безпеки, що для сучасної людини є вагомим чинником для придбання та встановлення цих систем. Але враховуючи те, що конкуренція на ринку систем домашньої автоматизації зараз не надто висока, далеко не кожен виробник дбає про збільшення енергоефективності таких систем. Існуючі на ринку системи, які забезпечують високий рівень безпеки і низький рівень енергоспоживання, є дорогими. Бюджетні варіанти існуючих систем домашньої автоматизації є більш енергозатратні і менш захищені інформаційно.

В той час, як рівень безпеки в сучасних системах домашньої автоматизації стає все вищим, на

проблему неефективного використання електроенергії більшість виробників не звертають уваги. Можна виділити два основні способи вирішення проблеми неефективного використання електроенергії. Перший спосіб - це збільшення енергоефективності, який полягає в зменшенні використання електроенергії без зниження рівня енергетичного забезпечення. Простим прикладом збільшення енергоефективності є заміна звичайних ламп розжарювання на більш економічні люмінесцентні, світлодіодні або галогенні лампи. Другий спосіб вирішення проблеми неефективного використання електроенергії - це енергозбереження. Цей спосіб полягає у зменшенні споживання електроенергії за рахунок зменшення у необхідності використання електричних пристроїв.

Актуальність запропонованої роботи полягає в тому, що існує можливість розробити інформаційну систему управління електроспоживанням у розумному будинку, яка дасть змогу одночасно як здійснити економію електроенергії, так і підвищити рівень комфорту і безпеки у помешканні.

### Огляд існуючих систем та програмних засобів.

На сьогоднішній день розвиток та виготовлення систем домашньої автоматизації стрімко розвивається і набирає популярності. З ростом попиту і збільшенням конкуренції між компаніями виробниками ціни на такі системи знижуються, а їх якість, енергоефективність та безпека зростає. Виробники систем домашньої автоматизації передбачили можливість керування такими системами віддалено, що дає змогу користувачам керувати практично всіма приладами в будинку за допомогою смартфона.

Зазвичай системи "розумний будинок" можна умовно поділити на декілька типів: системи, які розроблені і виготовлені спеціалізованими компаніями (забезпечений високий рівень безпеки та енергоефективності, встановленням і налаштуванням таких систем займаються фахівці) та системи, які виробляє велика компанія, як набір компонентів для побудови розумного будинку (можливість самостійного встановлення і вибору потрібних компонентів із доступних для цього ж виробника, забезпечують достатній рівень безпеки) й програмне забезпечення, або апаратні рішення, які використовують велику кількість сумісних пристроїв різних виробників (дає змогу самостійно налаштувати систему та вибрати необхідні пристрої, не обмежуючись одним виробником, - в загальному це призводить до меншого рівня безпеки, але відкриває можливість створення такої конфігурації розумного будинку, яка буде максимально ергономічною і комфортною у використанні).

### Система керування приміщенням CLAP.

CLAP (Clever Apartment) - це система розумного будинку, розроблена в Україні [4, с.215; 7]. Система дає змогу ефективно використовувати наявні ресурси для підтримки вибраного температурного режиму, забезпечує високий рівень безпеки (у випадку несанкціонованого проникнення - блокуються двері та вікна, спрацьовує сигналізація і автоматично викликається охорона), здійснює інформування про пожежу та затоплення у приміщенні (у випадку затоплення - перекриває крани, а в разі пожежі - викликає пожежну службу). Управління системою може здійснюватись як за допомогою центру керування, так і за допомогою додатку на ПК чи смартфоні [6, 8, 9]. Система CLAP складається з стандартного набору пристроїв, які зображені на рисунку 1.



Рисунок 1- Складові системи CLAP

До стандартного набору системи CLAP належать наступні компоненти: координаційний центр (хаб); мультидавачі (камери, які встановлюються в кімнатах та в коридорі); давач руху; давач диму; давач антипотопу; давач відкриття дверей та вікон; терморегулятор; центр керування (сенсорний дисплей, який дає змогу керувати всіма приладами в будинку).

За допомогою центра керування можна отримати доступ до домофона, керуванням кліматом, інформації про безпеку та можливістю переглянути та оплатити комунальні послуги.

Перевагами системи є: високий рівень захисту при відносно низькому енергоспоживанні;

можливість керування системою як за допомогою центру керування, так і за допомогою додатку на ПК чи смартфоні; можливість вибрати мову інтерфейсу з 3 доступних: українська, російська та англійська. Недоліки системи: для установки та налаштування системи потрібен спеціаліст; висока ціна; відсутність можливості підключення пристроїв іншого виробника.

#### *Система Xiaomi Smart Home Suite.*

Xiaomi Smart Home Suite - це набір компонентів, який дає змогу будь-якому користувачу власноруч побудувати систему "Smart Home" у своїй квартирі чи будинку та повністю налаштувати її [10]. Підключення та керування всіма пристроями та датчиками виконується за допомогою застосунку Mi Home.

До стандартного набору, який зображений на рисунку 2, входять: координаційний пристрій (хаб), який потрібен для підключення та керування всіма пристроями та датчиками; датчик руху; датчик відкриття дверей та вікон; розумна розетка; безпроводна кнопка.

Xiaomi Smart Home Suite це базовий набір пристроїв для побудови свого розумного будинку, тому для нормального функціонування такої системи ще необхідні: датчик диму та газу, аналізатор забрудненості повітря, відеокамери та інші пристрої на вибір користувача, яких представлено більше сотні. Робота більшості цих пристроїв базується на технології зв'язку ZigBee, але при спробі підключення до хабу пристроїв інших виробників, які теж використовують цю технологію зв'язку, у користувачів виникнуть додаткові проблеми, оскільки виникає необхідність при їх інтегуванні в єдину систему використовувати спеціалізоване програмне забезпечення.

До переваг системи Xiaomi Smart Home Suite можна віднести: низька ціна у порівнянні із подібними спеціалізованими системами; можливість самостійного встановлення та індивідуального налаштування системи; можливість керування системою дистанційно за допомогою застосунку Mi Home. Недоліками цієї системи є: орієнтованість на китайський ринок, тому для під'єднання пристрою доведеться використовувати перехідник; відсутність інтерфейсу українською мовою; складність у налаштуванні системи, особливо якщо є необхідність у підключенні пристроїв інших виробників.

#### *Система на основі голосового асистенту Amazon Echo.*

Система Amazon Echo це розумний динамік, який керується голосом і відгукується на ім'я Алекс (голосовий асистент) [6]. Він здатен відтворювати музику, відповідати на запитання, а також керувати освітленням, кондиціонером, опаленням, телевізором, системою охорони та іншими пристроями, які до нього підключені. Керування відбувається за допомогою голосових команд, які починаються словом «Алекс...», наприклад, «Алекс, увімкни світло у вітальні» [6]. За допомогою Smart Home Hubs або Samsung SmartThings Hub відбувається підключення пристроїв до Amazon Echo. Завдяки можливості взаємодії системи з практично будь-якими центрами керування, вибір пристроїв, які можна підключити не обмежується певним стандартом зв'язку і немає прив'язки до бренду виробника системи, що дає змогу користувачам вибрати ті пристрої, які їм до вподоби.



Рисунку 3 - Amazon Echo, Amazon Echo Dot та контролер Z-Wave Plus POPP

На рисунку 3 зображено Amazon Echo, Amazon Echo Dot та контролер Z-Wave Plus POPP, яких достатньо для створення своєї системи розумного дому.

Переваги цієї системи: сумісність з великою кількістю пристроїв; голосове керування; простота в установці і налаштуванні системи. Недоліками системи є: висока вартість; відсутність розпізнавання української мови; для підключення пристроїв до системи необхідно модуль керування (хаб).

#### **Структурна схема системи "розумний будинок" з врахуванням інформаційних потоків**

На рисунку 4 приведено структурну схему системи "розумний будинок" із врахуванням інфор-



Рисунку 2 - Стандартний набір Xiaomi Smart Home Suite

маційних потоків. Вона відображає взаємозв'язки між окремими модулями інформаційної системи управління використанням електроенергії у розумному будинку.

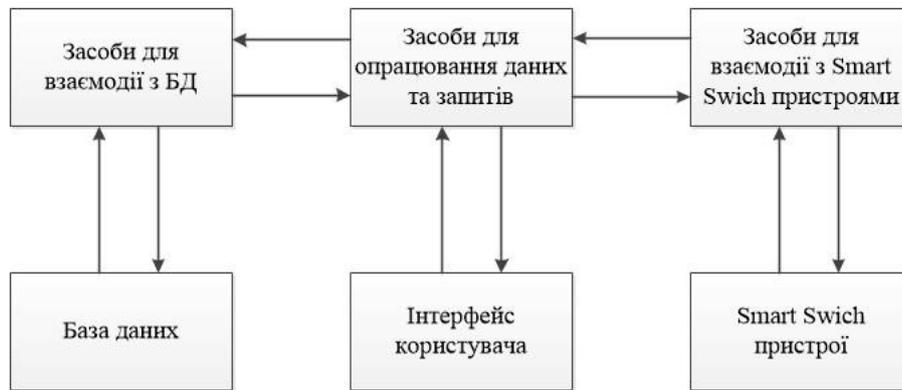


Рисунок 4 - Структурна схема системи з урахуванням інформаційних потоків.

Основним модулем запропонованої системи є блок засобів опрацювання даних та запитів. За допомогою цього компонента відбувається обмін інформацією між засобами для взаємодії з базою даних та засобами для взаємодії з Smart Switch пристроями, а також з користувацьким інтерфейсом. Інтерфейс користувача відповідає за взаємодію користувача з системою шляхом виведення на інформаційну сторінку даних про стан системи в реальному часі, а також за вибір налаштувань системи. Засобом для взаємодії з базою даних є модуль, який забезпечує запис даних в базу даних, та при потребі надає доступ до архіву даних для їх перегляду. Модуль засобів для взаємодії з Smart Switch пристроями дає змогу підключати Smart Switch пристрої, отримувати дані з давачів та сенсорів та обмінюватись цими даними з основним модулем.

#### Розробка компонентів системи

Контекстна діаграма, яка показує призначення системи "розумний будинок" і її взаємодію з зовнішнім світом зображена на рисунку 5.

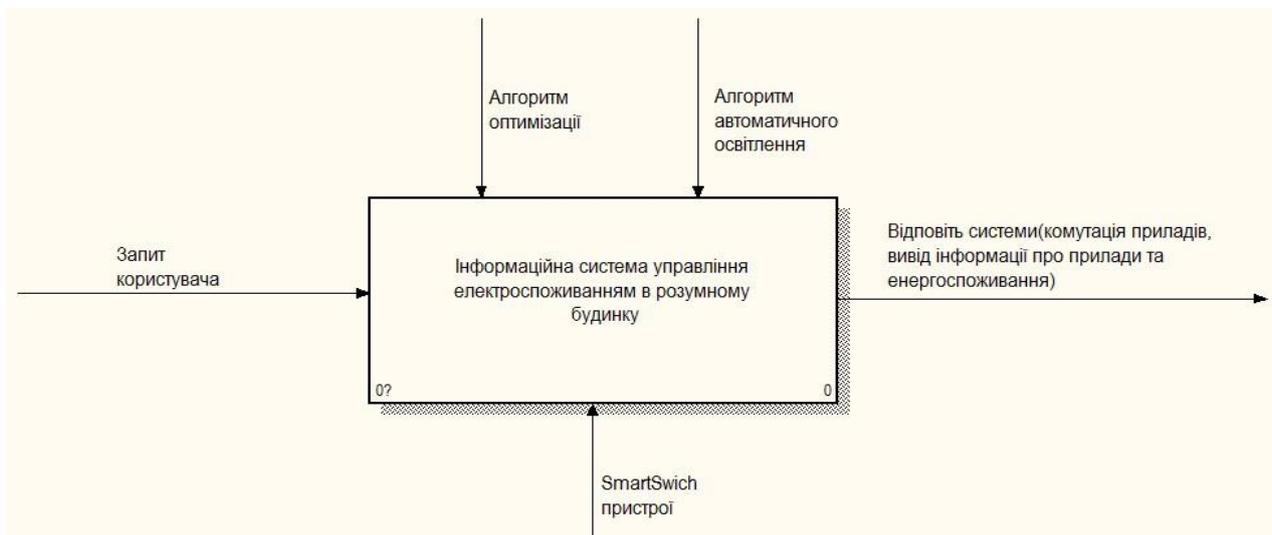


Рисунок 5 - Контекстна діаграма системи "розумний будинок".

Як показано на рис. 5, на вході система отримує запит від користувача, а на виході, після обробки даних з Smart Switch пристроїв за допомогою алгоритмів оптимізації та автоматизації освітлення, виводить інформацію про прилади та їх електроспоживання.

Діаграму потоку даних в системі зображено на рисунку 6.

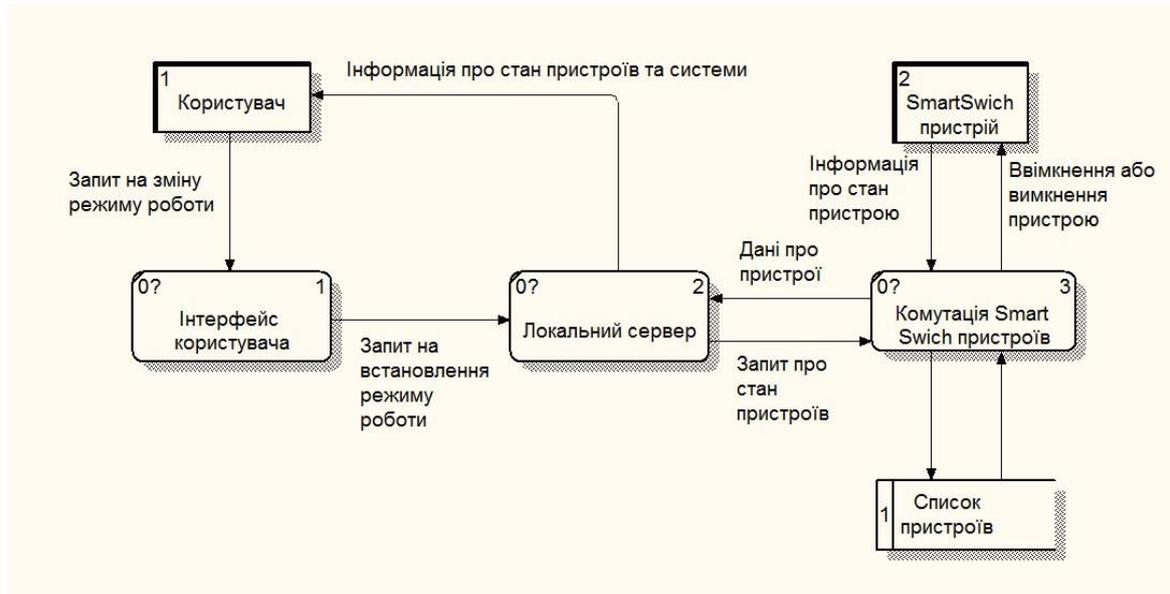


Рисунок 6 - Діаграма потоку даних.

На цій діаграмі зображені наступні зовнішні сутності: користувач та Smart Switch пристрої. Сутність “користувач” взаємодіє з блоком інтерфейс користувача та блоком локальний сервер, а сутність “Smart Switch пристрої” взаємодіють з блоком комутація Smart Switch пристроїв. Робота інтерфейса користувача полягає у відправленні запитів, сформованих користувачем, на локальний сервер, де відбувається обробка цих запитів. Робота локального сервера полягає у взаємодії з роботою Smart Switch пристроїв, надсилаючи запити на встановлення режимів роботи, отримуючи дані про стан пристроїв та виведення інформації про них користувачу. Робота комутації Smart Switch пристроїв полягає у взаємодії з сутністю “Smart Switch пристроїв”, відправляючи запити на підключення і відключення пристроїв, також отримує інформацію про стан пристроїв.

Діаграма компонентів зображена на рисунку 7.

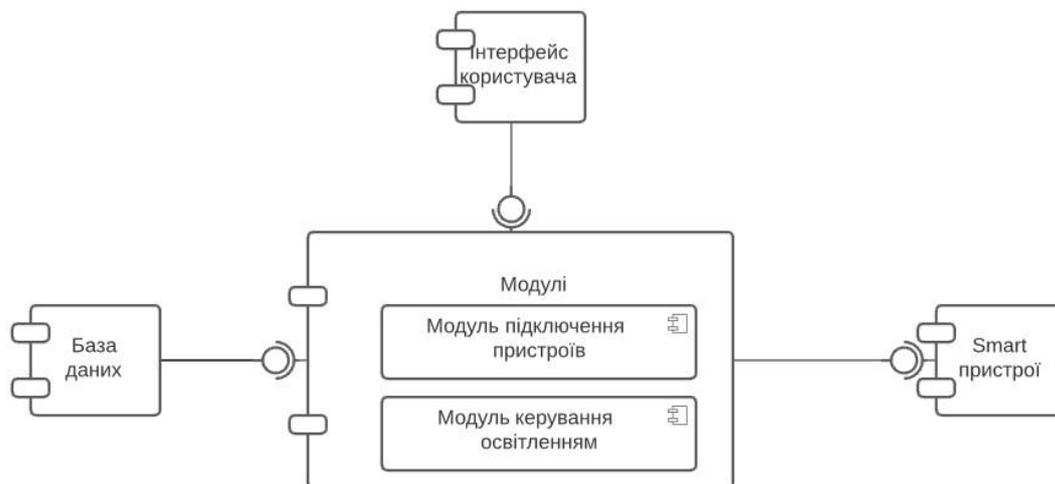


Рисунок 7 - Діаграма компонентів.

На діаграмі зображено основні компоненти системи “розумний будинок” та їх зв’язки між собою. Система складається з наступних компонентів:

- компонент системи, який відповідає за підключення пристроїв керування освітленням, також цей компонент взаємодіє зі всіма іншими компонентами системи;
- інтерфейс користувача відповідає за взаємодію системи з користувачем, таку як виведення інформації про підключені пристрої та зміну режимів роботи;
- Smart-пристрої взаємодіють з основним модулем, передаючи дані про свій стан;
- база даних відповідає за збереження даних про пристрої, їх стан та енергоспоживання.

Користувачський інтерфейс системи зображено на рисунку 8.

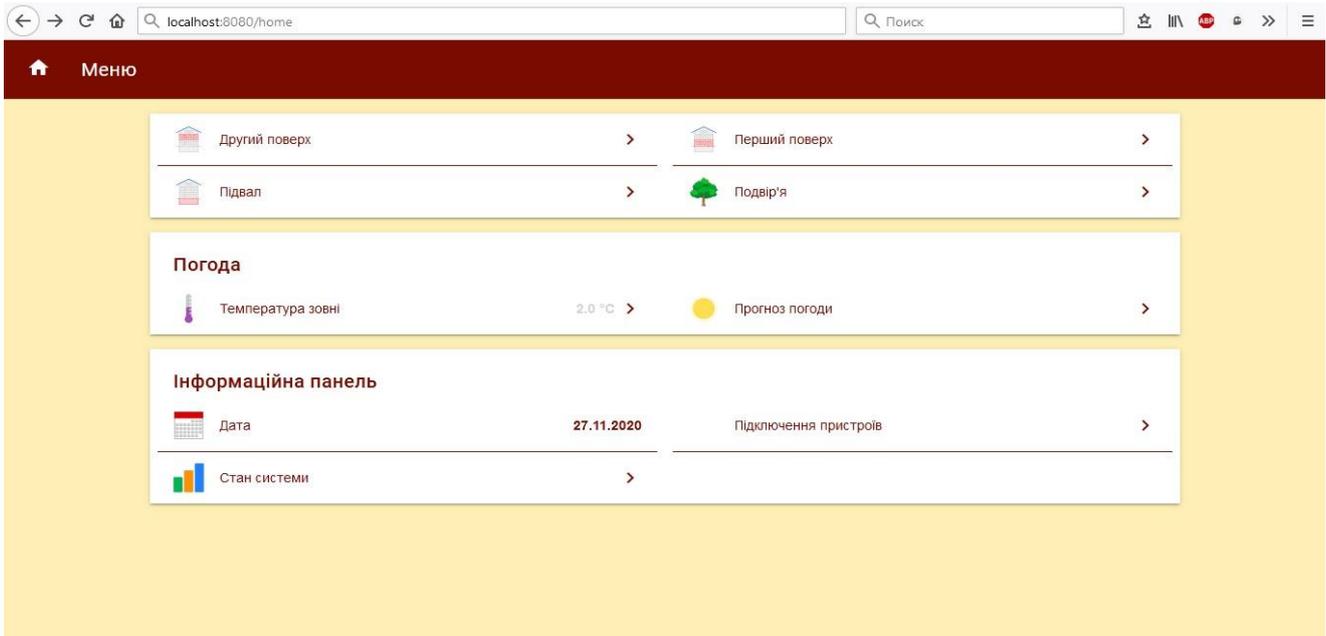


Рисунок 8 - Користувачський інтерфейс

Користувачський інтерфейс поділений на декілька інформаційних блоків, кожен з яких виконує свої функції.

Перший інформаційний блок дає змогу користувачу оглянути всі пристрої, які вже підключені до системи та, за потреби, керувати кожним пристроєм окремо. Цей блок поділений на 4 умовні області для надання можливості сортування пристроїв по кімнатах або поверхах. Такий підхід усуває плутанину при перегляді списку підключених пристроїв та керуванні ними. При ситуації, коли підключених пристроїв невелика кількість - можна використувувати тільки ті, які розміщені на одному поверсі, а решту - залишити без уваги.

Другий інформаційний блок відповідає за надання даних про зовнішню температуру в реальному часі та відображає прогноз погоди на наступний день.

Третій інформаційний блок дає змогу користувачу виконувати підключення нових пристроїв, містить інформацію про загальний стан системи та передбачає керувати всією системою (ввімкнення та вимкнення системи).

### Висновок

У результаті виконання роботи було розроблено інформаційну систему управління електроспоживанням. Запропонована система дасть змогу зменшити витрати електроенергії без зниження комфорту користування електроприладами в будинку чи квартирі. Розроблену систему можна буде використувувати на більшості існуючих платформ розумного будинку.

### Список бібліографічного опису

1. Теслюк В. М. Методи проектування мікроелектромеханічних систем / В. М. Теслюк // АСУ и приборы автоматики: Всеукраинский межведомственный научно – технический сборник. – Вып. 134. – Харьков : ХТУРЭ, 2006. – С. 82-89.
2. Теслюк В. М. Моделі та інформаційні технології синтезу мікроелектромеханічних систем / В. М. Теслюк // Монографія. – Львів : Вежа і Ко, 2008. – 192 с.
3. Теслюк В. М. Використання технологій розумного будинку для поліпшення енергетичної ситуації в Україні / Теслюк В. М., Денисюк П. Ю., Береговська Х. В. // Матеріали XIII-го міжнародного наукового семінару "Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті". – Київ, 2014. – С. 215-219.
4. Экосистема Amazon Alexa [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://habr.com/ru/post/407371/>.
5. Розумний дім – це CLAP [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://ub.com.ua/clap>.
6. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi). [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2011\\_4\\_6.php](http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2011_4_6.php).

#### References

1. Grynyk O. System for Automation Testing Components of the Smart Home /Grynyk O., Denysyuk P., Teslyuk V. // Proceedings of the 7th International Conference of Computer Science & Information Technologies (CSIT'2012), April 14-19, 2012. – Lviv: Publishing House Vezha&Co, 2012. – P. 44-46.
2. Teslyuk V. System for Building and Studying of Models Based on Artificial Neural Networks / Vasyl Teslyuk, Vasyl Beregovskyy, Andriy Kernysky, Tatyana Teslyuk, Pavlo Denysyuk, Oleksandr Moryshko // Proceedings of the 7th International Conference of Computer Science and Information Technologies (CSIT'2012), April 14-19, 2012. – Lviv : Publishing House Vezha&Co., 2012. – P. 169-171.
3. Industrial control system. [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_control\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_control_system).
4. Xiaomi Smart Home Suite [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://xiaomi-mi.com/sockets-and-sensors/xiaomi-mi-smart-home-kit/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-10>

УДК 621.31.33

**Лишук Віктор Васильович, доцент**

<https://orcid.org/0000-0003-4049-8467>

**Євсюк Микола Миколайович, доцент**

<https://orcid.org/0000-0002-3768-8959>

**Селепина Йосип Романович, доцент**

<https://orcid.org/0000-0002-2421-1844>

**Мороз Сергій Анатолійович, доцент**

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>

**Літковець Сергій Петрович, доцент**

<https://orcid.org/0000-0003-2896-8518>

Луцький національний технічний університет

## ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВЕ КЕРУВАННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЯХ

**В.В. Лишук, М.М. Євсюк, Й.Р. Селепина, С.А. Мороз, С.П. Літковець.** Імпульсно-фазове керування в електротехнічних пристроях. У статті запропонований імпульсно-фазовий спосіб регулювання напруги в електротехнічних пристроях. Запропонована синхронна система імпульсно-фазового керування з вертикальним керуванням дає змогу підвищити швидкодію при регулюванні напруги в електротехнічних пристроях та формувати необхідні кути керування тиристорами. Запропонований генератор пилкоподібної напруги як опорної щодо формування імпульсів дає змогу добитися лінійності регулювальних характеристик вентильних перетворювачів.

**Ключові слова:** випрямляч, система імпульсно-фазового керування, тиристор, регулювання напруги.

**В.В. Лышук, Н.Н. Евсюк, И.Р. Селепина, С.А. Мороз, С.П. Литковец.** Импульсно-фазовое управление в электротехнических устройствах. В статье предложен импульсно-фазовый способ регулирования напряжения в электротехнических устройствах. Предложенная синхронная система импульсно-фазового управления с вертикальным управлением позволяет повысить быстродействие при регулировании напряжения в электротехнических устройствах и формировать необходимые углы управления тиристорами. Предложенный генератор пилообразного опорного напряжения для формирования импульсов позволяет добиться линейности регулировочных характеристик вентильных преобразователей.

**Ключевые слова:** выпрямитель, система импульсно-фазового управления, тиристор, регулировка напряжения.

**V.V. Lyshuk, M.M. Yevsiuk, Y.R. Selepyna, S.A. Moroz, S.P. Litkovets'.** Pulse-phase control in electrical devices. The article proposes a pulse-phase method of voltage regulation in electrical devices. The proposed synchronous system of impulse-phase control with vertical control makes it possible to increase the speed of the voltage regulation in electrical devices and to form the necessary angles of thyristor control. The proposed sawtooth reference voltage generator for pulse shaping makes it possible to achieve linearity of the regulating characteristics of valve converters.

**Key words:** rectifier, pulse-phase control system, thyristor, voltage regulation.

**Постановка наукової проблеми.** На сьогодні з усіх видів енергій найбільш широке застосування має електрична енергія. Її переваги полягають в тому, що вона легко трансформується в інші види енергії, а саме (механічну, теплову, світлову тощо). Її можна пересилати на великі відстані, розподіляти по приймачах, змінювати параметри (величину напруги, число фаз тощо).

Змінний синусоїдний струм знаходить широке застосування на виробництві, в сільському господарстві і промисловості. Це зумовлено тим, що змінний трифазний струм дає змогу легко отримувати обертове магнітне поле, яке застосовується в приводних електродвигунах змінного струму. Також, якщо говорити про змінний струм, то така його форма і промислова частота дають змогу отримати найвищі значення ККД і оптимальні розміри електрообладнання [1, 3, 5].

Поряд зі змінним струмом широко використовується і постійний струм. Тут основними споживачами є обладнання для зарядки акумуляторних батарей, установки електролізу для отримання технічно чистих металів, установки цинкування металів, здатних до корозії, електроживлення кіл керування силовими схемами, і наймасовіше – це застосування двигунів постійного струму в промисловості і на електротранспорті [4].

Розвиток напівпровідникової електроніки призвів до створення керованих напівпровідникових пристроїв, які відрізняються від інших апаратів, наприклад електромагнітних, високою швидкістю, низькою споживаною потужністю та малими габаритами, чутливістю, надійністю, економічністю і широкими можливостями перетворення інформації. Застосування електронних ключів, зокрема тиристорів в однофазних чи трифазних схемах випрямлення, а також інших пристроях (тиристорні регулятори напруги) є дуже ефективним в схемах комутації, регулювання і трансформації напруги.

Найбільш перспективним на сьогодні щодо надійності, швидкодії та універсальності є використання керованих випрямлячів. Подаючи імпульси керування з деякою затримкою щодо

моментів природного ввімкнення, що визначаються кутом управління  $\alpha$ , можна регулювати значення випрямленої напруги. На даний час найбільшого поширення набули керовані випрямлячі з імпульсно-фазовим методом регулювання вихідної напруги.

Будь-яка із схем випрямлячів може працювати в режимі керованого випрямляча, якщо замінити діоди на тиристори, момент ввімкнення яких забезпечується СІФК. Її необхідно проектувати або вибирати, зважаючи на діапазон та плавність регулювання, коефіцієнт потужності та ККД [2, 3].

**Аналіз досліджень.** Система керування випрямлювальним пристроєм призначена для генерації і формування електричних імпульсів керування визначеної тривалості та форми, з однієї сторони, а з іншої, що головне, правильно подавати їх у відповідні фази і змінювати моменти подачі цих імпульсів на керуючі електроди тиристорів з метою регулювання вихідної напруги [1, 2].

Основними областями застосування керованих тиристорних систем є:

- безконтактний захист і керування електротехнічними пристроями, зокрема й побутовими електричними машинами;

- системи регулювання частоти обертання і забезпечення оптимальних режимів електричних машин малої потужності шляхом регулювання напруги;

- системи регулювання температури і сили світла, зарядні пристрої тощо.

Моменти подачі імпульсів часу задаються величиною напруги керування  $U_k$ , яка подається на вхід СІФК і визначає значення вихідних параметрів перетворювача, а саме середніх або діючих значень струму і напруги на виході випрямляча. Отже, в залежності від величини напруги керування  $U_k$ , визначаються кути відкриття тиристорів  $\alpha$ . Визначення моментів часу подачі імпульсів на керуючі електроди тиристорів та формування цих імпульсів реалізується двома основними блоками СІФК: фазозсуваючого пристрою (ФЗП) та формувача імпульсів (ФІ) (рис.1).

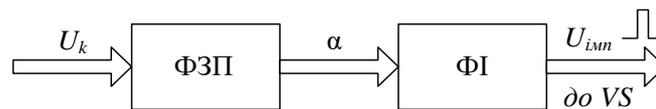


Рис.1. Структурна схема СІФК.

Фазозміщуючий пристрій формує задачу перетворення напруги керування в керуючий сигнал (кут  $\alpha$ ), тобто електричної величини у часову.

Формувачі імпульсів формують імпульси на керуючих електродах тиристорів заданої тривалості, форми і потужності, а також забезпечують силову гальванічну розв'язку між силовим колом і колом керування.

Вимоги до СІФК:

1. Тривалість і амплітуда імпульсів визначаються відповідно до параметрів застосовуваних ключів, режимами роботи перетворювача і повинні бути достатніми для надійного відкриття ключів перетворювача. Амплітуди напруги і струму для імпульсу повинні складати  $U = 5 \div 10$  В,  $I = 0,1 \div 0,5$  А.

2. Діапазон регулювання кута відкриття  $\alpha$  вентилями визначається типом перетворювача, режимом його роботи (безперервний або переривчастий),

характером навантаження ( $R$  або  $R-L$ ) і повинен бути достатній для регулювання вихідної напруги в заданому діапазоні.

3. Висока крутизна переднього фронту імпульсу керування (до 10 В/мкс);

4. Довготривалість імпульсу повинна бути такою, щоб за час його дії анодний струм тиристора досяг значення, що перевищує струм утримання тиристора. Як правило в сучасних СІФК  $\tau \approx 10^\circ$  (ел. град.)

5. Асиметрія відкриваючих імпульсів не повинна перевищувати  $3^\circ$ . У протилежному випадку збільшується асиметрія струму та додаткові втрати в колах навантаження [3].

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** В роботі зосередимо увагу на розробці та аналізі СІФК, що керують однофазними випрямлячами та регуляторами напруги і живлять навантаження невисокої потужності. Тобто, у нас виникає задача спроектувати СІФК, яка б задовольняла швидкодію щодо регулювання потрібного значення напруги для відповідного електроустаткування та вироблення необхідних кутів керування тиристорами.

Насьогодні наявна така класифікація СІФК. За можливістю синхронізації з джерелом живлення СІФК або фазозміщуючі пристрої ФЗП поділяють на синхронні та асинхронні, за кількістю фаз перетворювача на однофазні, трифазні та багатофазні, за принципом зсуву керуючого імпульса в

синхронних СІФК на горизонтальні та вертикальні, за числом формування каналів керування – одноканальні та багатоканальні, за способом опрацювання інформації – аналогові та цифрові [3, 4].

Багатоканальні забезпечують швидкодію системи щодо регулювання вихідних параметрів і використовуються в однофазних та трифазних мостових схемах, але є дещо дорожчими із-за збільшення каналів керування та електронних елементів у них.

Як говорилось вище існують синхронні та асинхронні СІФК. Синхронні СІФК характеризуються тим, що кожний канал  $n$ -фазної СІФК синхронізується з синусоїдною напругою джерела живлення. Це найбільш поширений спосіб. У синхронному ФЗП кут керування у відповідності з фазовою характеристикою фіксується для кожного з тиристорів від моменту природного ввімкнення.

Інший спосіб фіксація фази ввімкнення від моменту переходу напруги джерела через нуль. Таким чином, фаза подачі  $k$ -го імпульсу становить

$$\alpha = \alpha_n + \frac{2\pi}{p}(k-1) + q_k(U_{кер}). \quad (1)$$

Тут  $2\pi/p$  – інтервал повторюваності вихідних напруг і струму,  $\alpha_n$  – початковий кут відліку фази по відношенню до напруги джерела,  $p$  – кількість пульсацій перетворювача,  $q_k$  – регульований кут затримки  $q_k = \omega t_k$ , де  $k=1,2,3\dots$

Синхронні ФЗП виконуються багатоканальними, одноканальними та комбінованими. «При асинхронному керуванні імпульси керування формуються спеціальною слідкуючою замкненою системою регулювання, синхронізація з мережею відсутня. Використовується така система при високій ймовірності завад. Тобто при такому керуванні момент подачі керуючого імпульсу від системи керування на наступний тиристор відрховується від моменту подачі попереднього імпульсу» [5]. В усталеному стані імпульси слідують з інтервалом повторюваності, тобто

$$\alpha_k = \alpha_{k-1} + \frac{2\pi}{p} + \Delta\alpha_k, \quad (2)$$

де  $\Delta\alpha_k$  – приріст кута керування в перехідних станах.

На рис.2 показано структурну схему СІФК з горизонтальним керуванням. «При горизонтальному способі керування керуючого імпульсу здійснюється в момент час, коли синусоїда напруги живлення переходить через нульове значення, а зміна її фази забезпечується зміною фази синусоїдної напруги керування, тобто зміщенням його по горизонталі (вісь часу  $t$ ). Така система є синхронною» [5].

Її характерною особливістю є наявність каналу синхронізації роботи СІФК з напругою мережі. Напруга синхронізації використовується для формування опорної напруги. Це забезпечує фазування керуючих імпульсів відносно напруги мережі. Крім напруги синхронізації, до входу СІФК подається керуюча напруга, яка зазвичай є пропорційною бажаній випрямленій напрузі [3].

Генератор змінної напруги ГЗН генерує синусоїдну напругу, що знаходиться в певному фазовому співвідношенні напругою на аноді тиристора даного каналу, а саме зсунуто на  $90^\circ$  відносно напруги мережі (рис.3, а). Зсув опорної напруги  $U_{мфн}$ , що є опорною напругою  $U_{оп}$ , на виході фазообертаючого пристрою відносно напруги ГЗН пропорційний величині напруги керування  $u_z$  (з урахуванням її знака), яка подається до іншого входу МФП. Формувач імпульсів у момент змінзнака опорної напруги з «-» на «+» формує короткий керуючий імпульс, що після підсилення подається на керуючий електрод тиристора. На рис.3,а зображені діаграми напруг у СІФК при нульовій керуючій напрузі (зсув опорної напруги відсутній, кут керування  $\alpha=90^\circ$ , середня випрямлена напруга близька до нуля). На рис.3,б керуюча напруга більша від нуля, опорна напруга зсунута ліворуч,  $\alpha < 90^\circ$ , середня випрямлена напруга більша, ніж у попередньому випадку [3].

Аналізуючи горизонтальний спосіб керування можна констатувати, що кут керування визначається зміщенням в часі синусоїдної або напруги. Відбувається або зміщення заднього фронту кривої напруги або напруги в цілому. Слід відмітити, що це зміщення відбувається у функції керуючого сигналу і яке дещо знижує швидкодію системи керування.

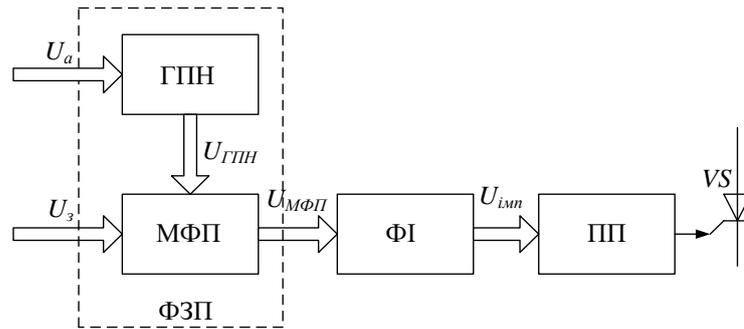


Рис.2. Структурна схема СІФК з горизонтальним керуванням.

З виходу мостового фазообертального пристрою МФП зсунута за фазою напруга керування  $U_{мфп}$  надходить на формувач імпульсів ФІ, де в момент переходу синусоїди через нуль генерується імпульс керування. Потім імпульс керування  $U_{імн}$  підсилюється підсилювачем потужності ПП до значення, необхідного для надійного керування тиристора VS. Кут зсуву фаз (рис.3, б) регулюється зміною напруги завдання  $U$ , а ГПН і МФП в сукупності утворюють фазозміщуючий пристрій ФЗП.

Горизонтальний метод управління не знайшов широкого застосування, тому що мостові фазообертаючі пристрої чутливі до форми і частоти напруги, що подається, а використання в якості активного регульованого опору транзисторів призводить до порушення симетрії формованих імпульсів.

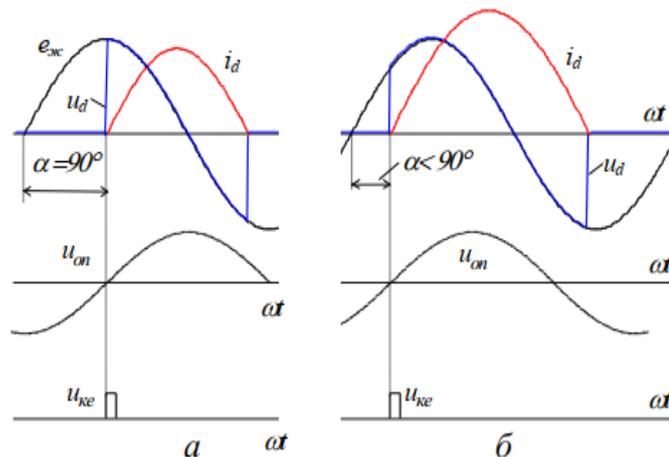


Рис.3. Процеси в СІФК при горизонтальному керуванні.

Вертикальний спосіб набув широкого застосування в системах регулювання вихідних параметрів у керуванні тиристорах. Він легко може адаптуватись до перебудови з одноканальних систем до багатоканальних.

При вертикальному способі напруга керування порівнюється за величиною з опорною. Опорна напруга може бути косинусоїдною та пілкоподібними з наростанням та спаданням напруг.

При косинусоїдній формі зміни маємо

$$U_{оп} = U_{max} \cos \omega t, \quad (3)$$

де  $\omega t = 0$  – момент природної комутації  $i$ -го вентиля.

Тоді в момент  $\omega t = \alpha$  маємо:

$$U_{оп} = U_{кер} = U_{max} \cos \alpha. \quad (4)$$

З цього рівняння можна отримати фазову характеристику ФЗП:

$$\alpha = \arccos \left( \frac{U_{кер}}{U_{max}} \right). \quad (5)$$

Вентильний перетворювач, що працює від синусоїдної симетричної мережі, при відсутності комутаційних спотворень вихідної напруги, в режимі безперервного струму навантаження характеризується відомим співвідношенням, так званою регульовальною характеристикою:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha. \quad (6)$$

При підстановці виразу (6) в рівняння (5) отримуємо:

$$U_d = \frac{U_{d0}}{U_{max}} \cdot U_{кер}. \quad (7)$$

Отже, регульовальна характеристика  $U_d = f(U_{кер})$  вентильного перетворювача при косинусоїдній опорній напрузі, має лінійний характер. Опорна напруга косинусоїдної форми, може бути сформована від напруги джерела. Для цього напруга джерела повинна бути надійшла на фільтр  $\Phi$ , що здійснить зсув по фазі і усунення вищих гармонійних складових [3, 4].

В даному випадку використовуємо генератор пилкоподібної наростаючої напруги ГПН. Остання напруга повинна бути синхронізована з напругою мережі. Момент їх рівності визначає фазу (кут керування) та керуючий імпульс.

Розглянемо структурну схему одноканальної СІФК при вертикальному керуванні, зображену на рис.4. Назва «вертикальний» пов'язана з тим, що напруга керування ковзає по вертикалі і може перетинати опорну напругу в різні моменти часу й тим самим змінювати кут керування.

Блок живлення призначений для генерування як змінної синусоїдної напруги для синхронізуючого пристрою, так і фіксовану постійну  $\pm 12$  В для живлення ГПН, як основного елемента фазозміщуючого пристрою, формувача імпульсів ФІ, підсилювача імпульсів П.

Пристрій синхронізації ПС забезпечує зв'язок з джерелом живлення. ПС відслідковує переходи через нуль напруги живлення ( $U_{синх}$ ) і формує у випадку багатоканальних СІФК сигнали  $U_1$  і  $U_2$ , що відповідають додатнім та від'ємним півперіодам напруги джерела живлення [3].

На вхід фазозміщуючого пристрою ФЗП поступає напруга з пристрою синхронізації ПС, що масштабує сигнал вхідного струму, через фільтр  $\Phi$  поступає змінна напруга. Призначення фільтра виділити першу гармоніку та сформувати зсув за фазою  $\varphi < 10^0$ .

У ролі електронного ключа  $K$  може бути використаний транзистор, що працює з частотою комутації 50 Гц або з частотою 100 Гц у випадку двоканальної СІФК. У даному випадку співвідношення між напругами на вході (з фільтра) та опорною напругою приймає вигляд

$$U_{оп} = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{BX} dt = U_{BX} \frac{t}{\tau}. \quad (8)$$

Звідси

$$U_{оп}(t) = U_{ГПН}(t) = U_{BX}(t) \cdot \frac{t}{\tau_{имн}} = U_{BX}(t) \cdot \frac{\alpha}{\omega_0 \cdot \tau_{имн}} = U_{BX}(t) \cdot \frac{\alpha}{\pi}, \quad (9)$$

де  $\tau_{имн} = RC$  – тривалість імпульсу,  $t = \alpha / \omega_0$ .

Підставляючи кут  $\alpha$ , отримаємо такий закон керування

$$\alpha = k U_{кер}, \quad (10)$$

де  $k = \omega_0 \tau_{имн} / U_{BX}$ .

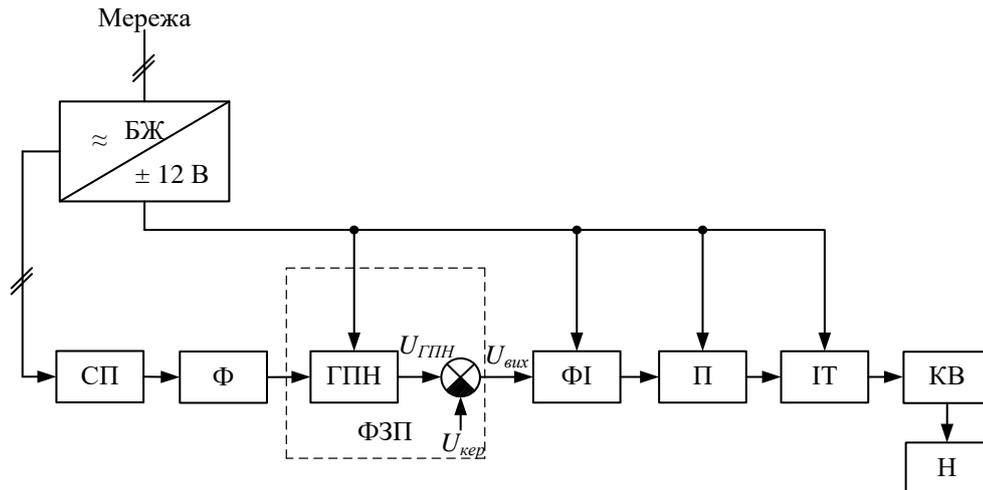


Рис.4. Структурна схема одноканальної СІФК з вертикальним керуванням.

Таким чином, завдання СІФК є інформаційною задачею та зводиться до перетворення керуючого сигналу (наприклад, напруги входу) у часову величину – кут керування  $\alpha$ .

Напруга з ГПН починає формуватися в початковий момент проходження синусоїди напруги через нуль ( $t=0$ ) і закінчується в момент часу  $t = \pi$ .

Така тривалість напруги ГПН забезпечує діапазон зміни фази імпульсу керування, що дорівнює половині періоду напруги мережі. При невеликих змінах кута фази  $\alpha < 20^\circ$  можна обійтись без ГПН, використовуючи для формування імпульсу керування вхідну напругу синусоїдальної форми з фільтра Ф. При рівності на суматорі напруг  $U_{ГПН}$  та  $U_{кер}$  на формувач імпульсів ФІ надходить сигнал, а він формує імпульс певної тривалості, тобто кут  $\alpha$  визначається точкою порівняння цих напруг. На схемі суматор інтерпретується компаратором.

Підсилювач П, побудований на транзисторі, забезпечує підсилення керуючого імпульсу для гарантованого відкриття тиристорів. Імпульсний трансформатор ІТ працює з завадоусуваючим фільтром. Керований випрямляч КВ (тиристор) регулює постійну напругу на навантаженні Н [3].

Якщо розглядати двоканальні схеми керування, наприклад однофазну мостову схему, то тут після формувача імпульсів ФІ слід розмістити розподільвачі імпульсів  $PI_1$ ,  $PI_2$ , побудовані на логічних елементах «І».

Завдяки елементам «І» в силовому колі забезпечується по чергове відкриття пар тиристорів при появі на керуючому електроді імпульсу. Знак напруги джерела закладений у напругах компараторів, що входять вже до видозміненого пристрою синхронізації ПС. Тому імпульс проходить тільки через той елемент «І», на одному з входів якого вже присутній додатній потенціал. Таким чином, керуючий імпульс по черзі (раз за період) надходить дотієї чи іншої пари тиристорів.

«Підсилювачі П призначені для підсилення сформованого імпульсу до рівня, придатного до відкриття тиристора. Потенційні розв'язки ПР забезпечують гальванічну розв'язку силового кола та системи керування. Вихід імпульсних трансформаторів під'єднаний до керуючих електродів тиристорів, що ввімкненні в діагоналі моста керованого випрямляча. Тобто тут відбувається попарне відкриття тиристорів. Для захисту від появи на керуючому електроді від'ємного потенціалу необхідно в його коло ввімкнути в потрібній полярності діод» [5].

На рис.5 показано часові діаграми одноканальної СІФК з вертикальним керуванням.

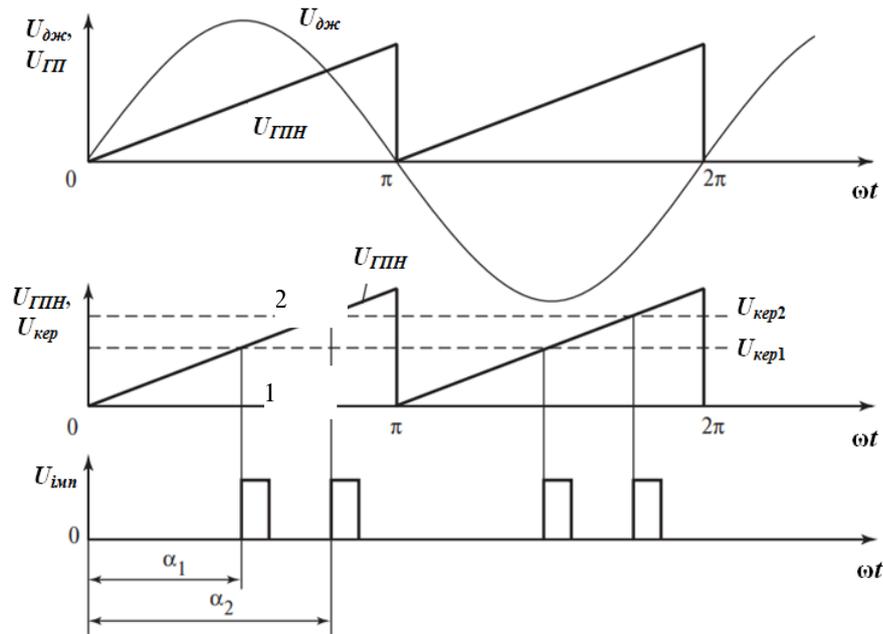


Рис.5. Діаграми роботи СІФК при вертикальному способі керування.

Як видно з діаграми при  $U_{кер1}$  формується керуючий імпульс, що відповідає куту керування  $\alpha_1$  (точка 1). Якщо  $U_{кер}$  збільшити до значення  $U_{кер2}$ , то пілкоподібна напруга пізніше досягає цього значення, відповідно й пізніше сформується керуючий імпульс з кутом  $\alpha_2$  (точка 2). Кут керування при цьому збільшиться, а вихідна напруга зменшиться.

Таким чином, вертикальний спосіб керування дає змогу отримати лінійні регульовальні характеристики вентильного перетворювача.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** У роботі проведено аналіз способів і методів регулювання електричних параметрів, визначено роль і місце систем керування в області силової електроніки. Обґрунтовано фізичні основи імпульсно-фазового керування тиристорами. Вибрано синхронну систему імпульсно-фазового керування з вертикальним способом, як просту в реалізації з мінімальним набором електронних елементів. Запропонований вертикальний спосіб керування тиристорами для регулювання напруги дає змогу отримати різні характеристики, зокрема регулювання частоти обертання різного електроінструменту, виконавчих електродвигунів малої та середньої потужності.

#### Список бібліографічного опису

1. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі: Навчальний посібник / М.М. Казачковський. – Дніпропетровськ, 1999. – 229 с.
2. Маковский А. Л. Силовые преобразователи электрической энергии в технических системах управления : учеб. пособие / А. Л. Маковский. – Минск, 2018. – 252 с.
3. Попков О.З. Основы преобразовательной техники : учеб. пособие для вузов / О.З. Попков. – М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 200 с.
4. Руденко В.С. Преобразовательная техника / В.С. Руденко, В.І. Сенько, І. М. Чиженко.– К.: Вища школа, 1978. – 424 с.
5. Савюк Т.В. Система імпульсно-фазового керування для джерел регульованої напруги / Т.В. Савюк // Випускна кваліфікаційна робота магістра. – Луцьк, Луцький НТУ, 2020. – 86 с.

#### Referenses

1. Kazachkovsky M.M. Controlled rectifiers: Textbook / M.M. Kazachkovsky. - Dnipropetrovsk, 1999. - 229 p.
2. Makovsky A.L. Power converters of electric energy in technical control systems: textbook. manual / AL Makovsky. - Minsk, 2018. - 252 p.
3. Popkov O.Z. Fundamentals of conversion technology: textbook manual for university / O.Z. Popkov. - M.: Publishing house MEI, 2010. - 200 p.
4. Rudenko V.S. Conversion technology / V.S. Rudenko, V.I. Senko, I.M. Chizhenko. - Kyiv.: Higher school, 1978. - 424 p.
5. Savyuk T.V. Pulse-phase control system for regulated voltage sources / T.V. Savyuk // Graduation thesis of the master. – Lutsk, LNTU, 2020. - 86 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-11>

УДК 0048:681

Логвін Антон Олексійович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-5913-9395>

Харківський національний університет радіоелектроніки

## ГЛИБИННЕ НАВЧАННЯ ДЛЯ АУДІО-ДОДАТКІВ

**Логвін А. О. Глибинне навчання для аудіо-додатків.** Розкрито принципи застосування глибокого навчання для нейронних мереж щодо розпізнавання аудіо-сигналів. Відокремлено області подання звуку. Підкреслено, що дослідження буде обмежено аудіо-сигналами. Описано принципи розбиття сигналу на складові елементи та їх вилучення із аудіо запису. Наведено схему формування розподілу аудіо-сигналу та запропоновано загальний підхід до задачі розпізнавання аудіо-сигналів. Він умовно поділений на три окремі етапи: обробка аудіо-запису та його перетворення у частотно-часову область, побудова спектрограми та її перетворення на формат з подальшим виведенням послідовності ознак у вигляді векторів. Визначений коефіцієнт накладання та середньозважений коефіцієнт перекриття (частковий збіг). Сформовано низку значень на основі проведеного експерименту, які показали, що на характеристики / параметри аудіо-додатків, сформовані за допомогою нейронної мережі з глибоким навчанням, має вплив метод підготовки даних, додавання шарів та формування спектру одиниць, що покращує результат за рахунок помноженого часу навчання, те саме стосується і періодичних з'єднань.

**Ключові слова:** машинне навчання, глибоке навчання, нейронна мережа, аудіо-сигнал, аудіо-додаток, розпізнавання, акорд, музика.

**Логвин А. А. Глубинное обучения для аудио-приложений.** Раскрыты принципы применения глубокого обучения для нейронных сетей по распознаванию аудио-сигналов. Обособлено области представление звука. Подчеркнуто, что исследование будет ограничено аудио-сигналами. Описаны принципы разбиения сигнала на составляющие элементы и их изъятия из аудио записи. Приведена схема формирования распределения аудио-сигнала и предложен общий подход к задаче распознавания аудио-сигналов. Он условно разделен на три отдельные этапы: обработка аудио-записи и его преобразования в частотно-временной области, построение спектрограммы и ее преобразования в формат с последующим выводом последовательности признаков в виде векторов. Определенный коэффициент наложения и средневзвешенный коэффициент перекрытия (частичное совпадение). Сформирован ряд значений на основе проведенного эксперимента, которые показали, что на характеристики / параметры аудио-приложений, сформированные с помощью нейронной сети с глубоким обучением, влияет метод подготовки данных, добавления слоев и формирования спектра единиц, улучшает результат за счет умноженного времени обучения, то же касается и периодических соединений.

**Ключевые слова:** машинное обучение, глубокое обучение, нейронная сеть, аудио-сигнал, аудио-приложение, распознавания, аккорд, музыка.

**Lohvin Anton. Deep machine learning for audio applications.** The principles of application of deep learning for neural networks for the recognition of audio signals are disclosed. Apart from the area of sound presentation. It is emphasized that the study will be limited to audio signals. The principles of signal splitting into constituent elements and their removal from audio recording are described. A diagram of the formation of the distribution of an audio signal is given and a general approach to the problem of recognizing audio signals is described. It is conventionally divided into three separate stages: processing of audio recording and its transformation in the time-frequency domain, construction of a spectrogram and its transformation into audio format, followed by outputting a sequence of features in the form of vectors. The overlap ratio and the weighted average overlap ratio (overlap) have been determined. A number of values were formed based on the experiment, which showed that the characteristics / parameters of audio applications formed using a neural network with deep learning are affected by the data preparation method, adding layers and forming a spectrum of units improves the result due to the multiplied training time, the same also applies to periodic connections.

**Keywords:** machine learning, deep learning, neural network, audio signal, audio application, recognition, chord, music.

**Вступ та постановка проблеми дослідження.** Методи глибокого навчання – це група методів машинного навчання, які можуть вивчати функції ієрархічно від нижнього рівня до вищого, створюючи глибоку архітектуру [1]. Методи глибокого навчання мають можливість автоматично вивчати функції на декількох рівнях, що дозволяє системі вивчати складні функції зіставлення безпосередньо з даних, без допомоги функцій, створених людиною. Ця здатність має вирішальне значення для абстракції високорівневих функцій, оскільки останні важко описати безпосередньо з необроблених навчальних даних. Більш того, з різким зростанням обсягів даних можливість автоматичного вивчення високорівневих функцій стає ще більш важливою:  $f: X \rightarrow Y$ . Найхарактернішою рисою методів глибокого навчання є те, що всі їх моделі мають глибоку архітектуру. Цей факт означає, що в мережі є кілька прихованих рівнів.

Обробка звуку охоплює безліч різних областей, всі з яких пов'язані з поданням звуку слухачам. Найбільш важливими є три області: відтворення музики з високою точністю, наприклад, на аудіокомпакт-дисках; голосовий зв'язок; синтетична мова, при якій комп'ютери генерують і розпізнають зразки людського голосу.

У рамках даної статті дослідження буде обмежено аудіо-сигналами. Одним з важливих напрямків пошуку музичної інформації є оцінка елементів, пов'язаних з музичними концептами. Такі

поняття, як нота, акорд, мелодія, тональність, можна визначити по нотній партитурі, але їх вилучення зі звукового сигналу – дуже складне завдання навіть для людини.

Кінцева мета автоматичної оцінки всіх музичних понять аудіо звуку або отримання його транскрипції є проблематичною в умовах сьогодення. Дослідники працюють над різними аспектами цього завдання, такими як витяг звукової мелодії, виявлення звуків або оцінка звукових акордів. Інформація про акорди, що міститься в записі, корисна для структурної сегментації. Ця інформація цінна сама по собі, так як вона може бути використана для індексації музичних записів по їх утриманню, щоб допомогти музикознавцям проаналізувати гармонію пісні або створити унікальну мелодію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні кілька років, чимало, як зарубіжних так і вітчизняних вчених здійснило відкриття у сфері глибокого навчання для аудіо-додатків.

Алгоритми машинного та глибокого навчання та їх використання в прикладних додатках, дослідили В.М. Бродкевич та В.Я. Ремесло [1]. Авторами розглянуто основний смисл машинного навчання (МН), основні визначення терміну машинне навчання та подаються різні точки зору дослідників і розробників експертних організацій; моделі МН та наочне уявлення про них; процес навчання машин; глибоке навчання (ГН) та базові алгоритми глибоких нейронних мереж (згорткових нейронних мереж) як основи ГН; алгоритми машинного навчання в прикладних додатках.

Стосовно акустичних даних варто відмітити роботу А.Г. Кривохати, О.В. Кудіна та А.О. Лісняка [2]. Автори здійснили огляд методів машинного навчання для класифікації акустичних даних. Для підвищення якості розпізнавання аудіо-сигналів, авторами пропонується використання ансамблевого навчання із застосуванням класифікаторів на основі ознак та глибинних нейронних мереж. Науковці наголошують, що різні класифікатори, на вхід яких подаються різні вектори ознак або дані без попередньої обробки, можуть бути відносно ефективними на різних даних, але об'єднуватися в один ефективний класифікатор-ансамбль. Перевагою такого підходу може бути його адаптивність з точки зору вимогливості до обчислювальних ресурсів, оскільки, за необхідністю, можна коректувати кількість класифікаторів, які беруть участь в аналізі.

А.Г. Кривохата [3] присвятила свою роботу розв'язанню задач класифікації звукових сигналів засобами гібридних нейронних мереж із шарами згортки та автокодувальників з оптимізацією їх структури генетичними алгоритмами.

М. М. Глибовець, А. П. Жиркова [4] розглянули особливості використання методів машинного навчання (МН) для класифікації звукової інформації на прикладі розв'язку задачі класифікації міських звуків (МЗ).

Також варто відмітити роботи таких вчених, як: F. Alias, J.C. Socoro, X. Sevillano [5], Y. Xu, Q. Huang, W. Wang, P. Foster, S. Sigtia, P.J.B. Jackson, M.D. Plumbley[6], F. Camastra, A. Vinciarelli[7], B.L. Sturm, A. Nürnberger, S. Stober, B. Larsen, M. Detyniecki[8], CiresanDan, UeliMeier, JonathanMasci, Luca M. Gambardella, Jurgen Schmidhuber [9], J.F. Gemmeke, D.P.W. Ellis, D. Freedman, A. Jansen, W. Lawrence, R.C. Moore, M. Plakal, M. Ritter [10], Q. Kong, Y. Xu, W. Wang, M.D. Plumbley[11], J. Stastný, V. Skorpil, J. Fejfar[12], G. Wichern, M. Yamada, H. Thornburg, M. Sugiyama, A. Spanias[13], G. Zaccane, Md. R. Krim [14], H. Purwins, B. Li, T. Virtanen, J. Schlüter, SY. Chang, T. Sainath [15], та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання дослідження принципів глибокого навчання для аудіо-додатків залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

**Мета статті.** Розкрити принципи глибокого навчання для аудіо-додатків.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Побудова моделей машинного навчання для класифікації, опису або генерації аудіо-сигналів зазвичай пов'язана із завданнями моделювання, в яких вхідними даними є аудіосемпли. Аудіосемпли зазвичай представлені у вигляді часових рядів, де вимір по осі Y являє собою амплітуду сигналу. Амплітуда зазвичай вимірюється як функція зміни тиску навколо мікрофону або приймального пристрою, який спочатку приймав звук, а по осі X – час. Попередня обробка набору даних, витяг функцій і розробка функцій – це кроки, які необхідні для витягу інформації з базових даних, інформації, яка в контексті машинного навчання повинна бути корисною для прогнозування класу вибірки або значення деякої цільової змінної. На тлі аудіо-аналізу цей процес, значною мірою, побудовано на пошуку компонентів аудіо-сигналу, які відрізняють його від інших сигналів.

Музичні аудіо-додатки – це тимчасові ряди, в яких події організовані в музичному, а не в реальному часі, які змінюється в залежності від ритму і виразів. Вимірювані сигнали зазвичай об'єднують кілька голосів, які синхронізовані за часом і перекриваються по частоті, змішуючи як короткострокові, так і довгострокові тимчасові залежності. Фактори впливу включають музичну

традицію, стиль, композитора та інтерпретацію. Висока складність і різноманітність породжують проблеми подання сигналів, що добре підходять для високих рівнів абстракції, які забезпечуються перцептивно і біологічно мотивованими методами обробки глибокого навчання.

Типовий аудіо-сигнал можна виразити як функцію амплітуди і часу.

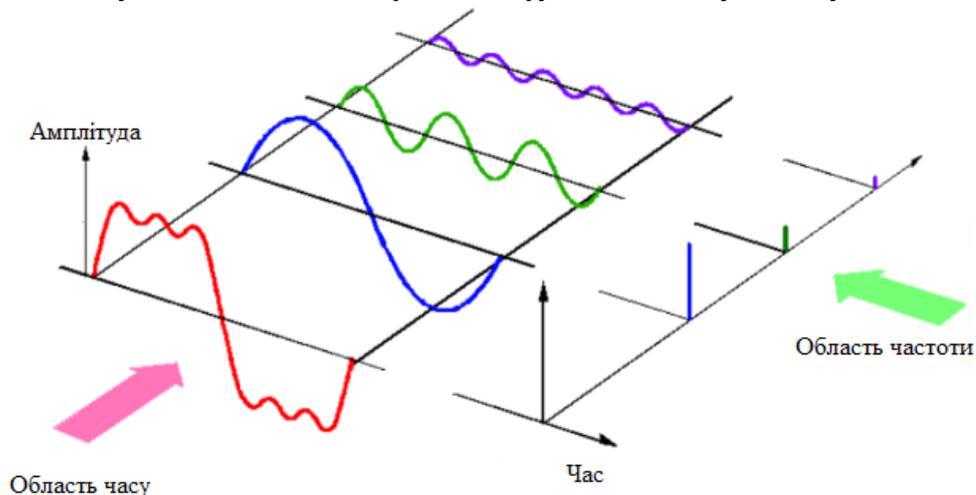


Рис. 1. Схема формування розподілу аудіо-сигналу [16]

Деякі пристрої можуть уловлювати ці звуки і представляти їх у форматі необхідному для обробки на машині. Приклади цих форматів:

- wav (Waveform Audio File);
- WMA (Windows Media Audio);
- mp3 (MPEG-1 Audio Layer 3).

Процес обробки звуку включає витяг акустичних характеристик, що відносяться до поставленого завдання, за якими слідує схема прийняття рішень, які включають виявлення, класифікацію та об'єднання знань.

Загальний підхід до задачі розпізнавання аудіо-сигналів можна розділити на 3 етапи. Спочатку аудіо-запис попередньо обробляється (тут часто визначається біття) і перетворюється у частотно-часову область наприклад, з використанням швидкого перетворення Фур'є або Q перетворення, в результаті чого вийде так звана спектрограма. Кожен стовпець спектрограми представляє спектр короткого фрагменту оригінального запису.

Потім до спектрограми застосовується серія перетворень для розгляду аудіо. Властивості і фактори, згадані вище, за допомогою яких аудіо-сигнал перетворюється на послідовність ознак у вигляді векторів.

Деякими широко використовуваними типами ознак є вектори профілю класу основного тону і логарифмічний крок кольору [3]. Їх зазвичай називають векторами кольоровості, тому що вони мають 12 компонентів, по одному на кожен клас висоти звуку (клас висоти звуку об'єднує всі частоти, які відповідають нотам з однаковою назвою, що належать різним октавам). Нарешті, послідовність векторів ознак перетворюється на послідовність символів хорди. Межі акордів утворюються через початковий поділ аудіо-запису на набір фрагментів з фіксованими межами. Імовірнісні моделі, такі як приховані марковські моделі і динамічні байєсовські мережі часто використовуються з причини їх здатності моделювати серії послідовних подій і включень різних факторів (басова нота, музична тональність).

Цільова послідовність хордових команд може бути отримана з послідовності спостережуваних векторів ознак шляхом застосування до моделі алгоритму Вітербо.

Прості алгоритми, які порівнюють тільки вектори ознак з визначеним шаблоном вектору для акордів [4] працюють трохи гірше, але не вимагають навчання і тому не можуть бути адаптовані до конкретної послідовності акордів або музичного стилю. Гарна якість розпізнавання акордів може бути досягнута без імовірнісних моделей, використовуючи більш досконалі функції з більш простим класифікатором.

Багатообіцяючі результати в цьому напрямку були отримані в [6] за допомогою глибокої згорткової нейронної мережі. У відповідності до розпізнавання акордів – багатопарові перцептрони, попередньо навчені як складові автокодері шумозаглушення. На відміну від згортальних нейронних

мереж вони обробляють спектрограму, як послідовність стовпців, а не як композицію прямокутників. Мережі цього типу успішно застосовуються для автоматичного розпізнавання мови [5].

Серйозний недолік нейронної мережі – це відсутність наочної інтерпретації значень в прихованих шарах. Таким чином, можна додати додатковий шар логістичної регресії з 12 виходами, щоб зробити мережевий вихід. Цей додатковий шар пов'язаний з прихованим шаром внутрішнього автоенкодера, і його висновок буде розглядатися як вектор кольоровості. Фактично, автоенкодери використовуються для попереднього навчання мережевих шарів і розміщення їх параметрів в області, де, ймовірно, знаходяться їх кращі значення. Потрібне тонке налаштування для настройки параметрів останнього шару логістичної регресії.

Дані для навчання беруться з відомих міток акордів. Кожен з них може бути представлений як ідеальний 12-мірний вектор, який має 1 на позиціях, що відносяться до нот даного акорду і 0 на інших позиціях. Ці вектори часто називаються бінарними шаблонами акордів. Хорда (N) не відповідає нульовому вектору, і тому можна виявити, коли елемент результуючого вектора з максимальним абсолютним значенням не більш  $\Delta$  – параметр, який коригується дослідним шляхом.

Бінарні шаблони для всіх акордів даного типу (наприклад, мажорні акорди) можна отримати з шаблону акордів до мажору шляхом циклічних перестановок його компоненти. Таким чином, для кожного стовпця спектрограми можна згенерувати 12 вхідних векторів, і 12 відповідних вихідних векторів з відповідною міткою хорди, шляхом застосування циклічної перестановки в одну сторону 12 разів. Таким чином, на рівну кількість всіх акордів може бути отриманий один тип навчальних даних. Але циклічна перестановка спектра компоненти неприродна, бо найвищі спектральні компоненти переміщуються до найнижчих одиниць. Так що краще замінити його ковзаючим вікном і дозволити вихідному спектру охопити на 1 октаву більше, забезпечуючи 12 додаткових значень.

Циклічна перестановка входів або компонентів вектора кольоровості – це механізм коли параметри навчальної моделі в алгоритмах розпізнавання акордів. Пропонується його використовувати як при навчанні автокодувальника з шумозаглушенням, так і при його тестуванні на невідомих входах. Вектори кольоровості для нової спектрограми можуть бути розраховані 12 разів з 12 різними параметрами, потім повернені до одного і того ж кореня і усереднені. Це потенційно може привести до кращої якості розпізнавання.

Щоб компенсувати різницю в загальній кількості мажорних і мінорних акордів в межах навчального набору, необхідно обмежити цю різницю значенням 100 (що перетворюється в 1200 через циклічну перестановку) в створеному наборі прикладів для підготовки нейронної мережі.

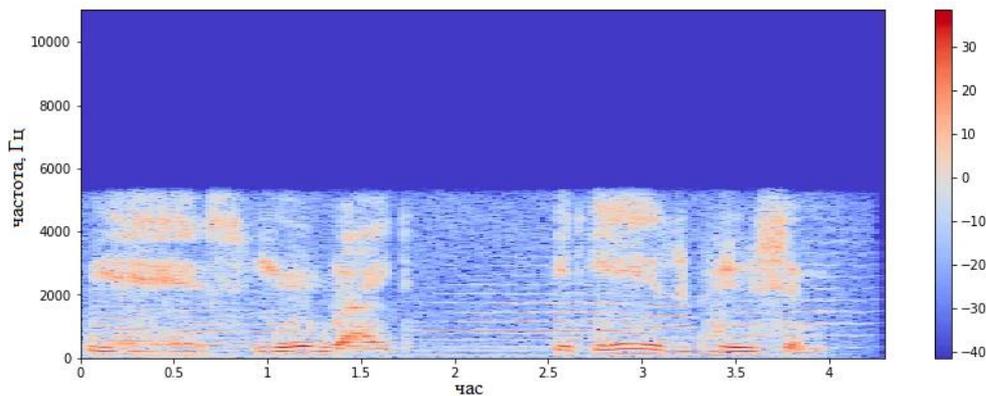


Рис. 2. Початкова спектрограма

Початкова спектрограма (рис. 2) охоплює 6 октав: від C2 (65,41 Гц) до B7 (4751 Гц) і має 1 рядок. Отже, кожен стовпець спектрограми складається з 72 значень, які представляють інтенсивність відповідної ноти на даному звуковому фрагменті. Коли менше компонентів необхідних для розрахунків, завжди використовуються найнижчі з них. Логарифмічні перетворення застосовується до кожного значення, щоб імітувати людське сприйняття інтенсивності звуку: кожне значення  $v$  замінюється на  $\log_{10}(1000v + 1)$ , як запропоновано в [16]. Кожен стовпець спектрограми потрібно нормалізувати, щоб його значення знаходились у інтервалі  $[0, 1]$  перед передачею в нейронну мережу.

Вектори ознак кольоровості отримують з нейронної мережі, навченої, як описано вище. Мережа у всіх експериментах має 12 виходів, але кількість входів, кількість прихованих шарів і їх розмір змінювалися в залежності від експерименту. Були розглянуті наступні варіанти:

– описана мережа з 48 або 60 входами, 1, 2 або 3 прихованими шарами і без повторюваних з'єднань;

– описана мережа з 48 або 60 входами, 1, 2 або 3 прихованими шарами і повторюваними з'єднаннями внутрішнього прихованого шару з самим собою.

Спочатку кожен вектор ознак замінюється лінійною комбінацією 10% найбільш схожих векторів, де вага кожного вектора дорівнює його подібності з вихідним вектором ознак. Подібність розраховується як евклідова відстань між двома векторами. Це дає можливість врахувати повторення музичних фраз.

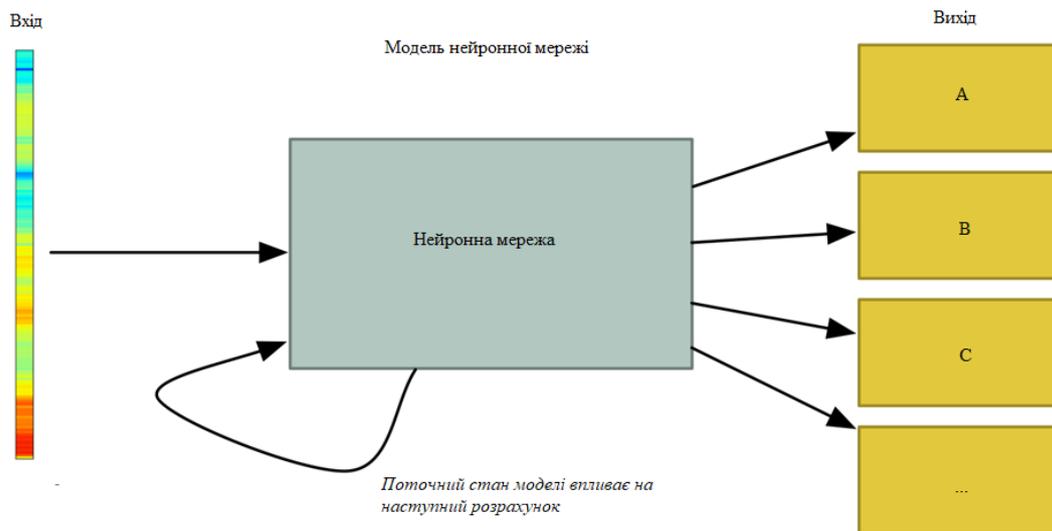


Рис. 3. Модель глибокого навчання нейронної мережі

Крім того, були реалізовані дві евристички для виправлення помилок визначення акорду. Перша евристичка полягає в пошуку всіх інтервалів, де кілька акордів одного кореня, але іншого типу розташовуються поруч один з одним, а потім замінюючи кожен інтервал з однією міткою акорду. Цей акорд обраний як найближча  $k$  сума всіх векторів ознак в межах інтервалу. Була введена ще одна евристичка для фіксації послідовності акордів, наприклад (A, B, C), де 3 послідовні частки позначені 3 різними акордами. Кожна подібна послідовність замінюється однією з (A, A, C), (A, C, C), (B, B, C), (A, B, B), для яких сума відстаней від слідуєчих один за одним векторів ознак до відповідних хордових міток мінімальна.

Спочатку запис був розділений на сегменти з використанням усіх кордонів акордів як від еталонної, так і від розрахункової послідовності. Потім на кожному сегменті здійснили оцінку тріад, її значення  $s$  дорівнює 1 на відрізку при оцінці та опорний акорд на цьому відрізку зведені до відповідних їм тріад (перші 3 ноти) вони рівні або в обох відсутні акорди. В іншому випадку  $s = 0$ . Тоді коефіцієнт накладання розраховується для цього запису як:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{сегм}}} s_i l_i}{\sum_{i=1}^{N_{\text{сегм}}} l_i}$$

де  $s_i$  – оцінка на  $i$ -му сегменті,  $l_i$  – довжина  $i$ -го відрізка,  $N_{\text{сегм}}$  – загальна сума кількості сегментів у аудіо.

Середньозважений коефіцієнт перекриття визначений для весь набір даних як:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{трек}}} OR_i L_i}{\sum_{i=1}^{N_{\text{трек}}} L_i}$$

де  $OR_i$  – коефіцієнт перекриття для  $i$ -го запису,  $L_i$  – загальна тривалість  $i$ -го аудіо запису і  $N_{\text{трек}}$  – це розмір набору даних (318 записів).

Отримані значення зведемо до таблиці 1.

Таблиця 1

Значення			
№	Конфігурація	Частковий збіг	Сегментація
Мережа без повторюваних з'єднань			
1	48, 200	0,7640	0,8135
2	48, 200, 200	0,7620	0,8019
3	60, 100	0,7620	0,7999
4	60, 200	0,7642	0,8011
5	60, 300	0,7648	0,8021
6	60, 200, 100	0,7666	0,8021
7	60, 300, 300	0,7655	0,8022
8	60, 100, 100, 100	0,7679	0,7998
9	60, 300, 300, 300	0,7677	0,8010
Мережа з повторюваними з'єднаннями внутрішнього прихованого шару з самим собою			
1	48, 200	0,7620	0,7955
2	48, 200, 200	0,7663	0,7979
3	60, 300	0,7615	0,7949
4	60, 300, 300	0,7680	0,7980
5	60, 300, 300, 300	0,7686	0,7999

Кількість входів у мережі відносно невелика. Тому експерименти проводилися лише з 1, 2 та 3 прихованими шарами. Швидкість навчання для попередньої підготовки автокодерів та мережевого навчання була встановлена на 0,03 та 0,01 відповідно; як попередня підготовка, так і глибоке навчання проводились протягом 15 епох. Розмір партії для градієнтного спуску партії був встановлений на 5. Стандартне відхилення для ізотропного гаусового шуму було встановлено на 0,2, і шум застосовувався до кожної спектральної складової з імовірністю  $p = 0,7$ . Ймовірність встановлення векторного компонента на 0 була встановлена на 0,2 для маскування шуму.

Конфігурація мережі вказує на кількість одиниць у вхідному шарі та приховані шари нейронних мереж або кількість спектральних компонентів, що використовуються для обчислення характеристик аудіо-сигналів. В експериментах повторювали лише останній попередньо підготовлений шар.

Перший експеримент спрямований на виявлення найкращого макета мережі. Використовувались однакові макети з повторюваними підключеннями та без них. Спектр обчислювали з 6 або 5 октав, використовуючи кожен з 5 або 4 октави (60 та 48 входів відповідно). Застосовувались як логарифмічне перетворення, так і пост-обробка.

Незважаючи на те, що конфігурації з більшою кількістю одиниць досягли трохи кращого результату, істотних відмінностей між результатами не було. Ні наявність повторюваних зв'язків, ні збільшення розміру вхідного вектора значно не покращують розпізнавання аудіо-сигналів. Лише для деяких пар різниця була статистично значущою. Загальний час глибокого навчання та тестування сильно зростає із додаванням більшої кількості шарів та періодичних зв'язків.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У роботі досліджено, як глибоке навчання нейронної мережі, яка обробляє спектрограму стовпець за стовпцем (на відміну від згорткових нейронних мереж), може створити ефективні кольорові функції, які можна використовувати для розпізнавання звукових акордів у аудіо-додатку.

Можна зробити висновок, що характеристики аудіо-додатків, розраховані за допомогою нейронної мережі з глибоким навчанням, дозволяють досягти практично тієї ж якості розпізнавання аудіо-сигналів, що нейронні мережі без навчання. Але конфігурація мережі та тип шуму, доданий під час пошарової попередньої підготовки, мають менше значення, ніж метод підготовки даних. Дані кращого спектру можуть покращити як звичайні функції, так і такі, що базуються на нейромережах. Іншим важливим висновком є те, що додавання шарів та одиниць покращує результат за рахунок помноженого часу навчання. Те саме стосується і періодичних з'єднань. Крім того, вони роблять процес тестування набагато повільнішим, оскільки результат отриманого вектору на кожному кроці

залежить від усіх попередніх кроків, а отже, окремі вхідні вектори не можуть бути оброблені паралельно.

Перспективи подальших досліджень базуються на об'єднанні цих функцій із звичайними, що може призвести до кращої якості розпізнавання аудіо-сигналів.

#### Список бібліографічного опису.

1. Бродкевич, В. М., & Ремесло, В. Я. (2018). Алгоритми машинного навчання (МН) та глибокого навчання (ГН) і їх використання в прикладних додатках. *Міжнародний науковий журнал Інтернаука*, (11 (1)), 56-60.
2. Кривохата, А. Г., Кудін, О. В., & Лісняк, А. О. (2018). Огляд методів машинного навчання для класифікації акустичних даних. *Вестник Херсонського національного технічного університету*, (3-1 (66)), 327-331.
3. Кривохата А. Г. (2020). Нейромережеві математичні моделі звукових сигналів у задачах розпізнавання : дисертація канд. фізико-матем. наук: 01.05.02; Запорізький національний університет Міністерства освіти і науки України, Запоріжжя. 160 с.
4. Глибовець, М. М. Жиркова, А. П. (2019). Використання машинного навчання у задачах класифікації звуків. *Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки*, 2, 22-31.

#### References.

1. Alías, F., Socoró, J. C., & Sevillano, X. (2016). A review of physical and perceptual feature extraction techniques for speech, music and environmental sounds. *Applied Sciences*, 6(5), 143, 1–44.
2. Xu, Y., Huang, Q., Wang, W., Foster, P., Sigtia, S., Jackson, P. J., & Plumbley, M. D. (2017). Unsupervised feature learning based on deep models for environmental audio tagging. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 25(6), 1230-1241.
3. Camastra, F., & Vinciarelli, A. (2015). *Machine learning for audio, image and video analysis: theory and applications*. Springer.
4. Sturm, B. L. (2012, October). A survey of evaluation in music genre recognition. In *International Workshop on Adaptive Multimedia Retrieval* (pp. 29-66). Springer, Cham.
5. Sturm, B. L. (2012, October). A survey of evaluation in music genre recognition. In *International Workshop on Adaptive Multimedia Retrieval* (pp. 29-66). Springer, Cham.
6. Cireşan, D. C., Meier, U., Masci, J., Gambardella, L. M., & Schmidhuber, J. (2011, June). Flexible, high performance convolutional neural networks for image classification. In *Twenty-second international joint conference on artificial intelligence*.
7. Cireşan, D. C., Meier, U., Masci, J., Gambardella, L. M., & Schmidhuber, J. (2011, June). Flexible, high performance convolutional neural networks for image classification. In *Twenty-second international joint conference on artificial intelligence*.
8. Gemmeke, J. F., Ellis, D. P., Freedman, D., Jansen, A., Lawrence, W., Moore, R. C., ... & Ritter, M. (2017, March). Audio set: An ontology and human-labeled dataset for audio events. In *2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 776-780). IEEE.
9. Xu, Y., Kong, Q., Huang, Q., Wang, W., & Plumbley, M. D. (2017, May). Convolutional gated recurrent neural network incorporating spatial features for audio tagging. In *2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 3461-3466). IEEE.
10. Stastny, J., Skorpil, V., & Fejfar, J. (2013, July). Audio data classification by means of new algorithms. In *2013 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)* (pp. 507-511). IEEE.
11. Wichern, G., Yamada, M., Thornburg, H., Sugiyama, M., & Spanias, A. (2010, March). Automatic audio tagging using covariate shift adaptation. In *2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (pp. 253-256). IEEE.
12. Zaccane, G., Karim, M. R., & Menshaw, A. (2017). *Deep learning with TensorFlow*. Packt Publishing Ltd.
13. Purwins, H., Li, B., Virtanen, T., Schlüter, J., Chang, S. Y., & Sainath, T. (2019). Deep learning for audio signal processing. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13(2), 206-219. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2019.2908700>
14. Music Genre Classification With Python. (2021). <https://towardsdatascience.com/music-genreclassification-with-python-c714d032f0d8>. – Title from the screen

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-12>

УДК 02:004.942

<sup>1</sup>Палка Олег Вікторович, аспірант,

<https://orcid.org/0000-0001-5607-279X>

<sup>1</sup>Станько Андрій Андрійович, аспірант,

<https://orcid.org/0000-0002-5526-2599>

<sup>1</sup>Шимчук Григорій Валерійович, старший викладач, заступник зав. каф. комп'ютерних наук.

<https://orcid.org/0000-0003-2362-7386>

<sup>2</sup>Герасимчук Олег Олександрович, директор.

<https://orcid.org/0000-0003-3029-695X>

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна.

<sup>2</sup>Відокремлений структурний підрозділ «Технічний фаховий коледж Луцького національного технічного університету», м. Луцьк, Україна.

## ЗАПОБІГАННЯ ПОШИРЕННЯ КОРОНАВІРУСНОЇ ІНФЕКЦІЇ У «РОЗУМНИХ МІСТАХ»

Палка О. В., Станько А. А., Шимчук Г. В., Герасимчук О.О. Запобігання поширення коронавірусної інфекції у «розумних містах». На сьогоднішній день увесь світ все ще веде боротьбу із пандемією COVID-19. Уряди різних країн та організації вирішують, як саме можна використовувати нові технології для полегшення її наслідків та як можна уникнути або мінімізувати майбутні пандемії. Використання технологій розумного міста широко обговорювалось для зменшення ризику COVID-19. Тому в цій статті розглядаються реалізовані програмні рішення у різних країнах та пропонується модель інформаційної системи, яка б забезпечувала розумну охорону здоров'я.

**Ключові слова:** IoT, розумне місто, пандемія, COVID-19, математичне моделювання, застосунок, інформаційна система, діаграма, прецедент, актор.

Палка О. В., Станько А. А., Шимчук Г. В., Герасимчук О.О. Предотвращение распространения коронавирусной инфекции в «умных городах». Пока весь мир все еще борется с разрушительными последствиями пандемии COVID-19, правительства и организации решают, как можно использовать новые технологии для облегчения ее последствий и как можно избежать или минимизировать будущие пандемии. Использование технологий умного города широко обсуждался для уменьшения риска COVID-19. Поэтому в этой статье рассматриваются реализованы программные решения в разных странах, и предлагается модель информационной системы, которая бы обеспечивала разумное здравоохранение.

**Ключевые слова:** IoT, умный город, пандемия, COVID-19, математическое моделирование, приложение, информационная система, диаграмма, прецедент, актер.

Palka O., Stanko A., Shymchuk H., Herasymchuk O. Preventing the spread of coronavirus infection in "smart cities". While the world is still struggling with the devastating effects of the COVID-19 pandemic, governments and organizations are deciding how new technologies can be used to alleviate their effects and how future pandemics can be avoided or minimized. The use of smart city technologies has been widely discussed to reduce the risk of COVID-19. Therefore, this article discusses the implemented software solutions in different countries, and proposes a model of an information system that would provide smart health care.

**Keywords:** IoT, smart city, pandemic, COVID-19, mathematical modeling, application, information system, diagram, precedent, actor.

### Постановка наукової проблеми.

Термін «Інтернет речей» (IoT) вперше був уведений у презентації Кевіна Ештона про впровадження ідентифікації радіочастот (RFID) у компанії Procter & Gamble для управління ланцюгами поставок [1]. IoT – це передова технологія, яка може зв'язати всі розумні об'єкти разом у мережі без взаємодії людини [2]. Простіше кажучи, будь-який об'єкт, який можна підключити до Інтернету для подальшого моніторингу або передачі даних, може бути пристроєм IoT [3].

Протягом останніх років IoT отримала переконливий дослідницький ґрунт як нову тему дослідження в найрізноманітніших академічних та виробничих дисциплінах, особливо в галузі охорони здоров'я. Революція IoT перекидає сучасні системи охорони здоров'я, включаючи технологічні, економічні та соціальні перспективи. Він розвиває системи охорони здоров'я від звичайних до більш персоналізованих, завдяки яким пацієнтів можна легше діагностувати, лікувати та контролювати.

IoT все частіше стає життєво важливою технологією в системах охорони здоров'я, де вона може забезпечити менші витрати, кращу якість послуг та вдосконалений досвід користувачів [4–7]. У результаті його широких можливостей, включаючи відстеження, ідентифікацію та аутентифікацію, та збір даних, експоненціальне зростання IoT у галузі охорони здоров'я зростає із 72 млрд. дол. США у 2020 р. до 188 млрд. дол. у 2025 р. [2, 8].

Сучасна глобальна проблема пандемії, спричинена новим важким респіраторним синдромом коронавірусу 2, є найбільшою глобальною кризою в галузі охорони здоров'я з часів спалаху пандемії

іспанського грипу у 1918 році [9]. Згідно з останніми даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), станом на початок лютого 2021 року (на рис. 1) кількість підтверджених випадків COVID-19 становить 105 мільйонів, від недуги загинуло більш, ніж 2 мільйони людей [10].

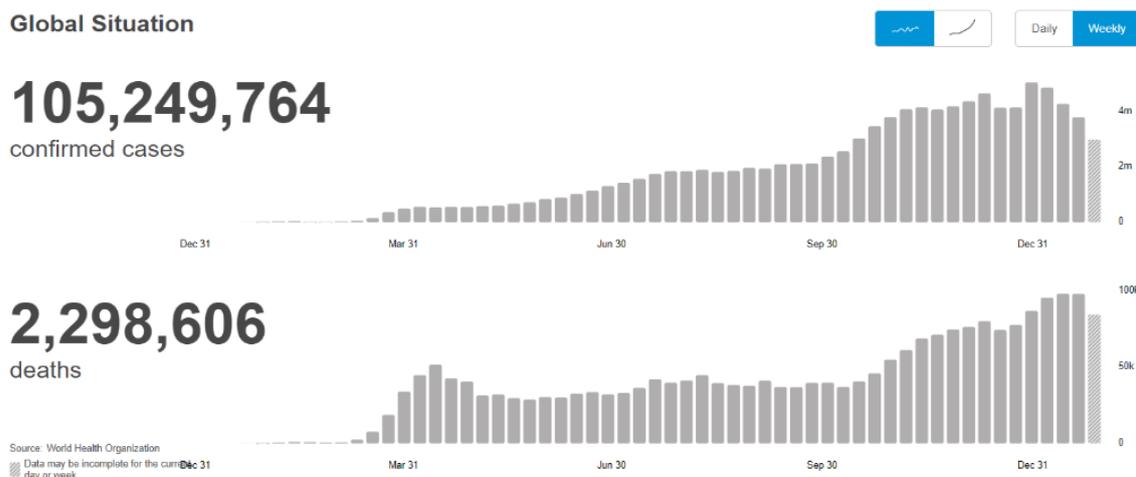


Рис. 1. Потижневий аналіз захворюваності на COVID-19 у світі станом на лютий 2021 року [10]

Ця хвороба має симптоми, подібні до грипу, такі як лихоманка, кашель і втома, які важливо розпізнати для ранньої діагностики [11]. Інкубаційний період COVID-19 триває від 1 до 14 днів. Дивно, але пацієнт без будь-яких симптомів може бути носієм вірусу COVID-19 і наражати на небезпеку інших [12]. Більше того, період одужання від цієї хвороби варіюється і залежить від віку пацієнта, основних станів тощо, але загалом триває від 6 днів до 41 дня [13].

Технології IoT у відповідь на COVID-19 застосовується у трьох фазах хвороби – ранній діагностиці, ізоляційному періоду і періоду після одужання.

Розумні міста – це бачення розвитку міст для інтеграції безлічі ІКТ-рішень для управління активами міста для створення стійкого середовища, підвищення якості життя і підвищення ефективності та економічної цінності [14]. Кількість нових продуктів та додатків IoT за останні роки зросла в геометричній прогресії. Саме тому **метою дослідження** є проведення аналізу використання мобільних застосунків для мінімізації ризику зараження та контролю над дотриманням самоізоляції мешканцями міст та країн загалом, а також проектування моделі інформаційної системи для України.

#### Аналіз досліджень.

Сучасна епідеміологічна ситуація у світі вимагає вчасного виявлення осередку захворюваності жителів міст із застосуванням IoT для забезпечення та розвитку їх розумності. Найбільшого застосування здобули мобільні додатки та ГІС-системи поширення коронавірусної інфекції у певних країнах та світі загалом. У даній роботі здійснимо аналіз використання мобільних додатків із цією метою у сімох країн.

Додаток «COVID Symptom Tracker», який використовується у Великобританії та США, надає дані щодо факторів ризику, прогнозних симптомів, клінічних результатів та географічної точки доступу. Його запуск відбувся у Великобританії 24 березня 2020 року та у США 29 березня 2020 року та набрав понад 2,8 мільйонів користувачів станом на 2 травня 2020 року [15]. Їх ініціатива пропонує доказ концепції перероблення існуючих підходів для забезпечення швидкого масштабування епідеміологічного збору та аналізу даних, що є критичним для реагування на дані, пов'язані з цим завданням охорони здоров'я.

За аналізом зібраних даних щодо симптомів COVID близько у 2 мільйонів користувачів (включаючи медичних працівників) з усієї Великобританії та Сполучених Штатів автори [16] зробили висновок, що поширеність комбінацій симптомів (три або більше), включаючи втому та кашель з подальшим діареєю, лихоманкою та/або аносмією, передбачає позитивну перевірку тесту на SARS-CoV-2. Математичне моделювання на основі статистичних даних дозволяє прогнозувати географічні точки виникнення на 5–7 днів раніше до офіційних звітів органів охорони здоров'я.

У березні 2020 року MobiHealthNews повідомив [17], що уряд Сінгапуру запусив мобільний застосунок «TraceTogether», щоб допомогти підтримати та доповнити поточні зусилля з відстеження контактів у національній державі, намагаючись зменшити поширення COVID-19.

TraceTogether працює, обмінюючись сигналами Bluetooth на відстані між телефонами, щоб виявити інших учасників TraceTogether в безпосередній близькості. Записи таких зустрічей зберігаються локально на телефоні кожного користувача.

Згідно із заявою Управління розумних націй при кабінеті прем'єр-міністра в Сінгапурі, близько 1,8 мільйона людей завантажили застосунок TraceTogether, але «цього недостатньо», оскільки застосунок наразі не охоплює населення, що перебуває в цифровому рахунку, включаючи літніх та маленьких дітей, які можуть не мати смартфонів.

Інша проблема полягає в тому, що застосунок не працює надійно на пристроях iOS і може спричиняти значну витрату ресурсу акумулятора, що стримуватиме користувачів iPhone до його використання.

У зв'язку з цим різні заражені країни пропонують цифровий процес відстеження контактів з мобільним застосунком, використовуючи різні технології, такі як Bluetooth, система глобального позиціонування (GPS), соціальний графік, контактні дані, мережевий API, дані мобільного відстеження, транзакції з картою даних та фізичною адресою системи. Процес цифрового відстеження контактів може виконуватися практично в режимі реального часу і набагато швидше порівняно з нецифровою системою. Всі ці цифрові програми призначені для збору індивідуальних персональних даних, які будуть проаналізовані інструментами машинного навчання (МН) та штучного інтелекту (ШІ) для відстеження людини, яка вразлива до нового вірусу через їх недавню контактну мережу.

На даний момент понад 36 країн (Австралія, Австрія, Чехія, Китай та інші) успішно застосували цифрове відстеження контактів, використовуючи централізоване, децентралізоване або гібридне використання обох методів, щоб зменшити зусилля та підвищити ефективність традиційних процесів діагностики охорони здоров'я [18].

У Польщі влада автоматично створює акаунти для громадян, які повернулися з закордону у застосунку «Kwarantanna domowa».

З 1 квітня застосування цього додатку стало обов'язковим для всіх осіб, що проходять 14-денний карантин [19]. Принцип роботи застосунка схожий з українським «Дій вдома». Громадяни, які перебувають на карантині, у відповідь на надісланий запит мають зробити селфі. Завдяки геолокації та системи розпізнавання обличчя встановлюється особа, та звіряється адреса із зазначеною у формі напередодні. Міністерство цифровізації Польщі стверджує, що завдяки застосунку користувачі також можуть отримати швидкий доступ до гарячої лінії зв'язку із соціальною службою, яка може надавати ліки або продукти харчування в окремих випадках.

У Німеччині використовується мобільний застосунок «Передача даних про коронавірус» («Corona-Datenspende»), розроблений інститутом імені Роберта Коха.

Він призначений для збору даних щодо поширення коронавірусу у ФРН. Використання його добровільне і можливе під псевдонімом [20]. Користувачам необхідно ввести свій поштовий індекс, стать, вік, зріст і вагу. Дані використовують для створення онлайн мапи Німеччини, де рівень зараження можна буде побачити за поштовим індексом. Дослідників цікавить частота пульсу користувачів у спокої, а також інформація про їхні періоди активності та сну. По ним застосунок може розпізнати типові симптоми пов'язані з Covid-19.

У Китаї мешканці користуються додатком «Код здоров'я Alipay». Його розробила китайська компанія, що займається інтернет-торгівлею «Alibaba». Після завантаження застосунок пропонує відповіді на ряд запитань, і потім за своїм алгоритмом визначає, чи має людина залишатися вдома. Застосунок схвалений урядом та є обов'язковим для використання. У співпраці з владою Китаю компанія розробила систему, яка присвоює QR коди трьох кольорів мільйонів китайських користувачів онлайн гаманця «Alipay»:

- Зелений - дозволяє вільне пересування, зокрема, у метро;
- Жовтий - рекомендує тижневий домашній карантин;
- Червоний - два тижні самоізоляції.

Застосунок передає дані про геолокацію користувача та колір присвоєного QR коду до поліції. За даними розробника [21] його використовують вже 700 мільйонів громадян Китаю.

«Ви були поруч з тим, хто має позитивний тест на коронавірус. Ви повинні негайно самоізолюватись вдома!». Таке повідомлення на смартфоні вже отримали сотні ізраїльтян. Прем'єр Ізраїлю Беньямін Нетаньягу дозволив службі внутрішньої розвідки використовувати глобальну базу даних і відстежувати переміщення тих, хто заразився коронавірусом [21]. Створена мапа випадків захворювань. Мобільний застосунок показує присутність можливого носія інфекції поблизу власника мобільного телефону з цим застосунком. Програма відстежує геолокацію телефону та інформує про наближення до потенційно

небезпечного місця, не чекаючи запиту. Використовується супутникова система навігації. Застосунок зберігає інформацію про переміщення людини.

Міністерство цифрової трансформації України створило застосунок «Дій вдома» для контролю обов'язкової самоізоляції.

Застосунок має контролювати тих, хто вже є носієм вірусу, або може потенційно ним стати. Перелік таких громадян визначають епідеміологи Міністерства охорони здоров'я. Ці громадяни надають письмову згоду на встановлення застосунку та обробку своїх даних. Застосунок упродовж двох тижнів надсилає користувачам до десяти PUSH-повідомлень на день, у відповідь на повідомлення впродовж 15 хвилин треба зробити селфі. Під час здійснення фото зчитується геолокація. Якщо впродовж 15-ти хвилин користувач нічого не надсилає - іде сповіщення до поліції. Правоохоронці можуть зателефонувати або приїхати до людини на самоізоляції за адресою, яку та добровільно надала напередодні [21].

У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз вищезгаданих мобільних додатків, які використовуються при боротьбі із COVID-19.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз мобільних додатків

Країна, назва додатку	Організація, установа	Платформи	Призначення					Технологія для збору даних			
			Відстеження контактів	Моніторинг симптомів	Інформаційне забезпечення	Дослідження	Ізоляція	Bluetooth	GPS	Інша	
<b>Велика Британія</b> COVID Symptom Tracker	Приватна організація	iOS та Android		+							Самозвітність
<b>Сінгапур</b> TraceTogether	Уряд	iOS та Android	+						+		
<b>Польща</b> Kwarantanna domowa	Уряд	iOS та Android			+			+		+	Зйомка
<b>Німеччина</b> Corona-Datenspende	Уряд	iOS та Android		+			+				Монітори
<b>Китай</b> Код здоров'я Alipay	Приватна організація, схвалений урядом	iOS та Android	+					+		+	
<b>Ізраїль</b> Щит	Уряд	iOS та Android	+		+					+	
<b>Україна</b> Дій вдома	Уряд	iOS та Android			+			+		+	Зйомка

Варто зауважити, що більшість із них розроблено урядом (у 5 із 7 країн), усі додатки підтримуються сучасними операційними системами для смартфонів, більшість із них використовуються для відстеження контактів потенційно хворої/хворої людини (у 3 із 7) та контролю дотримання режиму ізоляції (у 3 із 7). Найпоширенішою технологією для збору даних – є GPS-давач.

Щодо українського досвіду, то додаток «Дій вдома» є аналогом до польського додатку «Домашній карантин» як за функціональним призначенням так і за технологією для збору даних.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Для забезпечення максимального контролю та дотримання усіх функціональних призначень серед виділених у таблиці 1 вирішено спроектувати інформаційну систему «Мобільна інформаційна система моніторингу поширення вірусів».

На рис. 2 наведено її множину акторів.

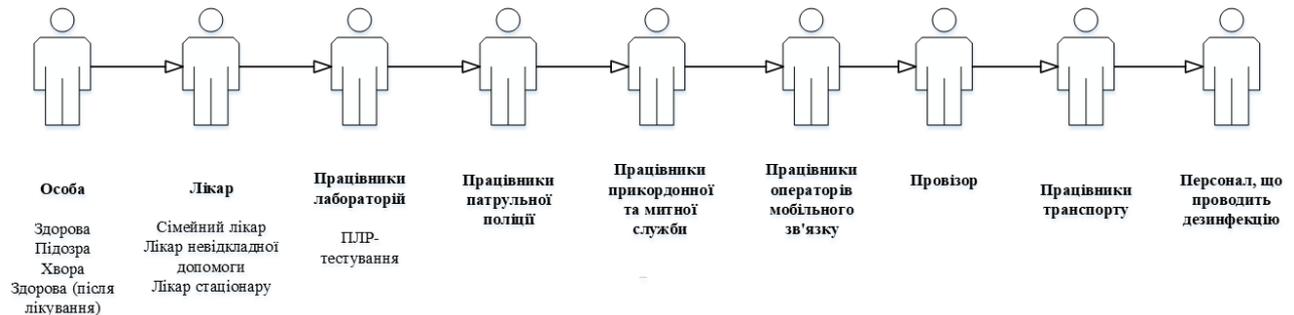


Рис. 2. Актори інформаційної системи

Розглядаються такі актори в системі:

- Особа (здорова особа, особа з підозрою, інфікована особа і здорова особа після лікування).
- Лікар (сімейний лікар, лікар невідкладної допомоги, лікар стаціонару).
- Працівники лабораторій.
- Працівники патрульної поліції.
- Працівники прикордонної та митної служби.
- Працівники операторів мобільного зв'язку.
- Провізор.
- Працівники транспорту.
- Персонал, що проводить дезінфекцію.

Кожен актор в системі відіграє невід'ємну роль в ситуації з коронавірусом та розкриває свої процеси в подоланні нової пандемії COVID-19.

На рис. 3 наведено діаграму прецедентів для актора «Особа».

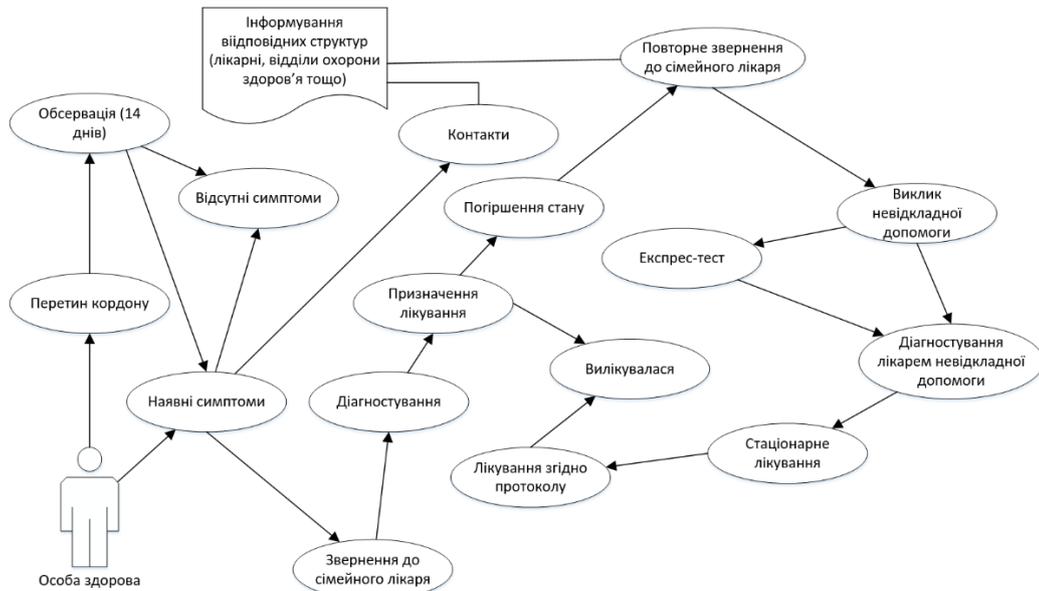


Рис. 3. Діаграма прецедентів для актора «Особа»

Якщо особа перетинає кордон, вона вважається потенційно можливим хворим. Тому вона повинна пройти 14-денну обсервацію. Якщо ж у неї не має симптомів і термін обсервації проходить, то вона може повернутись до нормального режиму життя. Якщо особа відчуває якісь симптоми з можливих при захворюванні COVID-19, бажано залишатися вдома, потрібно в телефонному режимі звернутися до сімейного лікаря або, по можливості, щоб лікар прийшов до пацієнта, використовуючи всі рекомендації щодо запобігання зараженню.

Важливою складовою дослідження і аналізу всієї ситуації з коронавірусом є діяльність лікаря. На рис. 4 наведено діаграму прецедентів для актора «Лікар».



Рис. 4. Діаграма прецедентів для актора «Лікар»

Сімейний лікар, поспілкувавшись із пацієнтом, оцінює ситуацію і дає конкретні поради щодо подальших дій. На рис. 5 наведено діаграму прецедентів для актора «Сімейний лікар».



Рис. 5. Діаграма прецедентів для актора «Сімейний лікар»

Якщо пацієнт має сімейного лікаря, його необхідно проінформувати. Якщо лікаря немає, то до пацієнта потрібно направити мобільну бригаду для взяття тесту методом ПЛР.

На рис. 6 наведено діаграму прецедентів для актора «Прикордонна та митна служба».



Рис. 6. Діаграма прецедентів для актора «Прикордонна та митна служба»

При перетині українського кордону, кожну особу зустрічає прикордонний патруль. На кожному українському пункті пропуску працює санітарно-контрольний пост. Завдання прикордонників не лише стежити за правовим та законним перетином кордону, але й, в умовах карантину, запобігати поширенню COVID-19. Тому у них є завдання максимально бути пильними та убезпечити не тільки себе від зараження, але і забезпечити людям безпечний перетин кордону та подальше перебування на території України.

При зустрічі з прикордонниками проходить загальний огляд та опитування подорожуючих, щоб зрозуміти як вони почуваються, з яких країн вони повертаються.

Поліцейські здійснюють охорону місць обсервації і території медичних закладів, де перебувають особи із захворюванням чи підозрою на COVID-19.

На рис. 7 наведено діаграму прецедентів для актора «Патрульна поліція».



Рис. 7. Діаграма прецедентів для актора «Патрульна поліція»

Безпосередньо фармацевт повинен уточнити наявні симптоми і на їх основі консультувати щодо лікарських засобів або повідомити про звернення до лікаря. На рис. 8 наведено діаграму прецедентів для актора «Провізор».



Рис. 8. Діаграма прецедентів для актора «Провізор»

На рис. 9 наведено діаграму прецедентів для актора «Оператор мобільного зв'язку».

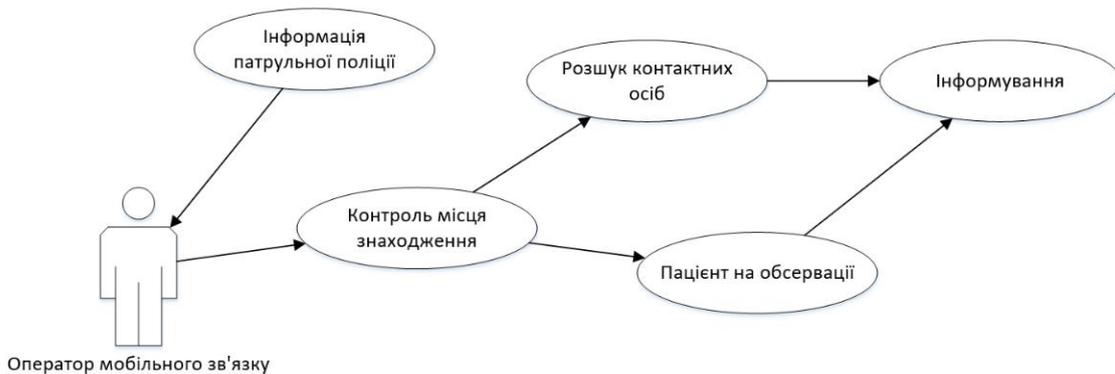


Рис. 9. Діаграма прецедентів для актора «Оператор мобільного зв'язку»

Для забезпечення контролю пересування потенційно хворих або хворих осіб за запитом поліції оператори мобільного зв'язку можуть надати координати поточного місця перебування.

### Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Проведений авторами аналіз досліджень з питань впровадження мобільних додатків для контролю стану особи у «розумних» містах в період пандемії коронавірусу засвідчив їх актуальність та практичну цінність, адже їх використання передбачає додатковий захист для здорової людини та контроль за етапами лікування хворого.

Запропоновані авторами підходи до формування групи акторів системи, а також функціональний розподіл кожного із акторів системи дозволяє в подальшому реалізувати ІС, яка б сприяла зменшенню кількості хворих, та активно реалізовувати у місті елементи «розумності» і зменшити навантаження на систему охорони здоров'я.

### Список бібліографічного опису

1. Ештон, Кевін. "Ця річ 'Інтернету речей'." *Журнал RFI*, вип. 22, № 7, 2009, с. 97–114.
2. Арафат Алі, Гешам, Зозо Хасан та Махмуд М. Бадаві. "Інтернет речей (IoT): визначення, виклики та останні напрямки досліджень." *Міжнародний журнал комп'ютерних програм*, вип. 128, № 1, жовтень 2015 р., с. 37–47., doi:10.5120/ijca2015906430.
3. ХаддадПаджу, Хамед, Алі Дехгантанья, Реза М.Парізі, Мохаммед Аледхарі та Хадіс Каріміпур. "Опитування безпеки Інтернету речей: вимоги, виклики та рішення." *Інтернет речей*, листопад 2019 р., с. 100129., doi:10.1016/j.iot.2019.100129.
4. Да Коста, Кріштіану Андре, Крістіан Ф. Паслуоста, Бьорн Ескоф'є, Деніз Бандейра Да Сільва та Родріго Да Роза Рігі. "Інтернет про здоров'я: до інтелектуального моніторингу життєво важливих ознак у лікарняних палатах." *Штучний інтелект у медицині*, вип. 89, 2018, с. 61–69., doi:10.1016/j.artmed.2018.05.005.
5. Різул Іслам, С. М., Даехан Квак, Мд Хумаун Кабір, Махмуд Хоссейн і Кюнг-Суп Квак. "Інтернет речей для охорони здоров'я: всебічне опитування." *Доступ IEEE*, вип. 3, 2015, с. 678–708., doi:10.1109/access.2015.2437951.

6. Ху, Фанг, Дан Сі та Шаоу Шень. "Про застосування Інтернету речей у галузі медицини та охорони здоров'я." *2013 Міжнародна конференція IEEE з питань зелених обчислень та комунікацій та IEEE Інтернет речей та IEEE Кібер, фізичні та соціальні обчислення*, 2013., doi:10.1109/greencom-ithings-cpscom.2013.384.
7. Ці, Цзюнь, По Ян, Гейон Мін, Олівер Амфт, Фен Донг і Ліда Сю. "Розширений Інтернет речей для персоналізованих систем охорони здоров'я: опитування." *Поширені та мобільні обчислення*, вип. 41, 2017, с. 132–149.
8. "IoT на ринку охорони здоров'я." *Фірма з дослідження ринку*, www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-healthcare-market-160082804.html.
9. Лавлейс-молодший, Берклі. "Вчені кажуть, що коронавірус як мінімум такий смертельний, як пандемія грипу 1918 року." *CNBC*, www.cnbc.com/berkeley-lovelace-jr/.
10. "Інформаційна панель ВООЗ про коронавірус (COVID-19)." *Всесвітня організація охорони здоров'я*, covid19.who.int/.
11. "Симптоми коронавірусу." *Центри з контролю та профілактики захворювань*, www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/symptoms-testing/symptoms.html.
12. "COVID-19: Коли на карантин." *Центри з контролю та профілактики захворювань*, www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/if-you-are-sick/quarantine.html.
13. Ванг, Вейер, Цзяньмін Тан і Фаньцян Вей. "Оновлене розуміння спалаху нового коронавірусу 2019 року (2019-NCov) у місті Ухань, Китай." *Журнал медичної вірусології*, вип. 92, № 4, 2020, с. 441–447.
14. Альгрєн, Бенгт, Маркус Хіделл та Едіт К.-Х. Нгай. "Інтернет речей для розумних міст: взаємодія та відкриті дані." *Інтернет-обчислення IEEE*, вип. 20, № 6, 2016, с.52–56., doi:10.1109/mic.2016.124.
15. Чан, Ендрю Т., Девід А. Дрю, Лонг Х. Нгуєн, Аміт Д. Джоші, Веньцзе Ма, Чуан-Го Го, Чун-Хан Ло, Раадж С. Мехта, Сохі Квон, Даніель Р. Сікаві, Марина В. Магічева-Гупта, Захра С. Фатехі, Жаклін Дж. Флін, Брайанна М. Леонардо, Крістін М. Альберт, Габрієлла Андреотті, Лора Е. Бін-Фрімен, Біджал А. Баласубраманян, Джон С. Браунштейн, Фіона Брюїнсма, Енні Н. Коуан, Анусіла Дека, Майкл Е. Ернст, Джейн К. Фігейредо, Пол В. Френкс, Крістофер Д. Гарднер, Ірен М. Гобріал, Крістофер А. Хейман, Джанет Е. Холл, Сандра Л. Демінг-Халверсон, Бренда Кірпач, Джеймс В. Лейсі, Лоїк Ле Маршан, Кетрін Р. Марінак, Марія Олена Мартінес, Роджер Л. Мілн, Енн М. Мюррей, Деніс Наш, Джулі Р. Палмер, Альпа В. Патель, Лінн Розенберг, Дейл П. Сендлер, Шріла В. Шарма, Пастух Х. Шурман, Лінн Р. Уїлкенс, Хорхе Е. Чаварро, А. Хізер Еліассен, Хайме Е. Харт, Дже Хі Канг, Карестан Ч. Кенен, Лора Д. Кубзанські, Лорелей А. Муччі, Себастьян Урселін, Джанет В. Річ-Едвардс, Мінганг Сонг, Мейр Дж. Стампер, Клер Дж. Стів, Вальтер К. Вільттг, Йонатан Вульф, і Тім Спектор. "Консорціум пандемічної епідеміології коронавірусу (COPE): заклик до дії." *Епідеміологія раку Біомаркери та профілактика*, вип. 29, № 7, 2020, с.1283–1289. doi:10.1158/1055-9965.epi-20-0606.
16. Тінг, Даніель Шу, Лоуренс Карін, Віктор Дзау та Тянь Ю. Вонг. "Цифрові технології та COVID-19." *Природна медицина*, вип. 26, ном. 4, 2020, с. 459–461.
17. Стівенс, Халлам і Моані Бхадра Хейнс. "TraceTogether: реакція на пандемію, демократія та технології." *Східноазійська наука, технології та суспільство: Міжнародний журнал*, вип. 14, № 3, 2020, с. 523–532.
18. Лалмунавма, Самуель, Джамал Хуссейн та Лалрінфела Чакчуак. "Застосування машинного навчання та штучного інтелекту для пандемії Covid-19 (SARS-CoV-2): огляд." *Хаос, солітони та фрактали*, вип. 139, 2020, с. 110059.
19. "Додаток 'Kwarantanna Domowa' Обов'язковий Для Всіх, Хто Перебуває На Карантині." *UAINKrakow.pl*, 2 Кві. 2020, uainkrakow.pl/dodatok-kwarantanna-domowa-oboviazkovyi-dlia-vsikh-khto-perebuvaie-na-karantyni/.
20. Німецька хвиля. "Коронавірус: У ФРН Представили Новий Додаток Для Збору Даних: DW: 07.04.2020." *DW.COM*, www.dw.com/tu/коронавірус-в-фрг-представили-новое-приложение-для-сбора-данных/a-53048057.
21. Німецька хвиля. "Смартфон Проти Коронавірусу: Як Контролюють Самоізоляцію На Прикладі 5 Країн (22.04.2020): DW: 22.04.2020." *DW.COM*, www.dw.com/uk/смартфон-проти-коронавірусу-як-контролюють-самоізоляцію-на-прикладі-5-країн-22042020/av-53209342.

#### References

1. Ashton, Kevin. "That 'Internet of Things' Thing." *RFID Journal*, vol. 22, no. 7, 2009, pp. 97–114.
2. Arafat Ali, Hesham, Zozo Hassan, and Mahmoud M Badawy. "Internet of Things (IoT): Definitions, Challenges and Recent Research Directions." *International Journal of Computer Applications*, vol. 128, no. 1, Oct. 2015, pp. 37–47., doi:10.5120/ijca2015906430.
3. HaddadPajouh, Hamed, Ali Dehghantanha, Reza M. Parizi, Mohammed Aledhari, and Hadis Karimipour. "A Survey on Internet of Things Security: Requirements, Challenges, and Solutions." *Internet of Things*, Nov. 2019, p. 100129., doi:10.1016/j.iot.2019.100129.
4. Da Costa, Cristiano André, Cristian F. Pasluosta, Björn Eskofier, Denise Bandeira Da Silva, and Rodrigo Da Rosa Righi. "Internet of Health Things: Toward Intelligent Vital Signs Monitoring in Hospital Wards." *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 89, 2018, pp. 61–69., doi:10.1016/j.artmed.2018.05.005.
5. Riazul Islam, S. M., Daehan Kwak, Md Humaun Kabir, Mahmud Hossain, and Kyung-Sup Kwak. "The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey." *IEEE Access*, vol. 3, 2015, pp. 678–708., doi:10.1109/access.2015.2437951.
6. Hu, Fang, Dan Xie, and Shaowu Shen. "On the Application of the Internet of Things in the Field of Medical and Health Care." *2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*, 2013, doi:10.1109/greencom-ithings-cpscom.2013.384.
7. Qi, Jun, Po Yang, Geyong Min, Oliver Amft, Feng Dong, and Lida Xu. "Advanced Internet of Things for Personalised Healthcare Systems: A Survey." *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 41, 2017, pp. 132–149.
8. "IoT in Healthcare Market." *Market Research Firm*, www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-healthcare-market-160082804.html.
9. Lovelace Jr., Berkeley. "Scientists Say the Coronavirus Is at Least as Deadly as the 1918 Flu Pandemic ." *CNBC*, www.cnbc.com/berkeley-lovelace-jr/.
10. "WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard." *World Health Organization*, covid19.who.int/.
11. "Symptoms of Coronavirus." *Centers for Disease Control and Prevention*, www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/symptoms-testing/symptoms.html.
12. "COVID-19: When to Quarantine." *Centers for Disease Control and Prevention*, www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/if-you-are-sick/quarantine.html.

13. Wang, Weier, Jianming Tang, and Fangqiang Wei. "Updated Understanding of the Outbreak of 2019 Novel Coronavirus (2019-NCoV) in Wuhan, China." *Journal of Medical Virology*, vol. 92, no. 4, 2020, pp. 441–447.
14. Ahlgren, Bengt, Markus Hidell, and Edith C.-H. Ngai. "Internet of Things for Smart Cities: Interoperability and Open Data." *IEEE Internet Computing*, vol. 20, no. 6, 2016, pp. 52–56., doi:10.1109/mic.2016.124.
15. Chan, Andrew T., David A. Drew, Long H. Nguyen, Amit D. Joshi, Wenjie Ma, Chuan-Guo Guo, Chun-Han Lo, Raaj S. Mehta, Sohee Kwon, Daniel R. Sikavi, Marina V. Magicheva-Gupta, Zahra S. Fatehi, Jacqueline J. Flynn, Brianna M. Leonardo, Christine M. Albert, Gabriella Andreotti, Laura E. Beane-Freeman, Bijal A. Balasubramanian, John S. Brownstein, Fiona Bruinsma, Annie N. Cowan, Anusila Deka, Michael E. Ernst, Jane C. Figueiredo, Paul W. Franks, Christopher D. Gardner, Irene M. Ghobrial, Christopher A. Haiman, Janet E. Hall, Sandra L. Deming-Halverson, Brenda Kirpach, James V. Lacey, Loïc Le Marchand, Catherine R. Marinac, Maria Elena Martinez, Roger L. Milne, Anne M. Murray, Denis Nash, Julie R. Palmer, Alpa V. Patel, Lynn Rosenberg, Dale P. Sandler, Shreela V. Sharma, Shepherd H. Schurman, Lynne R. Wilkens, Jorge E. Chavarro, A. Heather Eliassen, Jaime E. Hart, Jae Hee Kang, Karestan C. Koenen, Laura D. Kubzansky, Lorelei A. Mucci, Sebastien Ourselin, Janet W. Rich-Edwards, Mingyang Song, Meir J. Stampfer, Claire J. Steves, Walter C. Willett, Jonathan Wolf, and Tim Spector. "The COronavirus Pandemic Epidemiology (COPE) Consortium: A Call to Action." *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, vol. 29, no. 7, 2020, pp. 1283–1289., doi:10.1158/1055-9965.epi-20-0606.
16. Ting, Daniel Shu, Lawrence Carin, Victor Dzau, and Tien Y. Wong. "Digital Technology and COVID-19." *Nature Medicine*, vol. 26, no. 4, 2020, pp. 459–461.
17. Stevens, Hallam, and Monamie Bhadra Haines. "TraceTogether: Pandemic Response, Democracy, and Technology." *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal*, vol. 14, no. 3, 2020, pp. 523–532.
18. Lalmuanawma, Samuel, Jamal Hussain, and Lalrinfela Chhakchhuak. "Applications of Machine Learning and Artificial Intelligence for Covid-19 (SARS-CoV-2) Pandemic: A Review." *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 139, 2020, p. 110059.
19. "The 'Kwarantanna Domowa' app is a must for anyone who is in quarantine." *UAinKrakow.pl*, 2 Apr. 2020, uainkrakow.pl/dodatok-kwarantanna-domowa-oboviazkovyi-dlia-vsikh-khto-perebuvaie-na-karantyni/.
20. Deutsche Welle. "Coronavirus: New Data Collection Application Introduced in Germany: DW: 07.04.2020." *DW.COM*, www.dw.com/ru/коронавирус-в-фрг-представили-новое-приложение-для-сбора-данных/a-53048057.
21. Deutsche Welle. "Smartphone Against Coronavirus: How to Control Self-Isolation In Example 5 Countries (22.04.2020): DW: 22.04.2020." *DW.COM*, www.dw.com/uk/смартфон-проти-коронавірусу-як-контролюють-самоізоляцію-на-прикладі-5-країн-22042020/av-53209342.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-13>

УДК 004:338.48

Соняк Софія Олександрівна, студентка

<https://orcid.org/0000-0002-3665-3359>.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## ВИЯВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ АТАК ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНТРОПІЇ

**Соняк С. О. Виявлення мережеских атак за допомогою Ентропії.** Проблема розподіленого відмови в обслуговуванні (DDoS) - це поширена проблема сьогодні. Існує безліч способів виявлення цього типу атак. В статті розглядається метод Ентропії.

**Ключові слова:** мережескі атаки, DDoS-атаки, ентропія, канали передачі даних, мережескі, кібератаки.

**Soniak S.O. Detection of network attacks using Entropy.** The problem of distributed denial of service (DDoS) is a common problem today. There are many ways to detect this type of attack. The entropy method is considered in the article.

**Keywords:** network attacks, DDoS-attacks, entropy, data transmission channels, network, cyberattack.

**Соняк С. А. Выявление сетевых атак с помощью Энтропии.** Проблема распределенного отказа в обслуживании (DDoS) - это распространенная проблема сегодня. Существует множество способов выявления этого типа атак. В статье рассматривается метод Энтропии.

**Ключевые слова:** сетевые атаки, DDoS-атаки, энтропия, каналы передачи данных, сетевой, кибератаки.

**Постановка проблеми.** Глобальна мережа передачі даних Інтернет зайняла міцне місце в сучасному житті. Без цього засобу зв'язку неможливо уявити собі сучасні телекомунікації. Такі засоби, що здавалися екзотикою ще кілька років тому, як відеоконференції, обмін миттєвими повідомленнями, відносно дешевші способи міжміського і міжнародного голосового зв'язку, остаточно увійшли в повсякденне життя. Слід зазначити все більшу конвергенцію мереж: уже зараз багато національних і транснаціональних операторів зв'язку здійснюють передачу міжнародного трафіку через канали глобальної мережі. Мережі з комутацією пакетів поступово витісняють мережі з комутацією каналів, а найбільшою такою мережею і є Інтернет (або просто Мережа).

В основу мережі Інтернет при розробці були покладені принципи децентралізації та самокерованості. Це пов'язано з тим, що мережа розроблялася військовим відомством США як засіб зв'язку на випадок ядерної війни. Однак, аналітики не припускали широкого розповсюдження мережі.

На даний момент все частіше стали виявлятися негативні аспекти такого підходу. Одна з проблем, пов'язаних з таким підходом і розглядається в цій роботі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В сучасному світі дуже часто зустрічається проблема кібератак, а питання протидії їм є надзвичайно важливим. Особливо протягом останніх років спостерігається збільшення їх кількості, особливе місце серед яких займають саме DoS / DDoS атаки [1, 2, 3, 4]. У роботі О. Купреєва [5] відображена статистика, яка показує щорічне збільшення кібератак саме в вересні, коли перевага для атак надається освітній галузі. Яскравим прикладом є DDoS-атака у вересні 2018 року на сайт Единбурзького університету. Так, все частіше для здійснення кібератак використовуються домашні пристрої, зокрема, роутери, веб-камери, принтери та інші IoT пристрої [6]. Найкращим способом боротьби із кібератаками поки що залишається лише їх вчасне виявлення за допомогою різних методів.

**Невирішені частини проблеми.** Проблема виявлення та захисту від DoS / DDoS атак розглядалась у роботах багатьох вчених, зокрема, О. Смоктюк, Н. Багнюк [7, 8, 9]. На даний момент практично всі виробники мережевого устаткування шукають шляхи вирішення проблем пов'язаних з DDoS атаками та їх відмінністю від простого перевантаження мережі. Це зумовило значне збільшення кількості публікацій на цю тему. Зокрема, у роботі Олени Мірковік та Пігера Райхера [13], висвітлюють повний спектр проблем організацій, пов'язаних із кібератаками. У цій роботі пропонується один з можливих методів, що підвищують ймовірність виявлення такої атаки. Основною проблемою є те, що неможливо передбачити кібератаки, а способи їх реалізації досить різноманітні, що значно уповільнює процес їх виявлення. До того ж, єдиний спосіб швидкого відновлення роботи системи після кібератаки – вчасне виявлення. Одна досі немає методу, який точно би відрізняв причину зміни кількості запитів, тобто, чи вона була зумовлена хакерською атакою, чи звичайним збільшенням активності користувачів.

**Метою дослідження** є вивчення методу виявлення аномалій мережевого трафіку на основі інформації про впорядкованості трафіку в каналі передачі даних для виявлення DoS / DDoS атак.

**Основні результати дослідження.** Атаки типу «відмова в обслуговуванні» (DoS) на пряму впливають на доступ до інформаційних ресурсів. DoS атака вважається успішною за умови, що вона

спонукала до недоступності інформаційного ресурсу. Звісно, вплив від таких атак може бути різним, зокрема, створити загрозу потенційного нанесення фінансових збитків, або ж безпосередньо заподіяти шкоду. Так, наприклад, при атаці інтернет-магазину, така атака може принести величезні фінансові збитки.

У випадку із DDoS атаками, основне завдання зловмисників полягає у тому, щоб зробити із різних місця максимальну кількість запитів. Для цього навіть створюються спеціальні автоматичні бот-мережі, щоб зробити масштабнішою DDoS атаку.

Щодня у світі трапляється безліч кібератак, які різняться за своїм масштабом. Для відстеження цього процесу було створено спеціальний ресурс [12], який зберігає DDoS атаки до архіву, де в режиму інтерактивної карти можна переглянути кожну із атак (див. рис. 1).

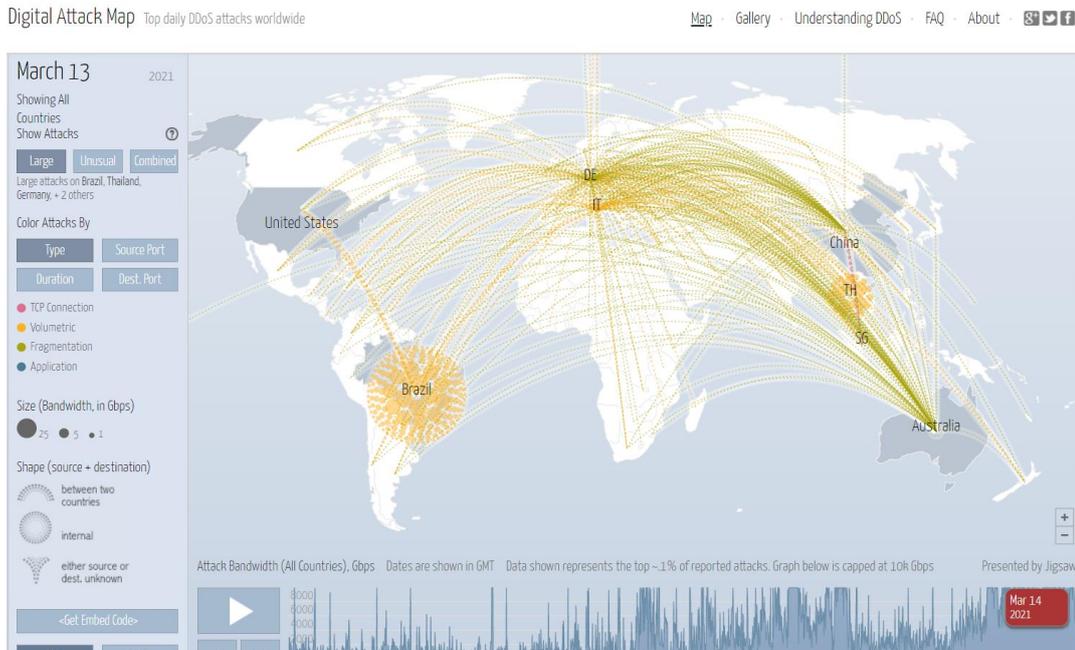


Рис. 1. Цифрова онлайн карта DDoS атак

Цікаво, що на карті чітко видно зростання кібератак із початком вимушених карантинних обмежень на початку березня 2020 року у зв'язку із розвитком коронавірусної хвороби. Скоріше за все це пов'язане із тим, що населення в цілому світі було змушене перейти до онлайн покупок, що зумовило значне збільшення запитів на різноманітних ресурсах.

Карта дозволяє не тільки оцінювати масштаб атак, але й визначити її «напрямок», а також їх типи за різними показниками. Окрім того, можна розглянути й окремі країни (див. рис. 2) для визначення статистичних даних для кожної з них.

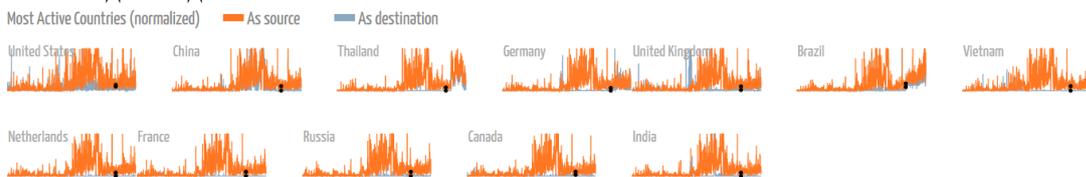


Рис. 2. Цифрова онлайн карта для визначення статистичної інформації для різних країн

Тож, об'єктом дослідження у статті стали виникаючі аномалії трафіку в мережі інтернет. Саме до них і відносяться різке зростання активності користувачів, або ж навмисне атакування якогось із ресурсів.

DoS (DoS - Denial of Service) атака – це тип атаки, який іншими словами називається атакою на відмову в обслуговуванні, завданням якої є напад на комп'ютерну систему, метою якого є бажання зробити недоступними інформаційні ресурси для користувача. Це досягається шляхом зміни структури трафіку так, щоб зійняти усі можливі системні ресурси, які обслуговують справжніх користувачів.

У цій статті розглядається DDoS (DDoS - Distributed Denial of Service) атаки. Це хакерська атака на інформаційну систему з метою довести її до відмови в обслуговуванні користувачів, тобто іншими словами – створити такі умови, за яких доступ до інформаційних ресурсів та в обслуговуванні

користувачів буде обмеженим (частково, або повністю). Варіант такої атаки ґрунтується на принципі, який отримав назву «розподіленої атаки типу відмова в обслуговуванні».

Під час DDoS атаки велика кількість хостів-агентів, або ж хостів-зомбі штучно створюються трафік в мережі, який націлений на хости-жертви (див. рис. 3). При нерівноцінності ресурсів хоста-жертви тв кількості штучних запитів, тобто якщо ресурси, необхідні для обробки згенерованого обсягу трафіку перевищують ресурси хоста-жертви, відбувається відмова в роботі жертви, що і є метою атаки. Така атака може бути спричиненою як звичайними користувачами, так і зловмисниками, які хотіли нанести збитки тій чи іншій інформаційній системі.

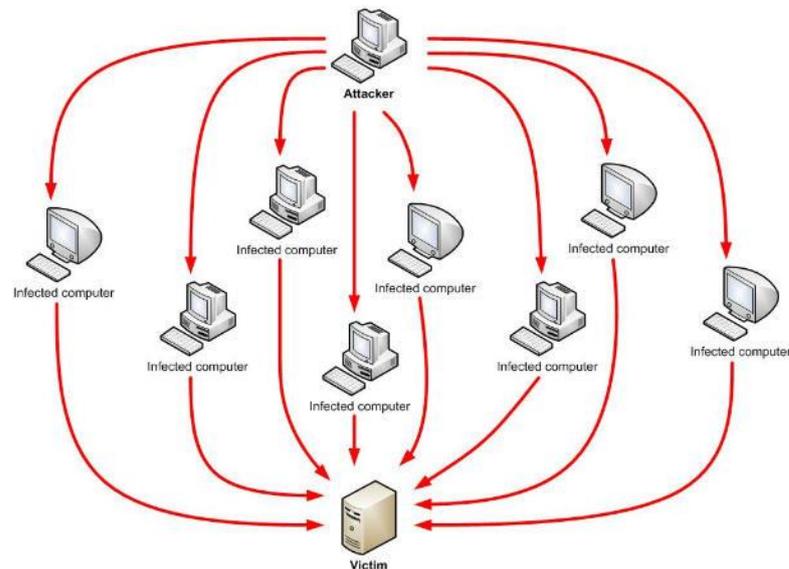


Рис. 3. Схема DDoS-атаки [10]

Основними завданнями дослідження, проведеного для статті, є: ідентифікація DDoS; визначення ознак, які характерні для потоків DDoS атак; ідентифікація потоків трафіку, що викликають перевантаження хостів-жертв, на які націлена атака.

Для розв'язання завдань, поданих вище, можна використовувати загальне визначення ентропії заголовків мережевих пакетів, для визначення критичного степеню трафіку в каналі передачі даних, утвореному штучно, або «природньо». При погіршенні стану в каналі передачі даних, тобто при виявленні аномалії в мережі, необхідно виконувати виділення пакетів, а також додавати нові фільтри для них.

Кожна мереж має різний степінь популярності. Під терміном «популярність» будемо приймати не тільки частотність звернень до інформаційної системи, а й частотність відповідей системних ресурсів на запити користувача.

Кожна система володіє деякою статичною популярністю, тобто при нормальній роботі трафіку, рівень його завантаженості буде постійно практично однаковим. Основною причиною цього є те, що у більшості користувачів сформовані деякі вподобання, відносно WEB- ресурсів, серед яких і системи з розважальним контентом, сайтами новин, електронна пошта, тощо. Таким чином при нехарактерному для каналу передачі даних інформаційної системи збільшенню запитів, виникають проблеми із звичним (нормальним) навантаженням трафіку.

Проти, не обов'язково збільшення трафіку це наслідок DDoS атаки, це також може бути зумовлено іншими причинами. Наприклад, в інтернет-магазині такими можна назвати розширення товарного асортименту, поява сезонних акцій, або ж зміною конфігурації мережевих сервісів та ін. Це може спричинити підвищення інтересу користувачів до того чи іншого ресурсу.

Число пакетів в потоці є значущим значенням для відображення витрачених ресурсів маршрутизатора для обробки потоку даних. Тут прослідковується прямий зв'язок, адже чим більше значення числа пакетів, тим більша ймовірність того, що відбудеться відмова в роботі маршрутизатора.

Описані вище показники можуть дати дані на основі яких, будеється загальний опис трафіку мережі в каналі передачі даних, яка обслуговується маршрутизатором.

Загальний підхід до виявлення ступеня «нормальності» мережевих потоків викладено далі у статті. Він ґрунтується на застосуванні поняття ентропії до інформації про мережеві потоки, оброблюваних маршрутизатором.

Відповідно до теорії інформації, ентропія служить «мірою невизначеності» повідомлень даного джерела.

В якості такої «міри невизначеності» в теорії інформації приймається число двійкових знаків, необхідне для фіксування (запису) довільного повідомлення даного джерела. Для певного (дискретного) статистичного розподілу ймовірністю інформаційної ентропії називають величину не меншу, ніж:

$$H = - \sum_i p_i \log_2 p_i$$

і водночас рівна середньому числу двійкових знаків, необхідних для запису повідомлень.

Пропонований метод базується на припущенні, що ентропія параметрів - випадкова величина, при чому її щільність розподілу підпорядковується якимось законом. А її різку зміну можна розглядати як аномалію, в більшості випадків викликану аномалією трафіку.

Проміжок часу, на основі даних якого будуть будуватися вимірювані параметри, передбачається визначити емпірично. Однак, цей проміжок часу повинен надавати повну інформацію про стан каналу передачі даних. Тому визначимо межі цього проміжку.

Мінімальний час, який проходить між експортом даних в одному й тому ж потоці на маршрутизаторах Cisco за замовчуванням дорівнює 30 секундам. Логічно прийняти цей проміжок часу, як мінімальний можливий, оскільки за 30 секунд маршрутизатор експортує дані про всі мережеві потоки, які проходять через нього. За описаних вище причин, будь-який взятий проміжок часу для аналізу повинен бути кратний 30 секундам. Максимальний проміжок часу, за який доцільно обробляти інформацію, визначимо виходячи з практичних міркувань: DDoS атака виявляється в ручному режимі (в залежності від кваліфікації персоналу) не більше ніж за пів години. Цей час включає в себе час реакції на зниження якості обслуговування або відмову в роботі каналного устаткування, комунікації між потерпілим і персоналом провайдера, і час, необхідний на локалізацію та усунення причини неполадки. Таким чином, система виявлення і локалізації DDoS атаки буде корисна, якщо допоможе знизити час виявлення і реакції. Тому встановимо верхнє обмеження проміжку аналізу трафіку в 30 хвилин.

Для визначення ентропії впливу потоків в каналі на маршрутизатор нам необхідні повідомлення та ймовірності їх виникнення в каналі. Будемо вважати, що крім існуючих повідомлень, ніяких інших в каналі передачі даних бути не може. Як повідомлення візьмемо інформацію про потік. Як ймовірності повідомлення вважатимемо кількість ресурсів маршрутизатора, використовуваних потоком, виділених на загальну кількість використовуваних маршрутизатором ресурсів:

$$p_i = \frac{\frac{F_{5i}}{F_{8i}} - F_{7i}}{\sum_k \frac{F_{5k}}{F_{8k}} - F_{7k}}$$

На основі цих даних обчислюється ентропія мережевого потоку в каналі передачі даних:

$$H = - \sum_i p_i \log_2 p_i$$

Приймемо ентропію каналу передачі даних за випадкову величину. На основі реальних даних виберемо закон розподілу. Припустимо, що вона підпорядковується обраному закону розподілу. У разі різкої її зміни, тобто збурення, визначатимемо, які саме поля вносять найбільший вплив на трафік. Одним з можливих методів визначення потоків, що вносять збурення, може бути обчислення ентропії по різному кількості полів. Кожне поле, включаючи додаткове - випадкова величина з певною ймовірністю виникнення. Додатковим полем, які беруть участь в обчисленні ентропії, будемо вважати частину ширини пропускання каналу, яка використовується потоком, поділене на всю використовувану смугу пропускання каналу:

$$V_i = \frac{\frac{F_{5i}}{F_{8i}} - F_{7i}}{\sum_k \frac{F_{5k}}{F_{8k}} - F_{7k}}$$

Полями в цьому випадку є початкові значення полів.

За повідомлення приймемо складову випадкову величину, ймовірність виникнення якої розраховується як добуток ймовірностей значень кожного складового її поля.

За ймовірність приймемо сумарні ресурси маршрутизатора, що використовуються потоками з рівними значенням поля поділені на загальні зайняті ресурси маршрутизатора.

Розрахуємо ентропію для кожної комбінації полів.

Знову приймемо кожне обчислене значення ентропії за випадкову величину. Найбільший збурює фактор вносять ті поля, ентропія комбінації яких максимально обурена.

Ще один пропонований метод полягає в зберіганні сигнатур законів розподілу значень ентропії в момент атак. В даний час, у зв'язку зі зниженням кваліфікації інтернет-порушників (назвемо їх «хакерами»), більшість DDoS атак проводиться дилетантами з низьким рівнем підготовки. Для цього ними використовується доступне в Мережі програмне забезпечення. Атаки, які генеруються одним і тим же ПЗ аналогічні один одному. Таким чином, отримавши величину ентропії, яка значно відрізняється від нормальної, але підходящої під одну з сигнатур можна з більшою впевненістю говорити про наявність шкідливого трафіку в каналі передачі даних.

**Висновки.** Через значене збільшення DDoS-атак у сучасному світі було гостро поставлене питання про їх попереднє виявлення. У статті був запропонований метод виявлення аномалій мережевого трафіку на основі інформації про впорядкованості трафіку в каналі передачі даних. У подальшому цей метод можна покращувати та збільшувати його ефективність, беручи за основу роботу Т. Бабенка [11].

#### Список бібліографічного опису

1. SAM COOK DDoS attack statistics and facts for 2018-2019 [Електронний ресурс] // - Режим доступа: <https://www.comparitech.com/blog/information-security/ddoS-statistics-facts/>
2. Актуальные киберугрозы — 2018. Тренды и прогнозы Дата публикации 12 марта 2019 [Електронний ресурс] // - Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2018/>
3. Купреев О. DDoS-атаки во втором квартале 2019 года [Електронний ресурс] О. Купреев, Е. Бадовская, А. Гутников // - Режим доступа: <https://securelist.ru/ddoS-report-q2-2019/94452/>
4. Купреев О. DDoS-атаки в третьем квартале 2018 года [Електронний ресурс] / О. Купреев, Е. Бадовская, А. Гутников // - Режим доступа: <https://securelist.ru/ddoS-report-in-q3-2018/92512/>
5. DoS-атака на сервер [Електронний ресурс] // - Режим доступа: <https://i-exam.ru/node/542>
6. Греско А.О. Загальний комплексний опис проблем інформаційної безпеки в "Інтернеті речей" / А.О. Греско, Ю.М. Щєбланін // Сучасний захист інформації. - 2016. - № 1. - с. 69-73.
7. Смоктій О.Д. Анализ механизма и последствий воздействия DDoS-атак на эталонную модель взаимодействия открытых систем OSI / О.Д. Смоктій, К.В. Смоктій, О.В. Иванченко // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. - № 1. - с.33-37.
8. Види DDoS-атак та алгоритм виявлення DDoS-атак типу flood-attack / [Н.В. Багнюк, В.М. Мельник, О.В. Клеха, І.А. Невідомський] // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. - 2015. - № 18. - С.6-12.
9. Защита от DDoS атак своими руками [Електронний ресурс] // - Режим доступа: <https://gekelectronics.org/linux/zashhita-ot-ddoS-atak-svoimi-rukami.html>
10. DOS и DDoS-атаки: понятие, разновидности, методы выявления и защиты [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://compcnfig.ru/net/dos-i-ddos-ataki.html>.
11. Бабенко Т. В. Дослідження ентропії мережевого трафіка як індикатора DDOS-атак / Т. В. Бабенко.
12. Digital Attack MapTop [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digitalattackmap.com/#anim=1&color=0&country=ALL&list=0&time=18348&view=map>
13. Reiher P. A taxonomy of DDoS attack and DDoS Defense mechanisms [Електронний ресурс] / P. Reiher, J. Mirkovic – Режим доступа до ресурсу: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.879.9772&rep=rep1&type=pdf>.

#### Reference

1. SAM COOK DDoS attack statistics and facts for 2018-2019 [Electronic resource] // - Access mode: <https://www.comparitech.com/blog/information-security/ddoS-statistics-facts/>
2. Current cyber threats - 2018. Trends and forecasts Date of publication March 12, 2019 [Electronic resource] // - Access mode: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2018/>
3. Kupreev O. DDoS-attacks in the second quarter of 2019 [Electronic resource] О. Kupreev, E. Badovskaya, A. Gutnikov // - Access mode: <https://securelist.ru/ddoS-report-q2-2019/94452/>
4. Kupreev O. DDoS-attacks in the third quarter of 2018 [Electronic resource] / О. Kupreev, E. Badovskaya, A. Gutnikov // - Access mode: <https://securelist.ru/ddoS-report-in-q3-2018/92512/>
5. DoS-attack on the server [Electronic resource] // - Access mode: <https://i-exam.ru/node/542>
6. Gresko A. General comprehensive description of information security problems in the "Internet of Things" / A. Gresko, Y. Shcheblanin // Modern information security. - 2016. - № 1. - p. 69-73.
7. Smoktiy O. Analysis of the mechanism and consequences of the impact of DDoS-attacks on the reference model of interaction of open OSI systems / O. Smoktiy, K. Smoktiy, O. Ivanchenko // Control, navigation and communication systems. - 2017. - № 1. - p.33-37.
8. Types of DDoS-attacks and algorithm for detecting DDoS-attacks of flood-attack type / [N. Bagniyuk, V. Melnyk, O. Klekha, I. Nevidomsky] // Computer-integrated technologies: education, science, production. - 2015. - № 18. - P.6-12.

9. Protection against DDoS attacks with your own hands [Electronic resource] // - Access mode: <https://geekelectronics.org/linux/zashhita-ot-ddoS-atak-svoimi-rukami.html>
10. DOS and DDoS-attacks: the concept, types, methods of detection and protection [Electronic resource] - Mode of access to the resource: <https://comconfig.ru/net/dos-i-ddos-ataki.html>.
11. Babenko T. Investigation of entropy of network traffic as an indicator of DDOS-attacks / TV Babenko
12. Digital Attack MapTop [Electronic resource] - Mode of access to the resource: <https://www.digitalattackmap.com/#anim=1&color=0&country=ALL&list=0&time=18348&view=map>.
13. Reiher P. A taxonomy of DDoS attack and DDoS Defense mechanisms [Electronic resource] / P. Reiher, J. Mirkovic - Mode of access to the resource: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.879.9772&rep=rep1&type=pdf>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-14>

УДК: 004.056.5

Терейковська Людмила Олексіївна, к.т.н., доц.

<http://orcid.org/0000-0002-8830-0790>

Київський національний університет будівництва і архітектури

## МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ БІОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ

**Л. Терейковська. Метод фільтрації біометричних параметрів на основі вейвлет-перетворень.** Стаття присвячена проблемі вдосконалення засобів прихованого моніторингу особи та емоцій операторів інформаційно-управляючих систем на основі біометричних параметрів, що співвідносяться з двовимірними зображеннями та характеризуються за допомогою геометричних показників. З'ясовано, що труднощі розробки таких засобів багато в чому пов'язані з очищенням підконтрольних зображень від типових нестационарних завад, викликаних нерівномірністю освітлення та сторонніми предметами, що заважають відеореєстрації. Запропоновано нівелювати означені труднощі за рахунок застосування технології вейвлет-перетворень, котра використовується для фільтрації зображень шляхом об'єднання декількох однакових, але різним чином зашумлених бінарних, півтонових та кольорових зображень. Розроблено метод фільтрації, який за рахунок застосування запропонованого підходу до застосування вейвлет-перетворень відеоряду послідовно зареєстрованих біометричних параметрів, дозволяє з задовільною якістю реалізувати їх очищення від типових нестационарних завад. Проведені експериментальні дослідження показали доцільність застосування розробленого методу для фільтрації зображень обличчя та радужної оболонки ока операторів інформаційно-управляючих систем.

**Ключові слова:** розпізнавання емоцій, автентифікація, інформаційно-управляюча система, біометричний параметр, вейвлет-перетворення, захист інформації.

**Л. Терейковская. Метод фильтрации биометрических параметров на основе вейвлет-преобразований.** Статья посвящена проблеме совершенствования средств скрытого мониторинга лица и эмоций операторов информационно-управляющих систем на основе биометрических параметров, которые соотносятся с двумерными изображениями и характеризуются геометрическими показателями. Выяснено, что трудности разработки таких средств во многом связаны с очисткой подконтрольных изображений от типичных нестационарных помех, вызванных неравномерностью освещения и посторонними предметами, которые препятствуют видеорегистрации. Предложено нивелировать указанные трудности за счет применения технологии вейвлет-преобразований, которая используется для фильтрации изображений путем объединения нескольких одинаковых, но различным образом зашумленных бинарных, полутоновых и цветных изображений. Разработан метод фильтрации, который за счет применения предложенного подхода к применению вейвлет-преобразований видеоряда последовательно зарегистрированных биометрических параметров, позволяет с удовлетворительным качеством реализовывать их очистку от типовых нестационарных помех. Проведенные экспериментальные исследования показали целесообразность применения разработанного метода для фильтрации изображений лица и радужной оболочки глаза операторов информационно-управляющих систем.

**Ключевые слова:** распознавание эмоций, аутентификация, информационно-управляющая система, биометрический параметр, вейвлет-преобразование, защита информации.

**L. Tereikovska. Method for filtering biometric parameters based on wavelet transforms.** The article is devoted to the problem of improving the means of hidden monitoring of the face and emotions of operators of information and control systems based on biometric parameters that correlate with two-dimensional images and are characterized by geometric indicators. It was found that the difficulties in the development of such tools are largely associated with cleaning the controlled images from typical non-stationary interference caused by uneven illumination and foreign objects that impede video recording. It is proposed to neutralize these difficulties by applying the technology of wavelet transformations, which is used to filter images by combining several identical but differently noisy binary, grayscale and color images. A filtering method has been developed, which, due to the application of the proposed approach to the application of wavelet transformations of the video sequence of sequentially recorded biometric parameters, allows them to be cleaned from typical non-stationary interference with satisfactory quality. Experimental studies have shown the feasibility of using the developed method for filtering images of the face and iris of the operator of information control systems.

**Keywords:** emotion recognition, authentication, information management system, biometric parameter, wavelet transform, information security.

**Постановка наукової проблеми.** В сучасних умовах розробка засобів прихованого моніторингу (ЗПМ) особи та емоцій операторів інформаційно-управляючих систем (ІУС) на основі біометричних параметрів є однією із тих задач, вирішення яких дозволить суттєво підвищити як ефективність виявлення спроб несанкціонованого доступу до інформації, так і ефективність оцінки адекватності психоемоційного стану персоналу щодо можливості вирішення поставлених перед ними функціональних обов'язків [1, 6, 8, 16]. Вказані засоби з успіхом використовуються в офісних інформаційних системах для захисту від інсайдерів, в системах дистанційного навчання для автоматичного управління режимом подачі учбових матеріалів та для перевірки справжності особи студента при здачі іспитів. Крім того засоби дистанційного автоматичного моніторингу емоційного стану можуть стати в нагоді в системах виявлення порушень правопорядку в громадських місцях та в інформаційних системах автоматичного моніторингу психоемоційного стану хворих.

В більшості випадків теоретичним підґрунтям ЗПМ особи та емоцій є нейромережевий аналіз таких біометричних параметрів як зображення обличчя та зображення радужної оболонки ока, тобто

біометричних параметрів, котрі співвідносяться з двовимірними зображеннями та характеризуються за допомогою геометричних показників [10, 20-23]. Це пояснюється доступністю засобів реєстрації, високою спорідненістю вказаних біометричних параметрів з особою та емоціями людини, апробованістю нейромережових рішень та наявністю доступних репрезентативних маркованих баз даних зображень обличчя та зображень райдужної оболонки ока, що значно спрощує процес розробки нейромережових моделей. Разом з тим на практиці ефективність ЗПМ в значній мірі залежить від якості реєстрації зображення обличчя та зображення райдужної оболонки ока, що пояснюється наявністю типових завад, які неможливо нівелювати шляхом підвищення характеристик апаратного забезпечення [14, 23-25].

Таким чином пояснюється актуальність науково-практичної задачі вдосконалення методів фільтрації біометричних параметрів, котрі співвідносяться з двовимірними зображеннями та використовуються в біометричних нейромережових ЗПМ особи та емоцій операторів ІУС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як показують результати аналізу науково-практичних робіт [3, 23, 26], одним із основних напрямків розвитку нейромережових засобів розпізнавання особи та емоцій людини по зображенню обличчя та зображенню райдужної оболонки ока є підвищення пристосованості вказаних засобів до очікуваних умов експлуатації при виникненні типових завад. Разом з тим в роботах [12, 18, 24] відзначено, що типові завади, котрі значно ускладнюють процес розпізнавання, в основному викликані:

- наявністю предметів, що закривають частину зображення,
- нерівномірністю освітлення, що призводить до відблисків на зображенні.

При цьому в багатьох випадках локалізація та інші параметри типових завад мають нестационарний динамічний характер.

Для прикладу на рис. 1 показано спотворені під впливом типових завад зображення обличчя та зображення райдужної оболонки ока.

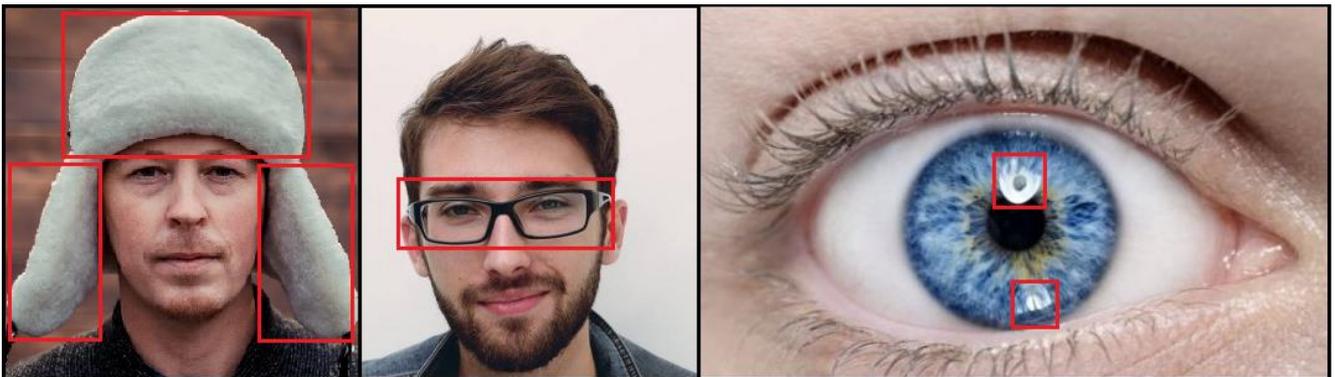


Рис. 1. Спотворені під впливом типових завад зображення обличчя та зображення райдужної оболонки ока

На рис. 1 показані типові завади, до яких відносяться шапка, окуляри та відблиски світла. Зазначимо, що не зважаючи на природу завад, їх негативний вплив полягає у тому, що на зображенні з'являються ділянки, котрі власне і спотворюють зображення. Для нівелювання такого впливу в роботах [2-6] пропонується використовувати різні методи локальної фільтрації та сегментації зображень.

В роботах [3, 14] наведено критичний огляд таких методів фільтрації та сегментації. Відзначено, що в результаті фільтрації характеристики яскравості кожної точки цифрового зображення замінюються іншим значенням яскравості, котре в меншій мірі спотворене перешкодою. При цьому методи фільтрації розділяються на:

- просторові,
- частотні.

Просторові методи фільтрації зображень передбачають представлення растрового зображення у вигляді двовимірної матриці, що дозволяє застосування до кожної точки зображення операції згортки. Так, в роботі [7] наведено спосіб очищення від шуму за рахунок застосування згладжувальних фільтрів для очистки зображень у відтінках сірого. Проведено порівняння ефективності різних типів згладжувальних фільтрів. За допомогою комп'ютерних експериментів показано, що для слабкозашумлених зображень найбільш ефективним є фільтр Гауса розмірністю 5×5. Відзначається, що просторові методи фільтрації можливо ефективно застосовувати для покращення якості зображень,

однак їх застосування малоефективне для нівелювання завад, що викликані спотворенням частини зображення. В цьому випадку більш ефективними вважаються частотні методи фільтрації.

Класичні частотні методи фільтрації базуються на спектральному аналізі зображень з використанням дискретного перетворення Фур'є. Недоліки таких методів викликані обмеженнями методу Фур'є, що призводять до складності локалізації частотних показників спектру у часі [11, 15].

Виправлення вказаного недоліку пов'язують із застосуванням методів фільтрації, що базуються на вейвлет-перетвореннях [2, 4, 17]. Наприклад, в роботі [9] розглянута математична модель параметризації структури райдужної оболонки ока з використанням вейвлет-перетворення на основі похідних функції Гауса. Наведено результати експериментальних досліджень, що доводять ефективність запропонованої моделі.

В роботах [5, 13, 19], що присвячена аналізу способів використання вейвлет-перетворень в області кодування зображень, визначено перелік вимог, виконання яких забезпечує ефективність означеного процесу. Вказані вимоги співвідносяться з можливістю:

- кратномасштабного аналізу зображення,
- просторової локалізації,
- ортогональності,
- реалізації алгоритму обчислень з низькою обчислювальною складністю,
- застосування апробованих інструментальних засобів.

Аналіз робіт [2, 4, 5, 13] дозволяє стверджувати, що в більшості випадків в якості базисного вейвлету при фільтрації зображень використовують вейвлети HAAR, MHAT, FHAT, WAVE, GABOR, Daubechies wavelet, які визначаються виразами виду (1-6)

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, x \in [0,0,5] \\ -1, x \in [0,5,1], \\ 0, x \in [0,1] \end{cases} \quad (1)$$

$$\varphi(x) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-0,25} (1 - x^2) e^{-0,5x^2}, \quad (2)$$

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, x \in ]-\infty, \frac{1}{3}] \\ -0,5, x \in ]\frac{1}{3}, 1] \\ 0, x \in ]1, \infty[ \end{cases} \quad (3)$$

$$\varphi(x) = x e^{-0,5x^2}, \quad (4)$$

$$\varphi(x) = e^{-(x-x_0)^2/a^2} e^{-ik_0(x-x_0)}, \quad (5)$$

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_k g_k \phi(2x - k). \quad (6)$$

Результати проведеного аналізу дозволяють стверджувати, що хоча застосуванню вейвлет-перетворень в області фільтрації зображень присвячено багато робіт, однак застосування отриманих результатів для фільтрації біометричних параметрів, котрі характеризуються за допомогою геометричних показників, ускладнюється необхідністю складної адаптації до нестационарного динамічного характеру зміни параметрів типових завад. Виправити вказаний недолік можливо, по аналогії з [21], за рахунок розробки методу застосування вейвлет-перетворень для фільтрації вказаних параметрів, що і зумовлює мету даного дослідження.

**Мета дослідження.** Розробка методу фільтрації біометричних параметрів, що за рахунок застосування технології вейвлет-перетворень забезпечить очищення зображення обличчя та зображення райдужної оболонки ока від типових нестационарних завад.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.**

Біометричний параметр, котрий характеризується геометричними показниками, по суті представляє собою цифрове зображення, що є дискретним двовимірним сигналом. Відповідно рекомендацій [2, 9, 11], представити такий сигнал доцільно за допомогою двовимірної прямокутної або квадратної матриці. Тому для аналізу таких сигналів прийнято використовувати двовимірне дискретне вейвлет-перетворення, яке є композицією одновимірних дискретних вейвлет-перетворень.

На кожному етапі деталізації спочатку одновимірні дискретні вейвлет-перетворення застосовуються для кожного рядка двовимірної матриці вхідних даних. Після цього виконуються одновимірні вейвлет-перетворення для кожного стовпця отриманої матриці.

Математичний апарат для розрахунку матриці вейвлет-коефіцієнтів одного рядка пікселів кольорового зображення визначається виразами виду:

$$\begin{cases} W_{m,k} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n) \varphi^*(a_0^m x_n - k)) \\ 1 \leq m, k \leq N \end{cases} \quad (7)$$

$$q = 0,299R + 0,587G + 0,114B, \quad (8)$$

де  $a_0$  – початковий масштаб,  $k$  – параметр зсуву,  $m$  – параметр масштабу,  $x_n$  – координата  $n$ -ої точки зображення,  $*$  – операція комплексного спряження,  $N$  – розмір зображення,  $q(x_n)$  – величина закодованого кольору зображення в точці  $x_n$ ,  $\varphi$  – базисний вейвлет виду (1-6), R,G, B – компоненти кожного із каналів кольору в форматі RGB для окремого пікселя.

Зазначимо, що вирази (7, 8) використовуються у випадку, коли при обробці зображення його кольором можливо знехтувати. У випадку, коли це реалізувати не доцільно, вейвлет-коефіцієнти розраховуються окремо для кожного із кольорових каналів. Відповідний математичний апарат можливо записати так:

$$\begin{cases} W_{m,k}(i) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n, i) \varphi^*(a_0^m x_n - k)), \\ 1 \leq m, k \leq N \end{cases}, \quad (9)$$

де  $q(x_n, i)$  – інтенсивність  $i$ -го каналу кольору в точці  $x_n$ .

При використанні RGB-моделі канали співвідносяться з червоним, зеленим та блакитним кольором.

Власне процедура фільтрації полягає у вилученні визначених компонент матриці  $W_{m,k}$ . В більшості випадків вилучаються ті компоненти матриці  $W_{m,k}$ , для яких параметр зсуву та/або параметр масштабу виходять за межі наперед визначеного діапазону. Після цього компоненти відфільтрованої матриці  $W_{m,k}$  використовуються в процедурі оберненого вейвлет-перетворення для відновлення очищеного зображення. Для монокольорового зображення використовується вираз (10), для багатокольорового зображення - вираз (11).

$$q(x_n) = \frac{\pi}{\ln(a_0)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) W_{m,k}), \quad (10)$$

$$q(x_n, i) = \frac{\pi}{\ln(a_0)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) W_{m,k}(i)), \quad (11)$$

де  $i$  – номер кольорового каналу.

Базуючись на сформованих в [5, 13, 19] вимогах, які забезпечують ефективність вейвлет-перетворень, визначено доцільність використання діадного дискретного вейвлет-перетворення, що за рахунок зменшення кількості копій базисного вейвлету дозволяє зменшити обчислювальну складність процедури обчислення вейвлет-коефіцієнтів. Застосування діадного дискретного вейвлет-перетворення призводить до модифікації виразів (7, 9-11):

$$\begin{cases} W_{m,k} = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n) \varphi^*(2^m x_n - k)), \\ 1 \leq m, k \leq N \end{cases}, \quad (12)$$

$$\begin{cases} W_{m,k}(i) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n, i) \varphi^*(2^m x_n - k)), \\ 1 \leq m, k \leq N \end{cases}, \quad (13)$$

$$q(x_n) = \frac{\pi}{\ln(2)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) W_{m,k}), \quad (14)$$

$$q(x_n, i) = \frac{\pi}{\ln(2)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) W_{m,k}(i)). \quad (15)$$

Труднощі створення ефективних фільтрів багато в чому пов'язані з складністю розрахунку меж діапазонів, які визначають перелік компонентів матриці  $W_{m,k}$ , котрі підлягають вилученню. Це пояснюється динамічним характером завад для одного і того ж об'єкту в різні моменти часу реєстрації біометричних параметрів. Наприклад, як це показано на рис.2, в момент часу  $t_1$  в лівому нижньому куті райдужної оболонки ока виникає завада типу «відблиск», пов'язана з нерівномірністю освітлення. В момент часу  $t_2$  через зміну освітлення подібна завада виникає вже у правому верхньому куті райдужної оболонки ока.

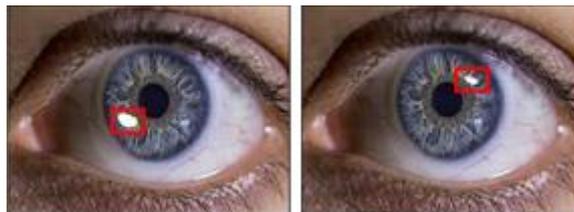


Рис. 2. Ілюстрація динамічного характеру локалізації завад

Разом з тим динамічний характер локалізації однієї або декількох завад дозволяє стверджувати, що в кожен окремий момент часу на зареєстрованому зображенні можуть бути як викривлені, так і невикривлені частини зображення, котре асоційоване з біометричним параметром. При цьому

місцеположення цих частин змінюється. Таким чином, потенційно використовуючи зображення, зареєстровані у різні моменти часу, можливо відтворити незашумлене зображення.

Вказаний постулат дозволяє запропонувати підхід до розробки методу фільтрації біометричних параметрів. В базовому варіанті підхід передбачає розрахунок значень вейвлет-коефіцієнтів кожного із зареєстрованих зображень, попарну інтеграцію розрахованих значень вейвлет-коефіцієнтів між собою та реалізацію зворотнього вейвлет-перетворення, що призводить до отримання відфільтрованого невикривленого зображення. Зазначимо, що попарна інтеграція вейвлет-коефіцієнтів, здійснена з урахуванням необхідності нівелювання завад, може бути реалізована за допомогою одного із принципів:

- 'max' - вибір максимального з двох коефіцієнтів;
- 'min' - вибір мінімального з двох коефіцієнтів;
- 'mean' - вибір середнього значення з двох коефіцієнтів;
- 'img1' - вибір коефіцієнта першого зображення;
- 'img2' - вибір коефіцієнта другого зображення;
- 'rand' - випадковий вибір з двох коефіцієнтів.

Також при створенні методу фільтрації використано результати роботи [21], в якій наведено метод вибору найбільш ефективного базисного вейвлету, що відповідає необхідності досягнення достатньої точності спектрального аналізу при мінімальних обчислювальних витратах. Приклад фільтрації зображення обличчя, реалізований відповідно наведеного підходу за допомогою засобів програмного комплексу MATLAB, наведено на рис. 3.

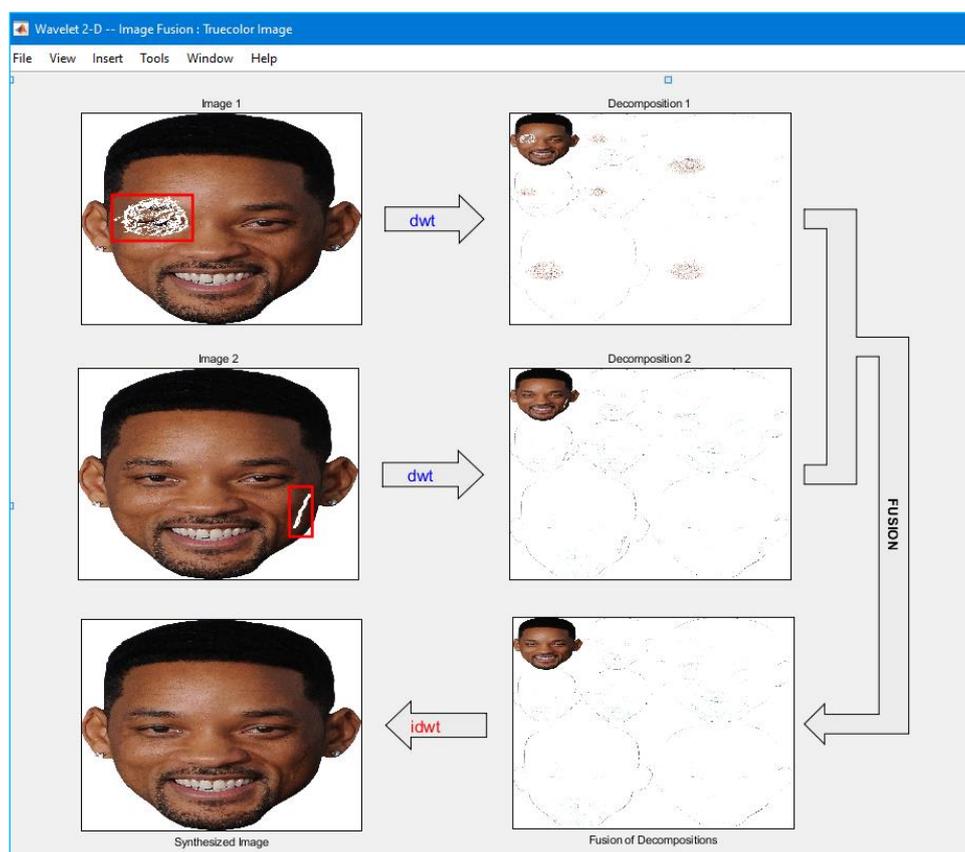


Рис. 3. Приклад фільтрації зображення обличчя засобами MATLAB

Базуючись на запропонованому підході та результатах [6, 12, 19, 20], розроблено метод фільтрації біометричних параметрів, що асоціюються з двовимірними кольоровими або чорно-білими зображеннями. В базовому випадку реалізація методу полягає у виконанні наступних етапів:

1. Провести реєстрацію відеоряду, що відповідає послідовному відображенню зображень, котрі асоціюються з певним біометричним параметром.
2. Визначити перелік типових завад, що притаманні певним біометричним параметрам.
3. Визначити необхідність аналізу кольорового, монохромного (з одним кольоровим каналом) або чорно-білого зображення.
4. Визначити перелік підконтрольних зображень відеоряду, що відповідають зображенням, у яких викривлення локалізовані у різних частинах.

5. Реалізувати вибір найбільш ефективного базисного вейвлету.
6. Визначити необхідний рівень деталізації вейвлет-перетворень.
7. Розрахувати значення вейвлет-коефіцієнтів кожного із підконтрольних зображень.
8. Обрати принцип інтеграції вейвлет-коефіцієнтів.
9. Парно інтегрувати розраховані значення вейвлет-коефіцієнтів між собою.
10. Використовуючи отримані значення вейвлет-коефіцієнтів провести реалізацію зворотнього вейвлет-перетворення, що призводить до отримання незашумленого зображення.

Особливості наведеного методу пов'язані з тим, що:

- При реалізації другого, третього та шостого етапів слід враховувати особливості поставленої задачі розпізнавання біометричних параметрів.

- Для визначення найбільш ефективного типу базисного вейвлету можливо застосувати наведений в роботі [21] підхід, в якому обґрунтовано доцільність використання базисного вейвлету, геометрична форма якого найбільш подібна до геометрії процесу, що аналізується. При цьому забезпечується мінімізація обсягу обчислень при вейвлет-перетвореннях та досягається максимальна точність відтворення зображення після зворотнього вейвлет-перетворення.

- При реалізації сьомого та десятого етапів використовуються вирази (12, 13) та (14, 15).

- Приклад програмного коду процедури інтеграції вейвлет-коефіцієнтів наведено в листингу 1.

Використана мова програмування MATLAB.

*Лістинг 1*

```
map=colormap(pink);
mimg=imread('face1.bmp');
mimg1=imread('face2.bmp');
X2 = rgb2ind(mimg1,map);
XFUS = wfusimg(X1,X2,'db3',9,'min','min')
```

Програмою передбачено:

- зчитування файлів face1.bmp та face2.bmp,
- використання в якості базисного вейвлету Daubechies wavelet-3,
- рівень деталізації вейвлет перетворень дорівнює 9,
- при інтеграції вейвлет-коефіцієнтів вибирається менший з двох коефіцієнтів.

Проведено експерименти, спрямовані на дослідження запропонованого методу при його застосуванні для очищення від шуму зображення обличчя та радужної оболонки ока. При проведенні досліджень акцентовано увагу на виборі базисного вейвлету. Для прикладу на рис. 4 та на рис. 5 показано зашумлені та відфільтровані зображення обличчя при використанні вейвлету Daubechies wavelet-1 та вейвлету HAAR.

Рис. 6 ілюструє застосування запропонованого методу для фільтрації зображення радужної оболонки ока. Досліджувались прямокутні кольорові растрові зображення обличчя розміром 937 на 689 пікселів, записані в файли формату bmp. Розмір растрових зображень радужної оболонки ока 184 на 274 пікселі. Колір зображення записано у форматі RGB. Завади на зображеннях обличчя співвіднесені з неякісною відеореєстрацією, а завади на зображеннях радужної оболонки ока – з відблисками внаслідок нерівномірного освітлення. Для наглядності на рис. 4-6 завади на зображеннях виділені прямокутниками.

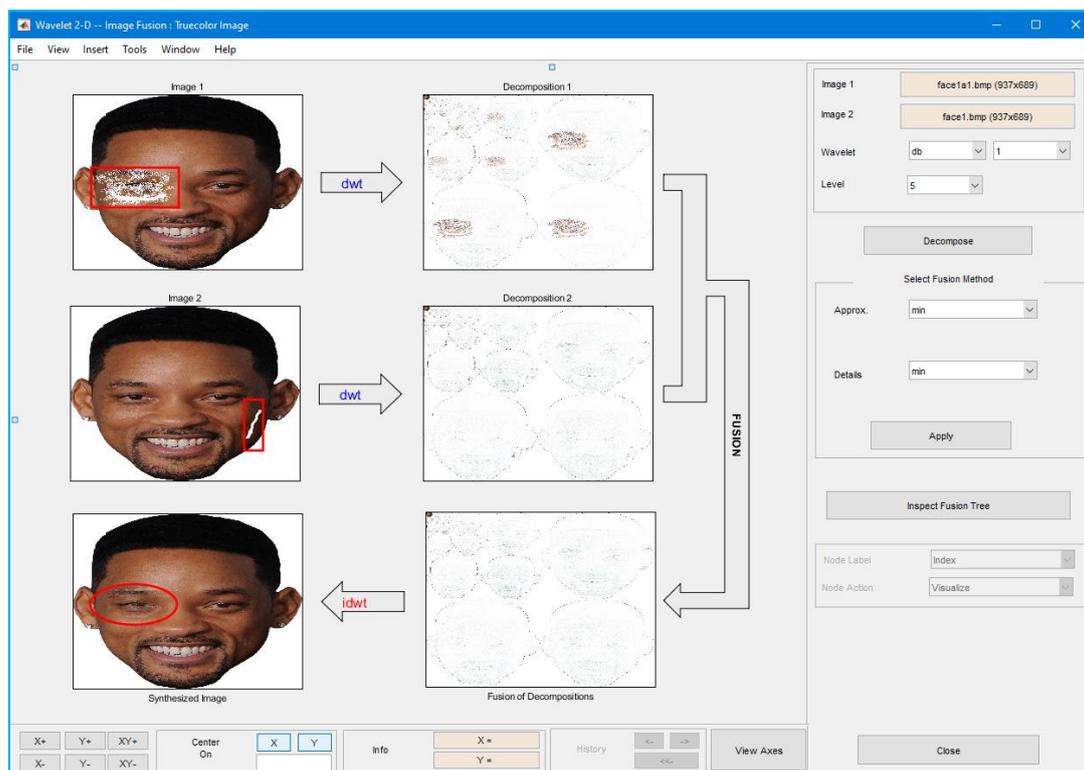


Рис. 4. Приклад фільтрації зображення обличчя з використанням вейвлету Daubechies wavelet-1

Оскільки колір завад був світлішим від кольору зображення обличчя, то в процесі інтеграції обирався менший з двох вейвлет-коефіцієнтів. Зазначимо, що в наведених прикладах при використанні вейвлету Daubechies wavelet-1 рівень деталізації вейвлет-коефіцієнтів дорівнював 5, а при використанні вейвлету HAAR рівень деталізації вейвлет-коефіцієнтів дорівнював 1. Результати експериментів підтвердили дані [2, 11, 21] про суттєву залежність якості фільтрації біометричних параметрів від типу базисного вейвлету.

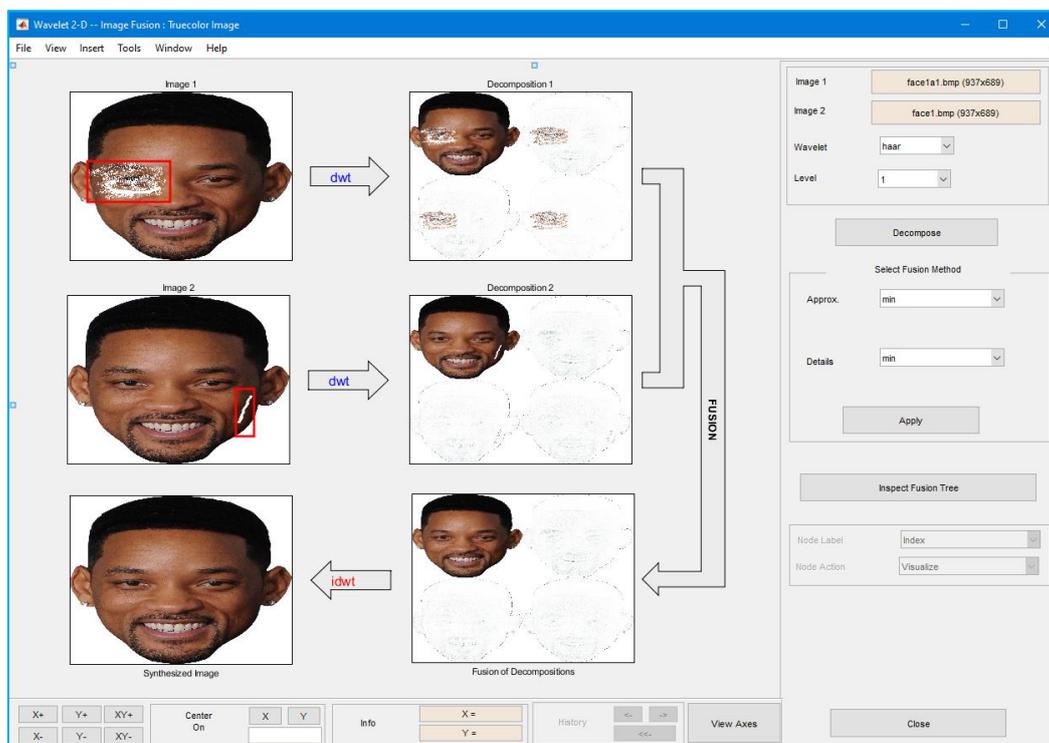


Рис. 5. Приклад фільтрації зображення обличчя з використанням вейвлету HAAR

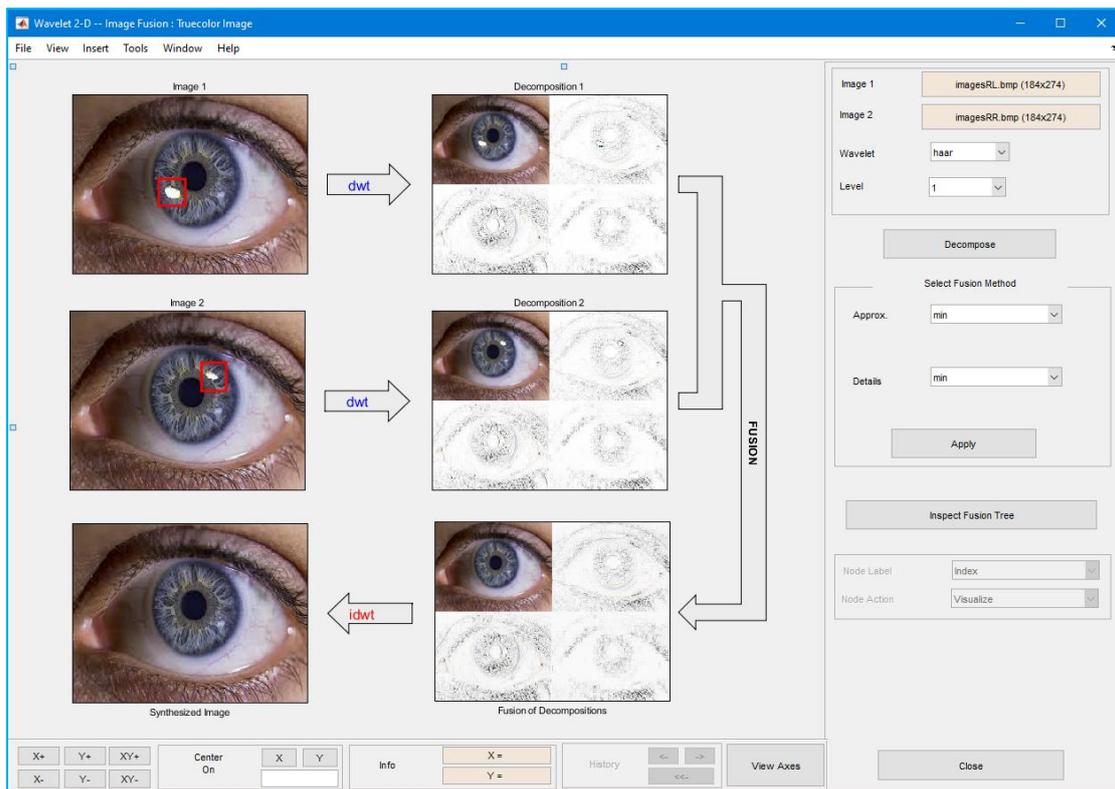


Рис. 6. Приклад фільтрації зображення радужної оболонки ока з використанням вейвлету HAAR

Так, на рис. 4 еліпсом виділена частина зображення обличчя людини, відтворена з незадовільною чіткістю після фільтрації з використанням вейвлету Daubechies wavelet-1. Також в результаті експериментів визначено, що з позицій достатньої точності та обчислювальної складності фільтрації найбільш ефективним є використання в якості базисного вейвлету HAAR. При цьому достатньо реалізувати вейвлет-перетворення з рівнем деталізації, що дорівнює 1. Разом з тим потребує доопрацювання етап методу, що пов'язаний з вибором способу інтеграції вейвлет-коефіцієнтів, що використовується для нівелювання завдань локалізованих в різних місцях зображення, асоційованого з біометричним параметром.

#### Висновки та перспективи подальших досліджень.

Проблематика статті пов'язана з вдосконаленням засобів прихованого моніторингу особи та емоцій операторів інформаційно-управляючих систем на основі біометричних параметрів, що співвідносяться з двовимірними зображеннями та характеризуються за допомогою геометричних показників. Показано, що труднощі розробки таких засобів багато в чому пов'язані з очищенням зображень, асоційованих з біометричними параметрами, від типових нестаціонарних завдань, викликаних нерівномірністю освітлення та сторонніми предметами, що заважають відеореєстрації.

Визначено перспективність засобів очищення від завдань на базі вейвлет-перетворень. Обґрунтовано підхід до розробки методу фільтрації біометричних параметрів, що передбачає розрахунок значень вейвлет-коефіцієнтів кожного із зареєстрованих зображень, попарну інтеграцію розрахованих значень вейвлет-коефіцієнтів між собою та реалізацію зворотнього вейвлет-перетворення, що призводить до отримання відфільтрованого невикривленого зображення.

На базі запропонованого підходу розроблено метод фільтрації, який за рахунок застосування запропонованого підходу дозволяє з задовільною якістю реалізувати їх очищення від типових нестаціонарних завдань.

Проведені експериментальні дослідження показали доцільність застосування розробленого методу для фільтрації типових завдань на зображеннях, асоційованих з біометричними параметрами операторів інформаційно-управляючих систем.

Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень з вибором способу інтеграції вейвлет-коефіцієнтів, що використовується для нівелювання завдань локалізованих в різних місцях зображення, асоційованого з біометричним параметром.

#### Список бібліографічних посилань.

1. Биков М.М., Ковтун В.В. Оцінювання надійності автоматизованих систем розпізнавання мовців критичного застосування. Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2017, № 2. С. 70-76.

2. Буй Т.Ч., Спицын В.Г. Разложение изображений с помощью двумерного дискретного вейвлет-преобразования и быстрого преобразования Хаара // Проблемы информатики. 2011. № 2. С. 11–15.
3. Грищенко Н.П., Лавров Д.Н. Обзор методов идентификации человека по радужной оболочке глаза. Математические структуры и моделирование, 2014, вып. 1(29). С. 43–64.
4. Кемайкин В.К., Арнольдова Е.А. Алгоритм прямого вейвлет-преобразования изображения. Программные продукты, системы и алгоритмы, 2016, №2. С. 1–4.
5. Корепанов А.О. Обнаружение границ радужной оболочки с использованием преобразования Хоу // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. Академика С.П. Королёва (Национального исследовательского университета). 2008. № 2. С. 235–239.
6. Корченко А., Терейковский И., Карпинский Н., Тынымбаев С. Нейросетевые модели, методы и средства оценки параметров безопасности интернет-ориентированных информационных систем. [Монография] - К.: Наш Формат, 2016. – 273 с.
7. Ляхов П. А. Валуева М.В. Применение сглаживающих фильтров для очистки от шума изображений в оттенках серого. Наука. Инновации. Технологии. 2015. № 3. С. 37–50.
8. Михайленко В. М., Терейковська Л. О., Терейковский І. А., Ахметов Б. Б. Нейромережіві моделі та методи розпізнавання фону в голосовому сигналі в системі дистанційного навчання: [Монографія] - К.: ЦП «Компринт», 2017.– 252 с.
9. Минакова Н.Н., Петров И.В. Параметризация структуры радужной оболочки глаза с использованием вейвлет преобразования. Известия Алтайского государственного университета, 2011. №1. С.105-107.
10. Михайленко В. М., Терейковская Л.А. Парадигмы нейросетевого распознавания эмоций. Управління розвитком складних систем. 2019. №39. сс. 179-186.
11. Нагорнов О.В., Никитаев В.Г. Вейвлет-анализ в примерах: учеб. пособие. М.: Изд-во НИЯУ МИФИ, 2010. С. 405.
12. Путьтин Е.П., Кобылин О.А. Использование вейвлет-преобразования для описания контура изображения. Системы обработки информации, 2004, вып. 1. С. 51-54.
13. Романько О.В. Особенности применения пакета WAVELET TOOLBOX для спектрального анализа сигналов. Системы обработки информации, 2005, вып. 2. С. 119-126.
14. Рубан И.В., Хижняк И.А. Анализ подходов к идентификации лиц в системах контроля доступа. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2014, № 4(17). С. 67-70.
15. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 628 с.
16. Терейковский І. Нейронні мережі в засобах захисту комп'ютерної інформації.-К.: ПоліграфКонсалтинг, 2007.–209 с.
17. Токмолдин С.Ж. , Клименов В.В. , Тулеуов З.Ж., Шакенов К.К. Обработка сигналов с помощью быстрого вейвлет-преобразования на суперкомпьютере в системе MATLAB. Вестник КазНУ, сер. мат., мех., инф. 2012, №3(74). С. 69-80.
18. Третьяков И.Н., Минакова Н.Н. Параметризация структуры радужной оболочки глаза с использованием вейвлет-преобразования. Известия Алтайского государственного университета, 2009. № 1. С. 129–130.
19. Шокуров А.В., Михалев А.В. Оптимальное использование вейвлет-компонент. Успехи мат. наук. 2007. Т. 62, № 4. С. 171–172.

#### References.

1. Akhmetov B., Tereikovskiy I., Tereikovska L., Adranova A. Neural Network User Authentication by Geometry of the Auricle. Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information Proceedings of the XVIII International Conference on Data Science and Intelligent Analysis of Information, June 4–7, 2018, Kyiv, Ukraine, pp.11-19.
2. Hu Z., Tereikovskiy I., Tereikovska L., Tsiutsiura M., Radchenko K. (2020) Applying Wavelet Transforms for Web Server Load Forecasting. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 938. Springer, Cham. Pages 13-22.
3. Tariq U., Lin K., Li Z., Zhou Z., Wang Z., Le V., Huang T.S., Lv X., Han T.X. Emotion Recognition from an Ensemble of Features. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions, 2012, vol. 42 (4), pp. 1017–1026.
4. Tereikovska L., Tereikovskiy I., Mussiraliyeva S., Akhmed G. Recognition of emotions by facial Geometry using a capsule neural network. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Vol. 10, Issue 04, April 2019, pp. 270-279
5. Tereikovskaya L., Petrov O., Aleksander M. Prospects of neural networks in business models. TransComp 2015. 30 November – 3 December, 2015, Zakopanem, Poland. – P. 1539–1545.
6. Tereikovskiy, I., Parkhomenko, I., Toliupa, S., Tereikovska, L. Markov model of normal conduct template of computer systems network objects // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018 – Proceedings. pp. 498 – 501.
7. Toliupa S., Tereikovskiy I., Dychka I., Tereikovska L., Trush A. The Method of Using Production Rules in Neural Network Recognition of Emotions by Facial Geometry. 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). 2019, 2-6 July 2019, Lviv, Ukraine, Page(s): 323 – 327.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-15>

УДК 004.4'22

Трофімук Андрій Олександрович, студент

Булатецька Леся Віталіївна, канд. фіз.-мат. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7202-826X>

Павленко Юлія Степанівна, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-4065-045X>

Гришанович Тетяна Олександрівна, канд. фіз.-мат. наук, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-3595-6964>

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

## РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ КАРТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ SPA

**А. О. Трофімук, Л. В. Булатецька, Ю. С. Павленко Т. О. Гришанович.** Розробка інтерактивної карти з використанням технології SPA. В роботі розглянуто основні питання, що стосуються процесу розробки та проектування інформаційної системи із використанням технології Single Page Application. Дана технологія надає можливість зміни контенту без перезавантаження сторінки, що забезпечує користувачам миттєвий зворотній зв'язок. Розроблено веб-сайт з візуально відображеною картою місцевості, на якій користувач має можливість створювати маркери, які містять детальну інформацію про дане місцезнаходження. При розробці використані HTML, CSS, JavaScript.

**Ключові слова:** Single Page Application, веб-сайт, база даних, фреймворк, кросбраузерність, контролер, географічні карти.

**А. А. Трофимук, Л. В. Булатецкая, Ю. С. Павленко Т. А. Гришанович.** Разработка интерактивной карты с использованием технологии SPA. В работе рассмотрены основные вопросы, касающиеся процесса разработки и проектирования информационной системы с использованием технологии Single Page Application. Данная технология предоставляет возможность изменения контента без перезагрузки страницы, обеспечивает пользователям мгновенную обратную связь. Разработан сайт с визуально отраженной картой местности, на которой пользователь имеет возможность создавать маркеры. Эти маркеры содержат подробную информацию о локации. При разработке использованы HTML, CSS, JavaScript.

**Ключевые слова:** Single Page Application, веб-сайт, база данных, фреймворк, кроссбраузерность, контроллер, географические карты.

**A.O. Trofimuk, L. V. Bulatetska, Y. S. Pavlenko, T. O. Hryshanovych** Development of the interactive map using SPA technology. The paper considers the main issues related to the process of developing and designing the information system using Single Page Application. This technology allows users to change the content of a web-page without reloading. It provides users with instant feedback. The website that displays a map of an area, where users are able to create markers, was developed. These markers include detailed information about the location. HTML, CSS, JavaScript were used in website development.

**Key words::** Single Page Application, website, database, framework, cross browser, controller, geography maps.

**Постановка проблеми та аналіз досліджень.** Враховуючи те, що користувачі мережі Інтернет стають більш вимогливими до інтерактивності веб-сторінок, то одним із актуальних завдань для розробки інформаційних систем з веб-інтерфейсом є покращення адаптивності сайту, використання ресурсів для перегляду й переходу до інформації без використання перезавантажень сторінок. Тобто будь-яка реалізована на сторінці компонента взаємодії з користувачем не обов'язково призводить до перезавантаження всієї сторінки, а всі візуальні елементи будуються просто в браузері. Така технологія, що надає користувачам миттєвий зворотній зв'язок у порівнянні зі звичайними сайтами, називається Single Page Application (SPA). SPA – це веб-застосунок, розміщений на одній сторінці, яка для забезпечення роботи завантажує всі JavaScript-файли, а також файли CSS разом із завантаженням самої сторінки [1]. Оскільки технологія SPA надає можливість зміни контенту без перезавантаження сторінки, то цю технологію актуально використовувати на сайтах із великою кількістю зовнішньої інформації, наприклад, при розробці інформаційної системи з веб-інтерфейсом для зберігання даних про об'єкти, які містяться на географічних картах. Саме в таких системах використання технології SPA дає можливість користувачу працювати з даними без використання перемальовування карти.

**Метою роботи** є дослідження процесу розробки інтерактивної інформаційної карти у вигляді веб-додатку з використанням технології SPA, призначеного для збереження, накопичення та відображення інформації про визначні місця регіону та для комунікації користувача із картою. Для цього потрібно підібрати карту, яка є безкоштовною і оптимальною у використанні, обрати інструментарій розробки, реалізувати зручний інтерфейс. Таку розробку можна буде використовувати як, наприклад, туристичну мапу місцевості з постійним доповнення бази даних визначних локацій регіону.

### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Основою реалізації веб-сайту є HTML5, яка забезпечує створення його структури у вигляді блоків для взаємодії. Для зовнішнього оформлення сайту обрано CSS3, що дозволяє визначати стилі для елементів HTML. Динамічність та адаптивність сайту забезпечено з допомогою фреймворку Bootstrap4, за допомогою якого можна контролювати стилізацію елементів під різні екрани пристроїв. Даний фреймворк бере на себе й забезпечення кросбраузерності веб-сайту [2]. Для реалізації різних дій та функціоналу розробки вибрано мову JavaScript, а для розширення та комфортності використано бібліотеку jQuery.

Розробку веб-інтерфейсу виконано за допомогою фреймворку Vue, який повністю підходить для створення складних односторінкових додатків (SPA). Оскільки Vue вирішує завдання рівня уявлення (view), то він легко інтегрується з іншими проектами та бібліотеками [3, 4].

В якості сервера вибрано OpenServer із базою даних MySQL. Для реалізації збереження інформації у базі даних інформаційної системи було використано мову програмування загального призначення з відкритим вихідним кодом PHP (Hypertext Preprocessor). PHP спеціально сконструйована для веб-розробок та її код може впроваджуватися безпосередньо в HTML.

Об'єднання всіх технологій здійснюється з допомогою фреймворку Laravel, що надає зручну можливість використання запитів до бази даних та шаблони для розробки авторизації користувачів. В даний фреймворк включений Webpack, який використовується для підключення нових бібліотек та контролю за версіями [5].

В якості IDE (Інтегроване середовище розробки) було вибрано VSCode. Крім IDE, необхідна наявність менеджера залежностей Composer, через який можна встановлювати та оновлювати Laravel.

Після створення веб-проекту і його тестування необхідно підготувати проект до розміщення на сервері. Laravel надає інструмент Laravel Mix, який використовує Webpack і вміє працювати з CSS, JavaScript, Less, Saas, Stylus, PostCSS. Цей інструмент, використовуючи спеціальний складальник модулів Webpack, збирає разом всі JS і CSS-файли та вміє створювати версії цих файлів. Тобто, кожна збірка нашого проекту дозволяє мати різні назви JS і CSS-файлів в HTML-коді, що вирішує проблему з кешуванням при зміні вмісту файлу [5].

В Laravel є посередник для перевірки аутентифікації користувача. Посередники надають зручний механізм для фільтрації HTTP-запитів програми. Якщо користувач не аутентифікований, посередник перенаправить його на сторінку входу в систему. Якщо ж користувач аутентифікований, посередник дозволить запитом пройти далі в додаток. Але посередники потрібні не тільки для авторизації. CORS-посередник може стати в нагоді для додавання особливих заголовків для всіх відповідей у додатку, а посередник логів може зареєструвати всі вхідні запити. У Laravel є кілька стандартних посередників, включаючи посередники для аутентифікації і CSRF-захисту. Всі вони розташовані в директорії `app/Http/Middleware` [5].

Для організації аутентифікації в Laravel використовується конфігураційний файл, який розташований в `config/auth.php`, де містяться опції для тонкого налагодження поведінки служб аутентифікації. Laravel забезпечує швидкий спосіб створення заготовок всіх необхідних для аутентифікації Пауса і шаблонів за допомогою однієї команди [5]:

```
php artisan make:auth.
```

Підключення фреймворку Laravel відбувається за допомогою команди в консолі OpenServer: Composer [6]. Для розробки інформаційної системи потрібно підключити додаткові пакети, які надають різні функції, зокрема:

- npm – компіляція JS та CSS коду;
- laravel/ui – отримання базового забезпечення, а саме використання Bootstrap, React чи Vue;
- vue vue-router – пакети бібліотеки маршрутизації vue-router;
- vuex – пакети бібліотеки сховища Vuex;
- fontawesome free – пакет іконок;
- sass – компілятор препроцесора;
- admin-lte – адміністративна панель;
- vueperslider – слайдер;
- progress – стрічка завантаження.

Для більш комфортної роботи редактор коду Visual Studio Code надає свої пакети. Для підключення до бази даних нам потрібно заповнити поля у файлі `.env`:

- DB\_DATABASE – назва бази створеної у OpenServer;
- DB\_USERNAME та DB\_PASSWORD – доступ до неї.

Після підключення бази даних можна здійснювати міграції до неї та отримувати з неї інформацію.

При створенні міграцій було створено наступні таблиці: користувачів, локацій місцезнаходження, картинок та коментарів. Ці таблиці обов'язково повинні бути пов'язані для забезпечення каскадного оновлення чи видалення відповідних даних з декількох таблиць. Наприклад, при видаленні із таблиці users користувача, повинні бути видалені всі записи в таблиці locations за ключем user\_id (за яким ці таблиці пов'язані).

Для міграції даних використовувались команди php artisan: php artisan migrate.

Заповнення контентом здійснюється через використання функції seeds фреймворку Laravel [5]. У Laravel наповнення БД початковими даними виконується за допомогою спеціальних класів, які зберігаються в директорії database/seeds. За замовчуванням визначений клас DatabaseSeeder. З цього класу можна викликати метод call для підключення інших класів з даними, що дозволить контролювати порядок їх виконання. Стандартні дані для запитів описуються у директорії seeds у файлі DatabaseSeeds. За допомогою командної стрічки та коду php artisan можна заповнити таблиці [5]:

```
php artisan db:seed
php artisan db:seed -- class=UsersTableSeeder.
```

При створенні інформаційної системи з веб-інтерфейсом, в якій реалізована взаємодія користувача з картою ми обрали карту від компанії Google, що надана у безкоштовне використання [7]. Була розроблена сторінка користувача та сторінка адміністратора, в якій не використовується footer, тому що Google-карта буде розширена на весь екран і сайт не буде прокручуватись. У шапці сайту розміщуються логотип, меню авторизації та інтерфейс буде адаптований під мобільні пристрої.

Однією із основних частин інтерфейсу, що може бачити користувач, є слайдер. Наявність слайдера робить сучасні сайти більш живими і анімованими. В роботі слайдер реалізований з допомогою VuerperSlider. За допомогою тегу <vuerper-slides /> в ньому розміщені картинки, які показують, як виглядає місце, із яким користувач взаємодіє через карту, та виводиться коротка інформація про нього. На рис. 1(а) подано вигляд зовнішнього оформлення слайдера при задіюванні та компіляції коду.

Для сторінки адміністратора використано плагін AdminLTE 3, який надає шаблон адміністративної панелі. Для підключення різних пакетів та взаємодії із ними, вони повинні бути завантажені за допомогою команди npm і підключені до файлу app.js за допомогою збирача коду Webpack та бібліотек стилів [8].

Для проектування сторінки користувачів та гостей використовувались шаблонізатори фреймворку Vue: LocationCreateComponent.vue та LocationUpdateComponent.vue для створення та редагування локацій; LocationListComponent.vue для реалізації списку всіх локацій та роботи з ними. Основу сайту займає компонент MapComponent.vue – мапа сайту, через яку можна взаємодіяти із різними локаціями. Інформаційне поле для виведення інформації про локацію та взаємодію із нею реалізоване з допомогою шаблону LocationComponent.vue [2, 3] (рис. 1).

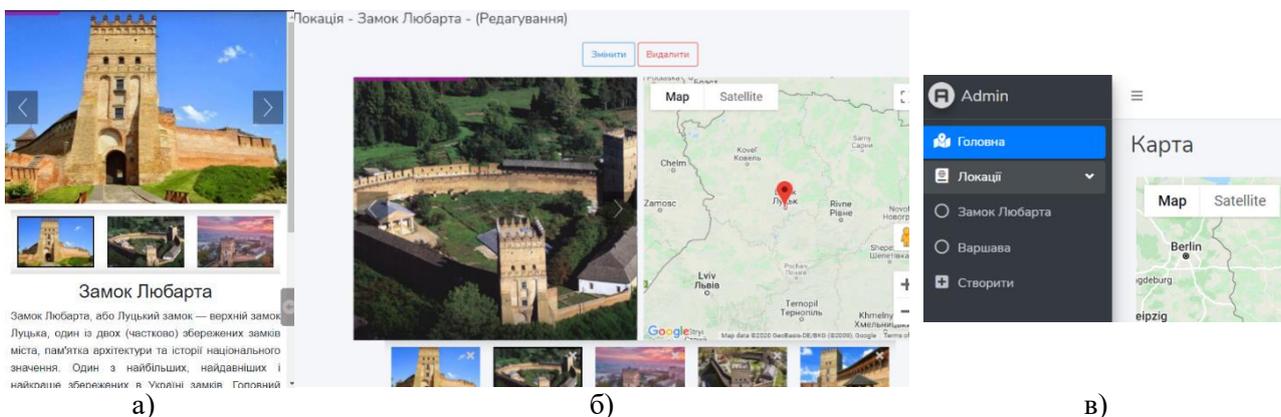


Рис. 1. Знімки екрану інформаційного поля (а), адміністративної сторінки оновлення локації (б), адміністративного sidebar (в)

Авторизовані користувачі можуть також залишати коментарі у відведеній для цього області, гості мають право лише перегляду. Було створено функцію onMarkerClick(), яка отримує параметри:

- e – інформаційний об'єкт, має в собі повну інформацію про події, що відбулись;

- marker – масив всіх маркерів із бази даних;
- id – ідентифікатор локації, використовується для отримання інформації із бази даних.

Для проектування сторінки адміністратора використовувались такі самі шаблонізатори фреймворку Vue, що і для проектування сторінки користувача, але вони знаходяться у різних папках. В адміністративній частині використовуються компоненти MapComponent.vue, де реалізація для взаємодії з картою дещо видозмінена.

Фреймворк Laravel надає можливість самому налагоджувати маршрутизацію веб-сторінок у файлі routes/web.php [5]. Стандартну сторінку напишемо такою командою:

```
Route::get('/', function () { return redirect()->route('userMap');});
```

```
Route::get('/InfoMap.com/map', function() { return view('layouts.user.userPage');})->name('userMap');
```

При стандартній URL-навігації “/”, ми переходимо до маршруту із ім'ям userMap та відкриваємо сторінку за маршрутом layouts/user/userPage.php. Це стандартний маршрут для гостей. Для користувачів та адміністратора маршрути будуть розширені та зв'язані із контролерами та посередниками. Ми використовуємо груповий маршрут для того, щоб задіяти наступні функції:

- задати початкове ім'я для маршруту;
- використовувати посередників для перевірки авторизації та перевірки на наявність адміністративних повноважень.

Всі функції, які задіяні для роботи із базою даних, були виконані в контролері UserController. Ми використовували ресурсний контролер, який надає вже готові стандартні функції для взаємодії із вхідними даними. Адміністративний груповий маршрут схожий до користувацького, за винятком контролера AdminController та URL, які відрізняються шляхом та посередником.

Інші контролери також задіяні. Вони потрібні для адміністрування та авторизації, зокрема, для Ajax-запитів і інше. Фреймворком автоматично створені два контролери: для авторизації та стандартний контролер. Також було використано анонімний контролер, який виконує функції переходу від невизначеного шляху. Тобто при будь якому URL, невідомому програмі, буде відбуватися перехід на сторінку гостей чи користувачів, що вже визначає посередник redirectUrl.

Для взаємодії із базою даних використовувались два контролери UserController та AdminController.

Контролер для користувача:

```
class UserController extends Controller {  
    public function index() {  
        return view('layouts.user.userPage');  
    }  
}
```

Контролер адміністратора:

```
class AdminController extends Controller {  
    public function index() {  
        return redirect()->route('admin.map');  
    }  
}
```

Контролери користувача та адміністратора подібні але відрізняються виконанням функції. На прикладі публічної функції index(), контролер звертається до маршруту із іменем admin.map:

```
route::get('/InfoMap.com/admin/map', 'AdminController@indexMap')->name('admin.map');
```

Посередники (middleware) призначені для фільтрації маршрутів. В нашому випадку посередники використовувались для перевірки авторизації користувачів та перевірки наявності в них прав адміністратора. Для перевірки на права адміністратора використовується посередник RedirectUrl. Також було створено ще два посередники на два маршрути, користувацького та адміністративного, задля перевірки користувача при перезавантаженні сторінки [5].

Посередник UserCheck:

```
public function handle($request, Closure $next) {  
    if(Auth::user() and Auth::user()->is_admin == 1) {  
        return redirect()->route('admin.index');  
    }  
    else if(Auth::user() and Auth::user()->is_admin == 0) {  
        return $next($request);  
    }  
    return redirect()->guest('/');  
}
```

Посередник AdminCheck:

```
public function handle($request, Closure $next) {  
    if(Auth::user() and Auth::user()->is_admin == 0) {  
        return redirect()->route('user.index');  
    }  
    else if(Auth::user() and Auth::user()->is_admin == 1) {  
        return $next($request);  
    }  
}
```

```
return redirect()->guest('/')}
```

```
/**
 * Route get location information on id
 */
Route::get('/location/{id}',function($id) {
    return [
        Location::where('id',$id)->select('id','user_id','title','text','marker')->first(),
        Location::where('id',$id)->first()->reviews()->select('id','review','surname','update_at'),
        Location::where('id',$id)->first()->images()->select('id','image_url')->get()
    ];
});
/**
```

Рис. 2. Маршрут отримання інформації про локацію

На рис. 2 описано маршрут отримання інформації про локацію. Ми бачимо маршрут для Ajax-запиту, в якому реалізується отримання інформації. За допомогою моделі Location відбувається звернення до даних інших таблиць, а саме, використовуючи, як у прикладі, функції reviews() та images().

Для взаємодії із Google-картою потрібно підключити плагін vue2-google.maps та вставити API-ключ:

```
import * VueGoogleMaps from 'vue2-google-maps'
Vue.use(VueGoogleMaps, {
  load:{key: 'API_KEY', libraries: 'places'}})
```

Оскільки картою користуються як користувачі, так і адміністратор, то вона задіяна у шаблонах Vue. Також за допомогою функції Vue відбувається робота з масивом для визначення декількох маркерів. Ajax-запити потрібні для того, щоб отримувати інформацію із бази даних не використовуючи перезавантаження сторінки, тобто не використовувати напряму PHP-функції.

В фреймворку Laravel функція, яка використовується для Ajax-запитів, має вигляд:

```
$.ajax({
  Type: "method",
  url: "url",
  data: "data",
  success: function (response) {...}}
```

Для звернень до сервера у вигляді HTTP-запитів у Vue використовують axios.put або axios.get:

```
axios.put(payload.url + payload.id, {...})
  .then(data => {...})
  .catch(error => {...})
```

Вони є асинхронними функціями і не будуть стояти в черзі на виконання коду [3].

Для налаштування маршрутизації по компонентах Vue використовували Vue-router. Для початку потрібно його підключити до файлу app.js. Ми робимо це окремим файлом:

```
import router from './routes.js';
```

Також там же прописуються маршрути компонентів:

```
const routes = {
  {path:'InfoMap.com/map', name: 'map'},
  {path:'InfoMap.com/map/location/:id', name: 'location', component: location, props: true},
  {path:'InfoMap.com/user/map/location/:id', name: 'userLocation' component: location, props: true}}
```

Для задання місцезнаходження відображення компонент задіємо тег <router-view />.

Створення посилань на компоненти реалізується тегом <router-link /> із характеристиками про URL.

Для використання переходу між компонентами у функціях Vue використовується команда:

```
this.$router.push({}): this.$router.push({name: "adminUpdateLocation",params: {id:id}})
```

Тобто ми звернулись до команди Vue-router та вказали здійснити перехід до компоненти adminUpdateLocation та передати параметр ідентифікатора [3, 4].

Для передавання інформації між компонентами раніше застосовувалась функція \$emit: this.\$emit('deleteloc',this.location.id). Дана функція дозволяє спілкуватися із батьківським класом та передавати зміни. Для передавання та збереження даних у Vue використовують сховище Vuex. Сховище реалізовано окремим файлом задля простішого використання та реалізації в інших проєктах.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** В роботі було спроектовано та розроблено інформаційну систему з прив'язкою до карти з використанням технологій SPA. Створена нами інформаційна система направлена на полегшення пошуку інформації про певні місця на Google-  
© А. О. Трофімук, Л. В. Булатецька, Ю. С. Павленко Т. О. Гришанович.

картах. При реалізації були використані HTML, CSS, Bootstrap, JavaScript, бібліотеки jQuery і Vue, Laravel та технологія SPA, яка надала можливість переходу між сторінками сайту без використання перезавантаження сторінок. Дану інформаційну систему можна буде використовувати як для туристичних цілей, з постійним доповненням бази даних визначних місць регіону, так і для підприємницьких та рекламних цілей.

#### Список бібліографічного опису.

1. SPA-архітектура для CRM-систем: часть 1 [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://habr.com/ru/company/qbs/blog/243545/>
2. Bootstrap 4 [електронний ресурс] — Режим доступу : <https://bootstrap-4.ru/docs/4.0/getting-started/introduction/>
3. Intro to Vue2 [Електронний ресурс] — Режим доступу : <https://www.vuemastery.com/courses/intro-to-vue-js/vue-instance/>
4. Введение. Что такое Vue.js? [Електронний ресурс] — Режим доступу : <https://ru.vuejs.org/v2/guide/index.html>.
5. Laravel основи [Електронний ресурс] — Режим доступу : <https://laravel.su/docs/5.4>.
6. Установка Laravel 5.7-7.x через OpenServer [Електронний ресурс] — Режим доступу : <https://offgalaxy.com/install-laravel-5-7/>
7. Google Maps Platform [Електронний ресурс] — Режим доступу : <https://developers.google.com/maps/documentation>
8. AdminLTE 3 Docs [Електронний ресурс] — Режим доступу : <https://adminlte.io/docs/3.0/index.html>

#### References

1. SPA architecture for CRM systems: part 1 [online] – Available from : <https://habr.com/ru/company/qbs/blog/243545/>
2. Bootstrap 4 [online] — Available from : <https://bootstrap-4.ru/docs/4.0/getting-started/introduction/>
3. Intro to Vue2 [online] — Available from : <https://www.vuemastery.com/courses/intro-to-vue-js/vue-instance/>
4. Introduction. What is Vue.js? [online] — Available from : <https://vuejs.org/v2/guide/index.html>
5. Laravel. documentation [Електронний ресурс] — Available from : <https://laravel.su/docs/5.4>
6. Installing Laravel 5.7-7.x via OpenServer [online] — Available from : <https://offgalaxy.com/install-laravel-5-7/>
7. Google Maps Platform [online] — Available from : <https://developers.google.com/maps/documentation>
8. AdminLTE 3 Docs [online] — Available from : <https://adminlte.io/docs/3.0/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-16>

УДК 681.3.05

**Чернишов Костянтин Андрійович**, аспірант

<http://orcid.org/0000-0002-8639-2732>

**Майданюк Володимир Павлович**, к.т.н., доцент

**Арсенюк Ігор Ростиславович**, к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0003-4045-6144>

**Малініч Ілля Павлович**, асистент

<http://orcid.org/0000-0002-5862-3732>

Вінницький національний технічний університет

## АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕНДИНГОВИХ СИСТЕМ ТА ЇХ СТРУКТУРНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ

**Чернишов К., Майданюк В., Арсенюк І. Малініч І.** Аналіз та класифікація вендингових систем та їх структурних реалізацій. У статті розглянуто вендингові системи та вендингові пристрої, їх складові та залежності між функціональним призначенням і апаратним забезпеченням. Наведено функціональні різновиди терміналів самообслуговування, виокремлено їх основні класифікативні відмінності. Проведено їх порівняльний аналіз, розглянута технічна сторона, принципи роботи та приведені приклади роботи розглянутих алгоритмів. Розглянуто основні аспекти функціонування вендингових систем як сукупність теорії автоматів і теорії масового обслуговування. Наведено список типових прикладних апаратно-програмних реалізацій вендингових технологій. Проведено аналіз ключових алгоритмів роботи терміналів і автоматів самообслуговування. Визначено провідні напрямки розвитку і сфери досліджень, направлених на вдосконалення сучасного стану вендингових систем.

**Ключові слова:** вендинг, самообслуговування, термінал, автомат.

**Чернышов К.А., Майданюк В. П., Арсенюк И. Р., Малинич И. П.** Анализ и классификация вендинговых систем и их структурных реализаций. В статье рассмотрены вендинговые системы и вендинговые устройства, их составляющие и зависимости между функциональным назначением и аппаратным обеспечением. Приведены функциональные разновидности терминалов самообслуживания, выделены их основные классификационные различия. Проведен их сравнительный анализ, рассмотрена техническая сторона, принципы работы и приведены примеры работы рассмотренных алгоритмов. Рассмотрены основные аспекты функционирования вендинговых систем как совокупность теории автоматов и теории массового обслуживания. Приведен список типичных прикладных аппаратно-программных реализаций вендинговых технологий. Проведен анализ ключевых алгоритмов работы терминалов и автоматом самообслуживания. Определены ведущие направления развития и сферы исследований, направленных на совершенствование современного состояния вендинговых систем.

**Ключевые слова:** вендинг, самообслуживания, терминал, автомат.

**Chernyshov K. A., Maidaniuk Volodymyr Pavlovych, Arseniuk Ihor Rostyslavovych, Malinich I.** Analysis and classification of vending systems and their structural implementation. The article deals with vending systems and vending devices, their components and dependencies between functional purpose and hardware. The functional variants of self-service terminals are presented, their main classification differences are distinguished. Their comparative analysis, the technical side, the principles of work and the examples of the work of the considered algorithms are considered. The basic aspects of the functioning of vending systems as a totality of the theory of automata and the theory of mass service are considered. The following is a list of typical application software applications for vending technology. The analysis of key algorithms of operation of terminals and self-service machines is carried out. The main directions of development and areas of research aimed at improving the modern state of vending systems are determined.

**Keywords:** vending, self-service, terminal, automatic machine.

**Вступ.** З початку існування людства, людина прагнула змінити реальність свого існування: полегшити працю, покращити ефективність витрат часу і енергії. Звідси виникав окремий напрямок людської діяльності – створення засобів та інструментів праці, виробництва. Колесо, зброя, сільськогосподарське знаряддя, а згодом і цілі екосистеми життєзабезпечення невинно втілювалися у життя людини, стаючи його невід'ємною частиною [1].

З приходом епохи капіталізму, на допомогу виробництвам приходили механізми, а згодом – і напіваавтоматичні системи. Ефективність виробництва зростала експоненціально. Під впливом значних досліджень у області математики, кібернетики, у напрямку теорії автоматів розвивається діяльність з побудови обчислювальних машин, а згодом їх варіації впроваджувалися і в промисловість. Автоматизація зайняла позиції провідного напрямку розвитку всіх сфер людської діяльності. Від колеса до мікроконтролера.

**Актуальність.** Як у світі взагалі, вендинг, як сучасний торговельний сервіс в Україні, зокрема, динамічно розвивається. Роздрібна торгівля, займаючи провідну галузь людського побуту, створює нові варіації розподілу робочих місць і загальноекономічних процесів.

Сучасний споживчий ринок є відносно розвиненим: насичення товарами, що відповідають попиту населення, не оцінюється як вичерпне, але знаходиться на рівні достатнього. Динамічність обсягів і структура продажу товарів і послуг поступово набуває все більшої стійкості: змінюється співвідношення кількості продажів і кількості магазинів. Така тенденція одночасно пов'язана як з появою інтернет-магазинів (варіантів продажу без торговельних площ), так і зі скороченням числа самих магазинів на користь асортименту та, як наслідок, площі самих магазинів.

Таким чином, ключовим фактором, що стимулює прогрес, є мінімізація витрат, що забезпечує процес доставки товарів покупцеві. В сучасних економічних умовах зростає важливість організації ефективного процесу розподілу в роздрібній торгівлі. Він є одним з основних критеріїв для отримання комерційним підприємством прибутку і підтримання стабільності в умовах посилення конкуренції на ринку, серед комерційних підприємств та торгових марок, на одного споживача [2].

**Мета.** Метою роботи є аналіз сучасного стану застосування вендингових систем, варіації їх структурних реалізацій та визначення ролі вендингових пристроїв в сучасних інформаційних системах.

#### **Задачі.**

Класифікація вендингових систем.

1. Аналіз історичних передумов появи різноманіття вендингових систем та їх еволюції.
2. Аналіз структурних реалізацій сучасних вендингових пристроїв.
3. Аналіз типових алгоритмів роботи вендингових автоматів.
4. Методи розробки та побудови архітектури вендингових систем.
5. Визначення напрямків розвитку досліджень та розробки вендингових пристроїв.

**Класифікація вендингових систем.** Серед вендингових систем слід одразу виокремити два сімейства: автомати для надання послуг і автомати для продажу товарів (торгові автомати). Подальшу класифікація цих сімейств буде розглянуто з точки зору функціональних особливостей та особливостей у застосуванні. Почати доцільно з торгових автоматів [3].

По виду товару, що реалізується:

1. Торгові автомати для продажу продовольчої продукції.

Сюди віднесемо кавові автомати, автомати з продажу розливної газованої та питної (побутової) води, автомати з продажу свіжого соку, квасу, питної води. Більш рідкісні види апаратів: для продажу кисневих коктейлів, молочних коктейлів, чайні торговельні апарати та інші. Що стосується продовольства не радкої консистенції - це, в першу чергу, снекові автомати, а також автомати для продажу гарячої їжі, піци, попкорну, цукрової вати, цукерок, жуйки та інші вендингові машини, що пропонують покупцеві готові до вживання продукти харчування. Отже, класифікацію продовольчих вендингових систем ми можемо сформулювати наступним чином:

- За ступенем готовності продовольчої продукції: ті, що готують продукт під час використання і ті, що продають вже готову продукцію;

- За консистенцією продовольчого товару: рідкі і паковані (не рідкі);
- За принципом видачі штучної продукції: барабанні, ліфтові, спіральні;
- За наявністю продукції, яка має короткий термін придатності.

2. Торгові автомати для продажу непродовольчих товарів.

Через торговельні автомати можна продавати все, що не заборонено законодавством, однак в нашій країні працює не надто велика кількість апаратів цього типу. Це лінзомати, автомати з продажу живих квітів і ще кілька видів (оатоматизовані газетні кіоски та кіоски з продажу відео-дисків). У світовій практиці вендинга цей список, звичайно, значно ширше: від автоматів з продажу медикаментів, зоотоварів до промо-автоматів з продажу автомобілів. Такі автомати можуть бути оснащені тими самим обладнанням, що і продовольчі, однак вимоги до їхнього санітарного стану значно менші, а терміни придатності непродовольчої продукції значно більші, тож і інтервал обслуговування таких автоматів більший. Так само, як і з продовольчими автоматами, узагальнимо структуру класифікації непродовольчих торгових автоматів:

- За консистенцією продовольчого товару: рідкі (автомобільні рідини на розлив, автоматизовані бензоколонки) і паковані (штучні);

- За принципом видачі продукції: барабанні, ліфтові, спіральні. Рідко зустрічається скриньковий вид видачі продукції.

Слід також зазначити, що вендингові системи торгового напрямку мають, як правило, виконання внутрішнє, тобто їх розміщують в середині приміщення: але і в даному правилі існують

виключення. Нерідко зустрічаються кавові автомати і автоматичні диспенсери питної води, які розміщують біля торгових точок на вулиці, або поодаль від людних місць.

Перейдемо до огляду другого сімейства: торгові автомати для надання послуг.

1. Спеціалізовані автомати, які можна об'єднати у групу лише за одною ознакою: логічність їх місцезнаходження або скупчення у одному місці. До цієї групи, в першу чергу, відносяться, розважальні автомати-атракціони, або, як їх ще називають, ігрові автомати.

Досить об'ємний клас вендингових систем, лівова частка яких припадає на «дитячий» вендинг.

Це різноманітні вендингові качалки, кран-машини для витягування м'яких іграшок і т.д. Існують і «дорослі» розважальні машини – в таких можна виграти корисний приз або гроші. Досить великий проміжок часу серед ігрових автоматів займали азартні гральні машини («однорукі бандити»), і, треба сказати, що такі машини – це представники найпершого у світі вендингу.

2. Неспеціалізовані вендингові системи для надання послуг – найбільший і найпопулярніший клас вендингових систем, здатний вирішувати все більше питань людського побуту.

Ця категорія автоматів довгий час була представлена виключно банкоматами і платіжними терміналами, але останнім часом набирають популярності і інші сервіси - автоматичні кіоски копіювання («ксерокси»), вендингові масажні крісла, автомати для зарядки мобільних пристроїв, фотоавтомати для друку фотографій з соцмереж, інформаційні кіоски. З екзотичних - манікюрні автомати.

В межах активної роботи з дослідження і розробки вендингових систем, автором і співавторами вказується акцент саме на вендингові системи надання послуг, де різноманіття напрямків розвитку значно перевищує торгові вендингові системи, передумовою до чого може служити їх функціональне безмежжя: скільки існує сфер людського побуту, стільки може існувати різновидів вендингових систем і гілок розвитку автоматичних сервісів.

Аналіз класифікативних характеристик виявляє, що існують і наступні ознаки, притаманні всім вищезазначеним типам і класам вендингових систем:

- За місцем установки вендингового автомата: вуличні і для установки в приміщеннях;
- За конструкцією: підлогові (більшість існуючих автоматів), настільні і навісні;
- За споживанням електрики: механічні і електричні;
- За розміром торгового автомата: повноростові, напів- та треть- ростові;
- За способом прийому платежу: монетні, готівкові та карткові (банківські термінали);
- За наявністю спеціалізованого обладнання (такого, яке виходить за межі корпусу, наприклад, обладнання автономної самообслуговування);
- За принципом розміщення: стаціонарні і пересувні;
- За наявністю зворотнього зв'язку: мережеві, комбіновані та відокремлені (самостійні);
- За наявністю функції видачі здачі.

Таким чином, класифікативний аналіз вендингових систем може бути завершено ілюстрацією (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурна схема класифікації вендингових систем

Перейдемо до аналізу історичних передумов існування вендингових систем та аналізу їхньої еволюції.

**Аналіз історичних передумов появи різноманіття вендингових систем та їх еволюції.** Перш за все слід вдатись до історичного етапу індустріалізації: поява конвеєрного принципу побудови

промислового обладнання є відправною точкою в створенні релейних напів-автоматичних систем, які призводять до спрощення і пришидження ефективності виробництва, не призводячи збільшення робочих місць і використовуючи існуючих працівників з найбільшим коефіцієнтом корисної дії

Саме в цей час активно розвиваються так напрямки розробки, як самостійні електромеханічні комплекси, задача яких ефективно розподілити певні механічні рухи. Це і ліфти, і різноманітні промислові підйомники, і спеціалізовані верстати, військова техніка.

Не секрет, що більшість сучасних технологій прийшли до побуту, будучи розробленими для військових або космічних потреб: стільниковий та супутниковий зв'язок, автомобільна хімія, піротехніка, окремі види та різновиди мікро- та нано- електроніки.

В якості прикладу буде розглянуто автоматичний диспенсер газованої води зразка 1959 року, розроблений СКТБ Харківського заводу «Механоліт». Алгоритм його роботи виглядає так:

1. Очікування набору ємності рідини для порції, запалювання зовнішньої підсвітки.
2. Очікування монети (1/3 копійки, звичайна газувана вода чи вода з сиропом).
3. Очікування натискання кнопки.
4. Диспенсеризація.
5. Перехід до початку алгоритму.

Як бачимо, алгоритм роботи вендингового автомата досить простий і на кожному кроці пов'язаний з людською взаємодією. По суті, всього два пункти не потребують людського втручання: набір ємності для порції та диспенсеризація. Таким чином, для реалізації даного алгоритму, вистачить декількох напів-автоматичних пристроїв тригерного типу, взаємодія яких цілком описується теорією автоматів, зокрема принципом побудови автомата Мура. Зовнішній вигляд автомату АТ-26 наведено на рисунку 2 (зліва).



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд автоматичних диспенсерів води

Сучасний варіант диспенсера потної води своїм принципом роботи від свого «пращура» відрізняється небагато. Змін зазнали лише спосіб оплати, тепер він передбачає прийом купюр (що стосується значно більш інтелектуального способу аналізу достовірності платіжного засобу), може приймати до оплати картку-абонемент, має графічний інтерфейс відображення кількості та вартості товару в залежності від об'єму, що визначив покупець, має функцію «пауза» (на відміну від порційного підходу). І взагалі, система управління сучасним диспенсером базується не на примітивних релейних автоматах, а на мікроконтролері і його управляючому програмному забезпеченні. Алгоритм лишився майже тим самим:

1. Очікування внесення суми коштів.
2. Відображення об'єму води, що відповідає внесеній сумі.
3. Очікування сигналу «Пуск».

4. Диспенсеризація та графічне відображення залишку об'єму.
5. Очікування натискання кнопки «Пауза».
6. Призупинення або кінець диспенсеризації.
7. Перехід до початку алгоритму.

Структурна модель сучасного автомату, алгоритм роботи якого розглянуто, буде наведено в наступному розділі.

**Аналіз структурних реалізацій сучасних вендингових пристроїв.** Оскільки кінцевий продукт знаходиться у надзвичайно динамічному ринку, вибір рішення повинен ґрунтуватися на вимогах масштабованості та гнучкості застосування без істотної модифікації обраної платформи [4]. Основою будь-якого торгового автомату є плата управління, яку можна будувати, використовуючи такі елементи:

- жорстка логіка;
- універсальні процесори;
- ПЛІС;
- мікроконтролери.

Основним елементом структурної схеми вендингового автомату (рис. 3) є плата управління, яка координує та контролює роботу усіх вузлів терміналів. За практичної реалізації конкретного виду терміналу конфігурація вузлів у кінцевому виробі може змінюватись залежно від потреб чи побажань замовника.

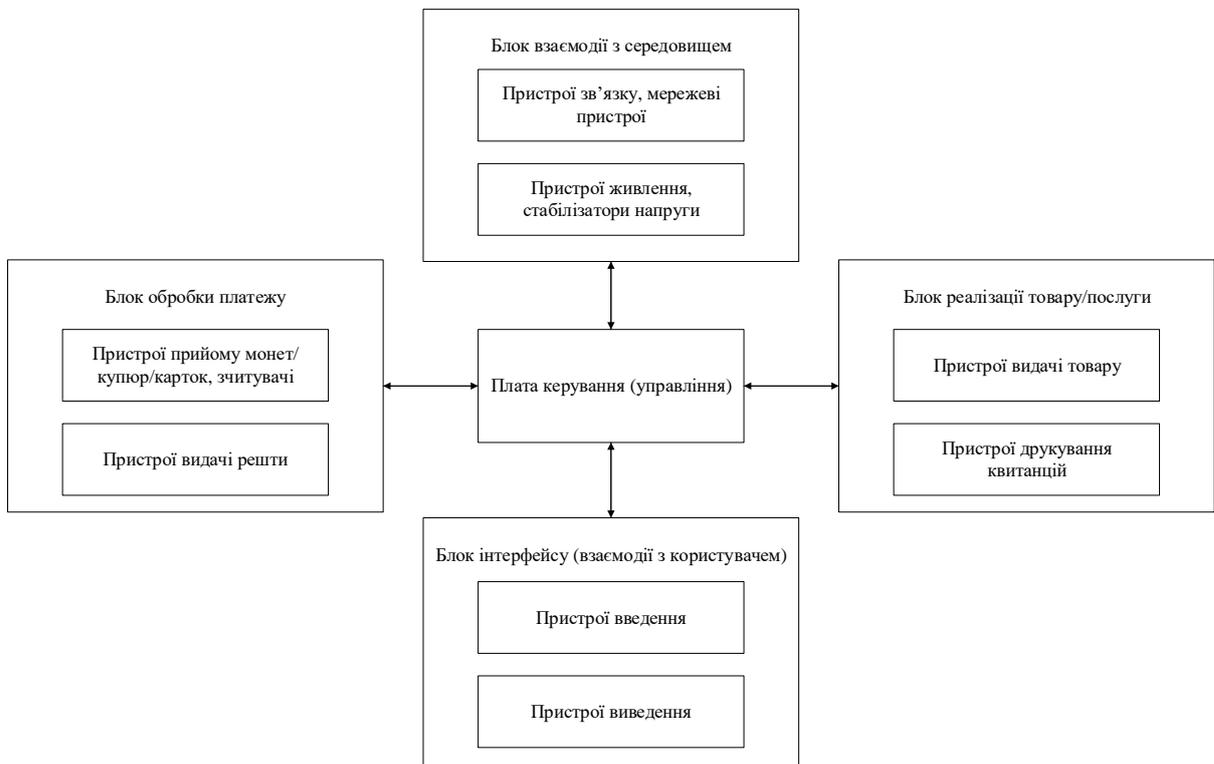


Рис. 3. Структурна схема вендингового автомата

**Аналіз типових алгоритмів роботи вендингового автомату.** Розглянемо узагальнений алгоритм роботи вендингового автомату, наведений на рис. 4.

Як бачимо з граф-схеми алгоритму, робота автомату починається з первинного налаштування всіх периферійних пристроїв згідно з їх призначенням та особливостями використання у конкретній реалізації автомату.

Далі починається основний цикл алгоритму, а саме: опитування стану периферійних пристроїв, якщо певний з пристроїв повідомив про помилку, відбувається спроба перезавантаження та переналаштування цього пристрою, якщо всі пристрої в нормі, аналізують відповіді купюро- та монетопріймачів: чи вніс користувач кошти в автомат чи ні.

Після внесення коштів виділяються серед асортименту ті товари/послуги, які користувач може придбати/отримати за преїскурантом та внесеною сумою. На наступному кроці аналізується відповідь від пристрою введення (клавіатури) – чи було обрано товар/послугу чи ні.

Якщо користувач ще не вибрав жодного товару/послуги, цикл повторюється спочатку. Після вибору товару/послуги, якщо внесена сума є достатньою для купівлі, виконавчому пристрою передається команда видати товар, і цикл повторюється спочатку.

Якщо сума внесених коштів недостатня для придбання обраного товару, користувачеві виводиться відповідне повідомлення, і цикл повторюється спочатку.

Ще одним елементом вендингового автомату, не внесеним у наведений алгоритм роботи, є система моніторингу за станом автомату [5]. До алгоритма роботи її не введено тому, що на кожному кроці алгоритму відбувається подія, яка підлягає протоколюванню з боку системи моніторингу. Система моніторингу є важливим елементом автомату, оскільки дає змогу оперативно фіксувати стан та реагувати на апаратні проблеми.

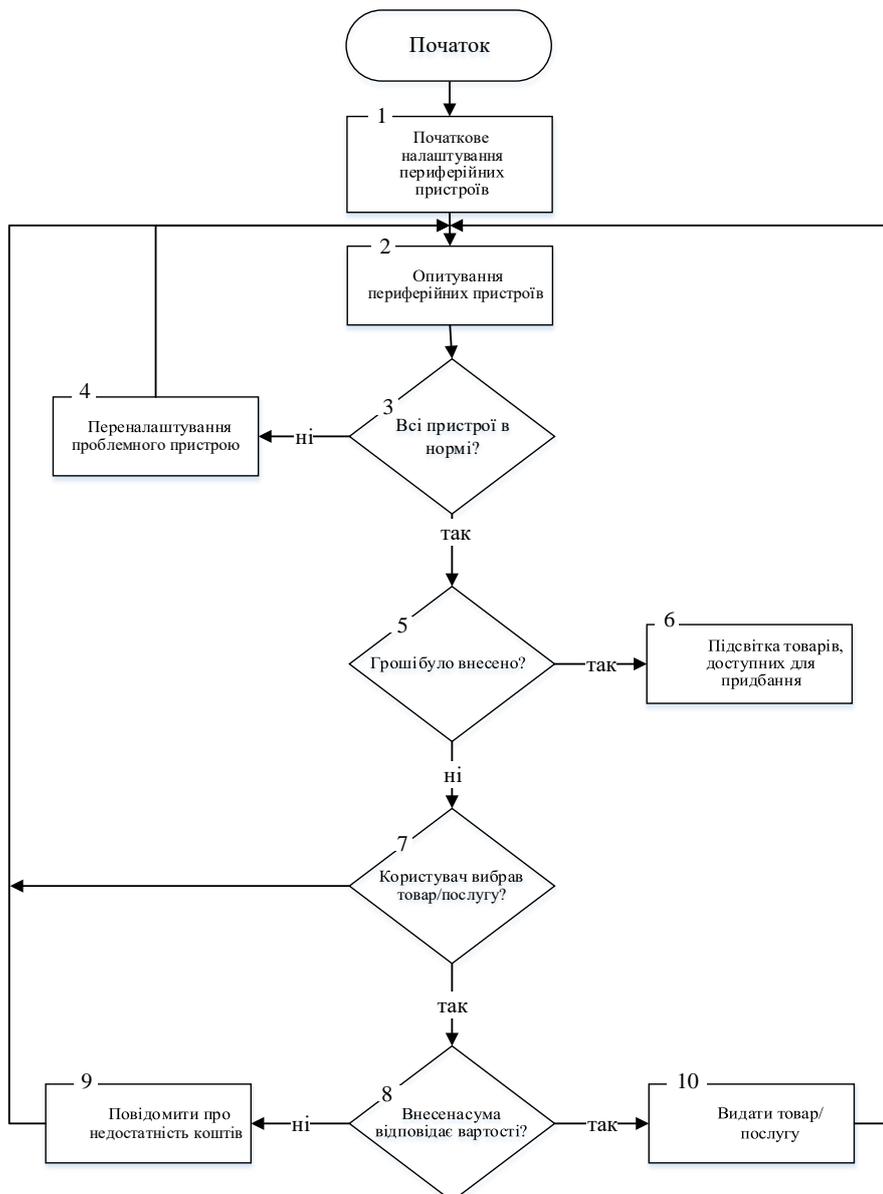


Рис. 4. Типовий алгоритм роботи вендингового автомата

### Визначення напрямків розвитку досліджень та розробки вендингових пристроїв

Найважливішим вектором розвитку безпосередньо вендингових пристроїв та систем в епоху бездротових технологій та безготівкових розрахунків логічніше за все вважати розвиток мережних зв'язків як всередині вендингових систем, так і між вендинговим пристроєм і клієнтом; пошук та адаптацію новітніх методів оплати послуг автоматів самообслуговування [6].

Авторами запропоновано безготівковий спосіб оплати, алгоритм якого досить просто інтегрується в уже готові вендингові системи, а при створенні нових – легко включається до складу останніх. Запропонований алгоритм базується на клієнт-серверній взаємодії і повинен реалізуватись програмно на окремому керуючому мікроконтролері. В окремих випадках така система оплати послуг або товарів торгового автомату може замінити і навіть виключити зі складу торгового автомату громіздкі, низьконадійні та енергоємні пристрої прийому монет і готівки, видачі решти. Діаграму взаємодії UML алгоритму приведено на рисунку 5.

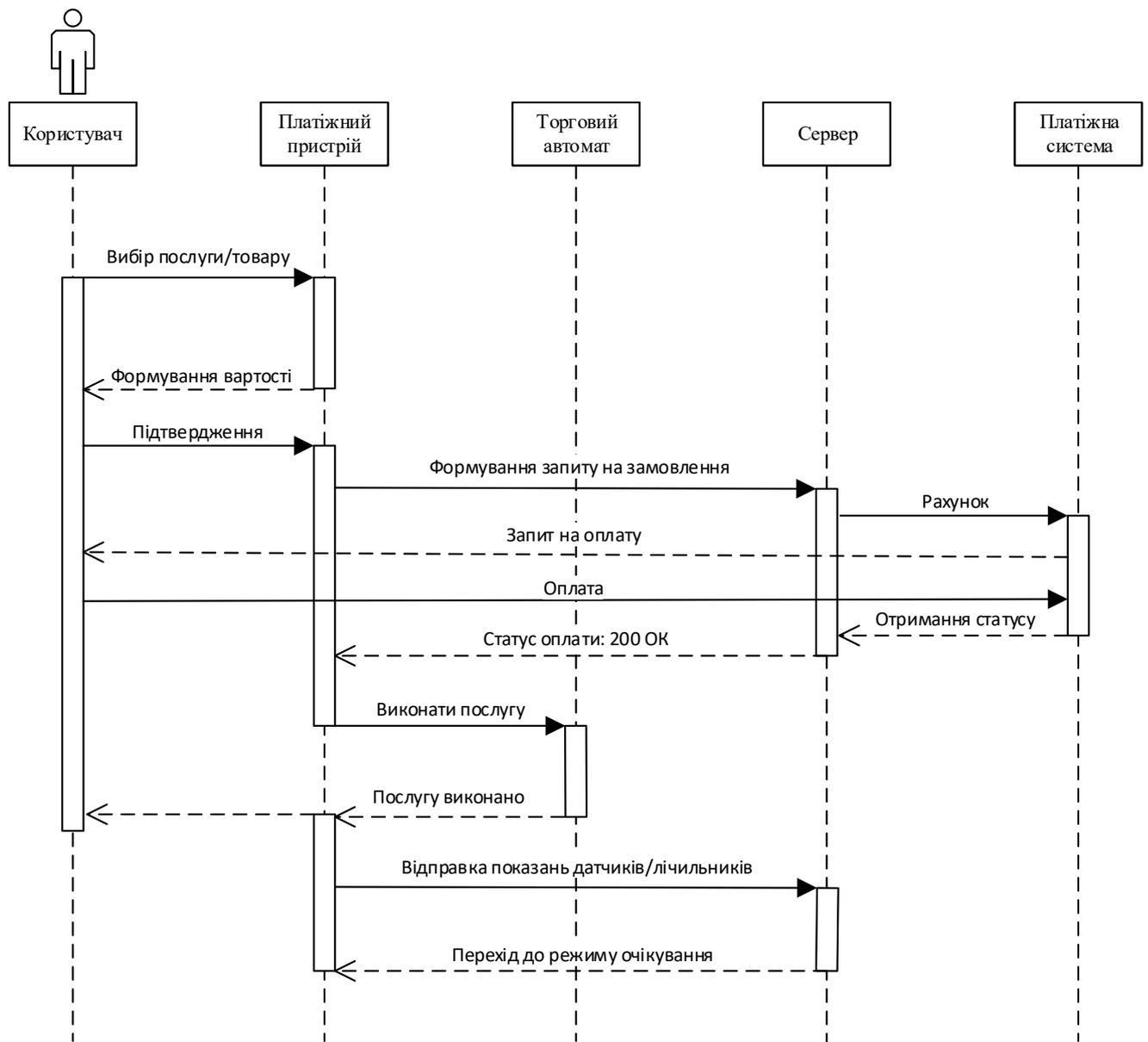


Рис. 5. Алгоритм безготівкової безконтактної оплати послуг вендингової системи

Розглянемо наведений алгоритм детальніше:

1. Користувач вибирає товар, натискає кнопку видачі.
2. Платіжний пристрій надсилає запит серверу з кодом товару.
3. Сервер посилає до АРІ платіжної системи токен на очікування оплати.
4. Платіжна система очікує надходження оплати від користувача
5. Користувач здійснює оплату.
6. Платіжна система посилає серверу токен з підтвердженням оплати.
7. Сервер відправляє платіжному пристрою підтвердження платежу.
8. Платіжний пристрій перевіряє наявність можливості виконати послугу (додатковий датчик).
9. Платіжний пристрій надсилає сигнал торговому автомату на здійснення операції.
10. Автомат виконує замовлення.
11. Платіжний пристрій отримує від автомата сигнал про виконання замовлення.
12. Платіжний пристрій посилає серверу звіт про виконання замовлення.
13. Сервер відповідає платіжному пристрою завдання перейти в режим очікування.

Наведений алгоритм повністю реалізує безготівкову і безконтактну систему оплати, яка може як доповнити, так і замінити вже існуючу в торговому автоматі систему готівкового розрахунку. Алгоритм є універсальним і застосовним в будь-якій як новій, так і існуючій вендинговій системі, реалізацію алгоритму буде продемонстровано в наступній статті, в ході досліджень і розробки предметної галузі.

Що ж стосується напрямків розробки і досліджень нових видів автоматів для впровадження таких у побут людей, то тут думки авторів розходяться, але так чи інакше призводять до спільного висновку: вендингові системи чекає вибух нових розгалужень застосування і різновидів сфер, в які вони можуть втрутитися завдяки дослідженням можливостей технологій останніх поколінь.

Для доведення істинності вищеописаних положень, проведемо аналіз та перелічимо відомі варіації впровадження автоматичних систем самообслуговування:

- Метрополітен і громадський транспорт (турнікети).
- Класичні роздрібні послуги (громадський телефон і диспенсери питної води, паркомати).
- Харчові торгові автомати (кавові автомати, торгівля снеками.)
- Нехарчові торгові автомати (автомати з продажу бахил, кондомів).
- Автомати для надання послуг (поповнення рахунку, банківські термінали).
- Вендингові рішення побуту (пральні самообслуговування, автоматичні камери схову).

Формалізуємо деякі з напрямків, в яких необхідно здійснити інваріантний аналіз пошуку технічних рішень:

- СКУД самообслуговування (Автоматичні пропускні пункти до вбиралень).
- Конвеєрно-індустріальні адаптації (системи безперервного циркулювання страв у закладах громадського харчування з системами високої пропускної здатності).
- Миттєве пакування різних груп товарів (гастрономи самообслуговування).
- Багатофункціональні гастрономічні торгові автомати (автомат-кухар).

**Висновки.** В даній статті авторами порушено низьку питань: роль автоматизації як в науці так і в людському побуті; галузі розробки нових і застосування вже існуючих рішень; доцільність розробки власних способів і методів розрахунку в сучасних вендингових системах; напрямки розвитку існуючих систем самообслуговування.

#### Список бібліографічних посилань.

1. Чигарин Т.Г. Энциклопедия вендинг-бизнеса. *е-Журнал о вендинг-бизнесе*. 2011. URL: <http://www.e-vending.ru> (дата обращения: 01.02.2021).
2. Полушина Е. Как ускорить прибыльность автоматов. *«Vendingbusiness»*. 2008. No.4.: URL: <http://www.vendingbusiness.ru/> (дата обращения: 01.02.2021).
3. Золотницький А.Р. Теория и практика вендинга. ЭКО, 2004. №7. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/87023/08-Bobkov.pdf?sequence=1> (дата обращения: 01.02.2021).
4. Claude E. Shannon. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana. 1963. 63 p.
5. Стрелец И.А. *Новая экономика и информационные технологии*. Москва: Эксмо, 2003. 256 с.
6. Иванова М.А. Торговля через автоматы: мифы и реальность. ЭКО. 2006. № 2. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/87023/08-Bobkov.pdf?sequence=1> (дата обращения: 01.02.2021).

#### References

1. Chigarin, T.G. (2011). Encyclopedia of Vending Business. *e-Magazine about vending business*. URL: [http:// www. e-vending.ru](http://www.e-vending.ru) (date of access: 01.02.2021).
2. Polushina, E. (2008). How to speed up the profitability of machines. "*Vendingbusiness*", 4.: URL: <http://www.vendingbusiness.ru/> (date of access: 01.02.2021).
3. Zolotnitsky, A.R. (2004). Vending theory and practice. *ECO*, 7. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/87023/08-Bobkov.pdf?sequence=1> (date of access: 02/01/2021).
4. Claude, E. Shannon. (1963). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana. 63 p.
5. Strelets, I.A. (2003). *New economy and information technologies*. Moscow: Eksmo, 256 p.
6. Ivanova, M.A. (2006). Trading with vending machines: myths and reality. *ECO*, 2. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/87023/08-Bobkov.pdf?sequence=1> (date of access: 02/01/2021).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-17>

УДК 519.876.5

**Чибіряк Яна Іванівна**, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-0634-7609>

**Баранова Ірина Володимирівна**, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-3767-8099>

**Ніколаєнко Кароліна Олександрівна**, магістр,

Сумський державний університет, м. Суми, Україна.

## МЕТОД НАСКРІЗНОГО НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ ІТ-СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ІМІТАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННЮ У СЕРЕДОВИЩІ FLEXSIM ДЛЯ ПОШУКУ РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

**Чибіряк Я. І., Баранова І. В., Ніколаєнко К. О.** Метод наскрізного навчання студентів ІТ-спеціальностей імітаційному моделюванню у середовищі FlexSim для пошуку резервів підвищення ефективності автоматизованих систем. Розглянуто задачу впровадження у навчальний процес університету нової програмної технології FlexSim, призначеної для імітаційного моделювання автоматизованих виробничих, транспортних, обслуговуючих та інших систем. Проаналізовано ринок існуючих програмних продуктів для імітаційного моделювання і стан навчального процесу з питань імітаційного моделювання. Досліджено можливості і переваги програмної технології FlexSim та обґрунтовано доцільність її використання при підготовці ІТ-фахівців. Запропоновано базові навчальні моделі FlexSim для використання їх у навчальному процесі університету. Розроблено систему наскрізної підготовки спеціалістів у сфері ІТ з використанням технології моделювання і дослідження ефективності складних систем у середовищі FlexSim. Розробка може бути корисною університетам, які готують ІТ-фахівців, а також кафедрам, студенти яких вивчають дисципліни, пов'язані з імітаційним моделюванням складних систем.

**Ключові слова:** FlexSim, імітаційна модель, базові навчальні моделі, система, об'єкт моделі, середовище FlexSim, оптимізація, експеримент, дослідження систем, програма наскрізного навчання, професійні компетенції.

**Чибіряк Я. И., Баранова И. В., Николаенко К. А.** Метод сквозного обучения студентов IT-специальностей имитационному моделированию в среде FlexSim для поиска резервов повышения эффективности автоматизированных систем. Рассмотрена задача внедрения в учебный процесс университета новой программной технологии FlexSim, предназначенной для имитационного моделирования автоматизированных производственных, транспортных, обслуживающих и других систем. Проанализирован рынок существующих программных продуктов для имитационного моделирования и состояние учебного процесса по вопросам имитационного моделирования. Исследованы возможности и преимущества программной технологии FlexSim и обоснована целесообразность ее использования при подготовке IT-специалистов. Предложены базовые учебные модели FlexSim для использования их в учебном процессе университета. Разработана система сквозной подготовки специалистов в сфере IT с использованием технологии моделирования и исследования эффективности сложных систем в среде FlexSim. Разработка может быть полезной университетам, которые готовят IT-специалистов, а также кафедрам, студенты которых изучают дисциплины, связанные с имитационным моделированием сложных систем.

**Ключевые слова:** FlexSim, имитационная модель, базовые учебные модели, система, объект модели, среда FlexSim, оптимизация, эксперимент, исследования систем, программа сквозного обучения, профессиональные компетенции.

**Chybiriak Ya. I., Baranova I. V., Nikolaenko K. A.** A method of end-to-end training in simulation modeling using FlexSim to find reserves for improving the efficiency of automated systems, offered for IT students. The issue of introducing a new FlexSim software, which is used for simulation modeling of automated production, transport, maintenance and other systems into the educational process at the university is considered. The market of existing software products used for simulation modeling and the state of the educational process on simulation modeling are analyzed. The potential and advantages of FlexSim are investigated and its practicability for IT specialists is justified. Basic FlexSim training models are proposed for the university. A system of end-to-end training of IT specialists using the modeling technology and studying the efficiency of complex systems in FlexSim has been developed. This research can be useful for universities that train IT specialists, as well as departments whose students study disciplines related to simulation modeling of complex systems.

**Keywords:** FlexSim, simulation model, basic training models, system, model object, FlexSim, optimization, experiment, systems research, end-to-end training program, professional competencies.

**Постановка наукової проблеми.** Четверта промислова революція є сучасною технологічною стратегією, що направлена на підвищення ефективності виробничих процесів за рахунок досягнення високої гнучкості і оптимізації ресурсів [1]. Дана концепція ґрунтується на впровадженні у виробництво кіберфізичних систем [2,3]. Технічні об'єкти виробничого середовища, що оснащені комунікаційним інтерфейсом та інтегрованими можливостями обробки інформації, взаємодіючи через мережу Інтернет, оптимально адаптують свою поведінку під конкретні виробничі умови [4]. Даний підхід заснований на технологіях інтелектуального аналізу даних, інтернету речей та доповненої реальності [3-5], визначає появу виробничих систем нового типу, які забезпечують автоматичне управління процесами виробництва і збуту на протязі всього життєвого циклу продукту.

Часто технології навчання студентів не встигають за сучасним прогресом науки і виробництва. Тому сьогодні все частіше ставлять задачі адаптивного навчання [6], а також задачі швидкого варіантного аналізу можливих шляхів підвищення ефективності автоматизованих систем [7].

У зв'язку з цим, постановку задачі даної роботи визначимо таким чином – розробити метод наскрізного навчання студентів, метою якого є оволодіння сучасними засобами аналізу ефективності функціонування складних автоматизованих систем та пошуку можливих шляхів її підвищення з використанням програмного забезпечення FlexSim.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- дослідити актуальність переорієнтації навчального процесу на використання ПЗ FlexSim;
- описати типові проблемні ситуації підтримки прийняття рішень у автоматизованому виробництві і орієнтовані на підготовку фахівців прийоми використання імітаційних моделей FlexSim для їх розв'язання;

- описати досвід впровадження методики наскрізного використання програми FlexSim у навчальному процесі при підготовці студентів ІТ-напряму та подальші перспективи її використання.

**Аналіз досліджень.** Стратегія інтеграції сучасних інтернет-технологій з фізичними процесами у виробництві вперше була ініційована німецькими компаніями, як центральна основа політичної програми Industry 4.0, а пізніше прийнята практично всіма промислово розвиненими країнами [4]. Значна перевага стратегії – це підвищення конкурентоздатності підприємств, неперервний їх розвиток за рахунок індивідуального налаштування виробництва, підвищення ефективності використання ресурсів, зменшення витрат [3-5].

Сучасний стан промисловості України характеризується низькою якістю і конкурентоздатністю продукції та високими виробничими витратами [8,9]. Причини нинішнього відставання полягають у відсутності впровадження новітніх інформаційних технологій, низькій надійності програмного забезпечення, наявності застарілого технологічного обладнання, відсутності висококваліфікованих кадрів. Стан промислових підприємств та високі вимоги до ефективності виробництва створюють необхідність удосконалення виробничих систем, що завжди супроводжуються ризиками і невизначеністю. Виробничі процеси характеризуються великою кількістю елементів, складністю взаємозв'язків. Традиційні методи аналізу не дозволяють будувати моделі та описувати такі важливі характеристики як функція, багаторівнева організація, структура виробництва. У зв'язку з цим великого значення набуває розробка математичних моделей, що базується на системному підході до удосконалення виробничих процесів. Математичні моделі опису виробничих процесів можуть приймати дві основні форми: аналітичні та імітаційні. Аналітичні моделі використовують для дослідження простих систем. Імітаційне моделювання – це потужний метод дослідження стохастичних, складних, систем. Відтворюючи функції системи, імітаційна модель дозволяє врахувати дискретні та неперервні процеси, нелінійні закономірності, випадкові фактори, які не мають аналітичного опису [10]. Проведення експериментів, оптимізація імітаційних моделей за критеріями ефективності з необхідною точністю визначає вплив вхідних даних на показники ефективності.

Технічні системи функціонують по принципу систем масового обслуговування (СМО) [11], що складаються з основних частин: елементів потоку, черг та обслуговуючих пристроїв. Їх характеристики впливають на показники ефективності роботи. Основна задача полягає у відшуванні таких оцінок вхідних даних, за яких параметри ефективності системи набувають оптимальних значень.

У рамках стратегії Industry 4.0 моделювання є однією з ключових технологій [2,5]. Наприклад, у роботі [2] за допомогою імітаційних моделей оцінюється вплив властивостей різної архітектури децентралізованого управління виробництвом на тривалість виробничого циклу та здійснюється їх порівняння. Для досліджень було побудовано імітаційну модель виробничої системи, що складається з чотирьох операційних комплексів та робота-маніпулятора. Експерименти над моделлю проводилися з використанням детермінованих та стохастичних вхідних даних. На основі проведеного аналізу зроблено висновки про те, як різні архітектури підходять для Industry 4.0 та отримано комплекс дій щодо розробки засобів управління виробництвом в умовах Industry 4.0.

Практикою підтверджено, що імітаційне моделювання ефективно застосовують для вирішення таких задач [11]:

- реінжиніринг виробництва (приспосовування виробничих процесів до потреб споживачів; організація виробництва і управління на основі ефективної комп'ютеризації; рівномірний розподіл трудових, технологічних ресурсів);

- планування виробництва (прогнозування цілей та етапів виробничого процесу в умовах динамічних змін; розширення товарного асортименту; впровадження нових продуктів або послуг; застосування нової техніки; усунення слабких місць у виробничій системі);

– управління роботою складу (ліквідація простоїв у відділах складу; ідентифікація товарів; стратегія їх раціонального розміщення та групування; ефективність використання складських площ; мінімізація транспортних витрат);

– управління матеріальними потоками та запасами (регулювання, нормування, контроль запасів, сировини; прогнозування матеріальних потреб; визначення середнього часу доставки та частоти постачань; раціональний розподіл матеріально-виробничих запасів).

Серед набору програм, призначених для імітаційного моделювання і аналізу виробничих процесів, – Excel/Solver, Arena, MatLab/Simulink, GPSSWorld, Enterprise Dynamics та ін., найбільш сучасним інструментом, який підтримує сучасні методи моделювання (статистичне, неперервне, дискретне, агентне) є програмне забезпечення FlexSim.

У працях авторів [10-12] наведено приклади імітаційних моделей, розроблених у середовищі FlexSim і призначених для роботи зі студентами у європейських університетах. Зокрема, програма використовується у навчальних процесах польського Державного Східно-Європейського університету у Пшемислі, в університеті Ліхай (штат Пенсільванія, США), у Віндзорському університеті (Віндзор, Канада) та ін. [11]. За кордоном теоретичні та практичні аспекти імітаційного моделювання, широко впроваджуються на етапах проектування і оперативного управління виробничих процесів. Відома практика застосування FlexSim для оптимізації виробничих процесів відомими автомобільними компаніями Daimler-Chrysler, Audi, Toyota, Fiat [10].

Необхідно відмітити, що трансформація виробництва ставить нові задачі перед освітою. Передбачається, що майбутні випускники стикатимуться зі складними проблемами у промисловому середовищі на рівні управління [13]. Майбутній спеціаліст повинен володіти новими компетенціями у відповідності до вимог четвертої промислової революції [14,15]. У зв'язку з цим важливо звертати увагу на появу нових технологій, пов'язаних з Industry 4.0 та враховувати їх під час підготовки студентів інженерних і комп'ютерних спеціальностей з метою формування необхідних професійних навичок та компетенцій. У роботі [5] зазначається, що важливу роль для реалізації концепції Industry 4.0 відіграють людські ресурси. Дослідження, проведені у [5] визначають групу ключових компетенцій, необхідних для розвитку Industry 4.0, також автори доводять, що використання програмного забезпечення FlexSim у навчальному процесі, дослідницьких проектах, дипломних та курсових роботах сприяє розвитку професійних компетенцій у напрямку Industry 4.0.

Таким чином, очевидно що:

– одним з найбільш сучасних програмних середовищ імітаційного моделювання складних систем є програма FlexSim;

– сучасне автоматизоване виробництво швидкими темпами запроваджує підходи варіантного імітаційного моделювання з використанням технологій FlexSim;

– побудова навчального процесу для підготовки студентів IT-напряму у найбільш рейтингових університетах світу орієнтується на використанні технологій імітаційного моделювання FlexSim, про що свідчать окремі публікації;

– в Україні відсутній, як практичний досвід використання FlexSim, так і систематичні дослідження з питань методології і методики впровадження даної програмної технології у навчальний процес університетів.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

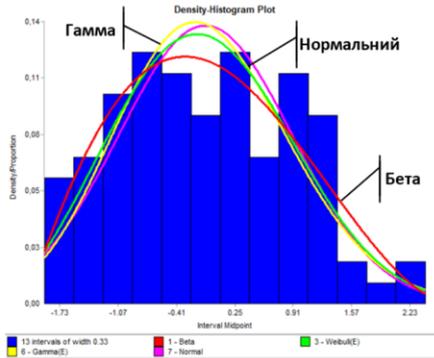
Проведемо аналіз доцільності навчання студентів прийомом прийняття рішень з використанням FlexSim у задачах управління складними автоматизованими системами.

Програма FlexSim – інтегроване середовище побудови і дослідження імітаційних моделей. На початкових етапах моделювання значна увага приділяється встановленню законів розподілу ймовірностей, що характеризують вхідні дані, зібрані з модельованої системи. Невірно визначений закон розподілу призводить до помилкової оцінки параметрів ефективності системи [11]. FlexSim містить вбудований інструмент ExpertFit, який в автоматичному режимі аналізує вхідні дані та оцінює їх на відповідність певному закону розподілу. Процес аналізу складається з таких етапів: побудова гістограми частот; підбір закону розподілу; статистичне уточнення параметрів закону розподілу.

У виробничих системах закони розподілу відображають стохастичні процеси: швидкість виконання операцій (обробки, упакування, зборки), інтенсивність надходження комплектуючих та сировини на робочу дільницю, час ремонту обладнання та ін. На рис. 1, а зображено гістограму частот, побудовану засобами ExpertFit за числовими даними, що описують тривалість перебування деталей у проміжній зоні перед обробкою. Аналіз графіків показує, що закон розподілу Beta краще відповідає шаблону гістограми. Розрахунок за критеріями Колмогорова-Смірнова та  $\chi$ -квадрат уточнює відповідність обраної функції розподілу та її параметрів. Якщо випадковий процес не вдається описати

параметричним законом розподілу, програмою FlexSim передбачено використання даних у табличному форматі без функціонального опису (рис. 1, б).

На етапі побудови імітаційної моделі відтворюється структура системи. 3D-об'єкти FlexSim, призначені для побудови моделей, містяться у наборі стандартних бібліотек програми, розділені по категоріях за функціональністю, що визначає зручність їх використання для реалізації як дискретних так і неперервних процесів. При побудові моделей реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач, з набору стандартних блоків, створює модель і здійснює розрахунки. Для кожного об'єкту встановлюються відповідні параметри, що відповідають вимогам модельованої системи.



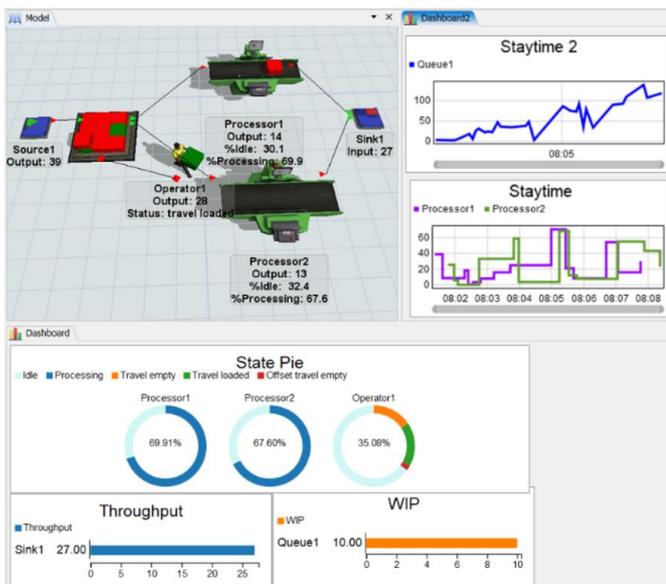
а

Row	Percent	ProcessTime
Row 1	0	0
Row 2	3	1
Row 3	3	4
Row 4	12	5
Row 5	16	7
Row 6	19	10
Row 7	20	11
Row 8	22	15
Row 9	10	16
Row 10	7	12

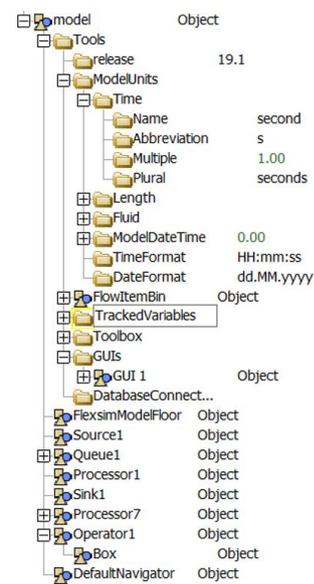
б

Рис. 1. Ідентифікація закону розподілу вибірових даних: підбір параметричного закону (а), опис емпіричних даних таблицею значень (б)

На рис. 2, а представлено модель, що складається із джерела надходження деталей (Source); фіксованих ресурсів (Processor 1, 2, що здійснюють обробку), черги (місце очікування елементів потоку перед виконанням обробних операцій); мобільного ресурсу (оператор, який переміщує деталі на обробку). З'єднання між фіксованими ресурсами задають напрямок руху матеріальних потоків. У текстовому режимі відображаються статистичні дані по кожному об'єкту. Більш детальну статистику демонструють графіки та діаграми, розташовані на інформаційних панелях. Тип і вид графіків задаються користувачем та залежать від досліджуваних показників ефективності системи.



а



б

Рис. 2. Приклад імітаційної моделі у середовищі FlexSim: модель з показниками статистики (а), дерево моделі (б)

Кругові діаграми відображають завантаженість ресурсів та дозволяють виявити періоди з більшим робочим навантаженням. Графіки показують середній час очікування деталей у черзі (Staytime 2); тривалість процесу обробки (Staytime); незавершене виробництво (WIP) та продуктивність системи (Throughput). Зручний програмний інтерфейс, підтримка тривимірної анімації та реалістичної графіки дозволяє аналізувати виробничі процеси на предмет ризиків, залучати інших спеціалістів та експертів з організації до пошуку проблем, взаємодіяти із замовниками проекту, враховувати пропозиції експертів та робочих груп щодо покращення роботи системи, вносити відповідні зміни до моделі та оцінювати ефективність цих змін.

Роботою моделі керують дані. У FlexSim можливий імпорт/експорт інформації з інших програмних середовищ (наприклад, з MS Excel), зчитування з баз даних (MySQL, Oracle, SQLite та ін.), створення глобальних таблиць з даними.

Слід відмітити, що моделі систем у середовищі FlexSim розробляються на основі об'єктно-орієнтованого підходу, тому крім тривимірного вигляду модель можна представити у вигляді деревовидної структури ієрархічно підпорядкованих об'єктів. Дерево забезпечує ефективний засіб пошуку та звернення до робочих змінних, які використовуються під час запуску, експериментів та оптимізації моделей. Рис. 2, б демонструє дерево моделі, зображеної на рис. 2, а. Вузли дерева містять дані і функції об'єктів, що визначають їх властивості і дії. Назви та символічне позначення вузлів залежать від типу даних, які зберігаються.

Підтримка об'єктно-орієнтованого підходу надає можливість реалізації агентного моделювання. У FlexSim відсутні спеціальні бібліотечні блоки, що забезпечують функціональність агентів. Для опису правил взаємодії і стану агентів системи використовується вбудована мова сценаріїв FlexScript та мова програмування C++. За допомогою програмних команд також налаштовується обмін повідомленнями між об'єктами, – це забезпечує ефективну координацію та управління роботою моделі. Таким чином, існує можливість налагодження інформаційних потоків і зворотніх зв'язків між структурними елементами складних систем.

Імітаційні моделі можуть будуватися для одноразового використання, наприклад, при вирішенні задачі оптимального розподілу ресурсів між підрозділами або для багаторазового використання – при розробці паралельних та альтернативних маршрутів виготовлення і обробки виробів. З одноразовими моделями, як правило, працюють досвідчені користувачі, обізнані з імітацією. З багатоцільовими моделями працюють спеціалісти та експерти певної предметної сфери. Це створює необхідність реалізації графічного інтерфейсу, призначеного для зручного введення даних та отримання результатів у зрозумілому форматі. Приклад моделі системи підтримки прийняття рішень на основі імітаційної моделі (рис. 3) був розроблений державним університетом штату Міссісіпі для оцінювання ефективності роботи виробничої системи у рамках впровадження концепції ощадливого виробництва (Leanproduction). Система розроблена у середовищі FlexSim з використанням GUI-компонувальника [11].

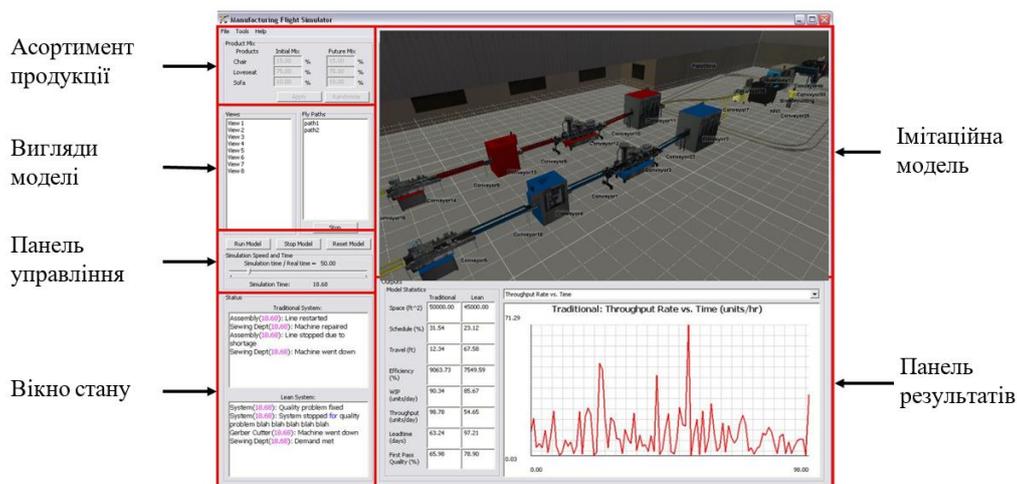


Рис. 3. Приклад побудови моделі СППР у середовищі FlexSim

У центрі зображена модель, до лівої частини інтерфейсу вводяться вхідні дані, нижня частина призначення для виведення показників ефективності системи у графічному і табличному форматах.

Дана модель взаємодіє з базами даних, з процедурами аналізу і оптимізації для підтримки пошуку ефективних рішень.

Ключовим аспектом 4-ї промислової революції є створення «цифрових двійників» (Digital Twin) систем, що виконують функцію віддаленого моніторингу та управління виробничим процесом у режимі реального часу. Використання FlexSim для практичної реалізації даного підходу забезпечується можливістю інтеграції програми з інформаційними системами підприємства SAP (ERP, MRP, CRM та ін.), з базами даних, підтримка стандартів CALS-технологій [5,10,12].

До переваг FlexSim слід віднести наявність зручних засобів проведення експериментів та розрахунку їх результату. Вбудований модуль ExpertFit за одне виконання здійснює запуск множини сценаріїв та прогонів моделі у межах кожного сценарію.

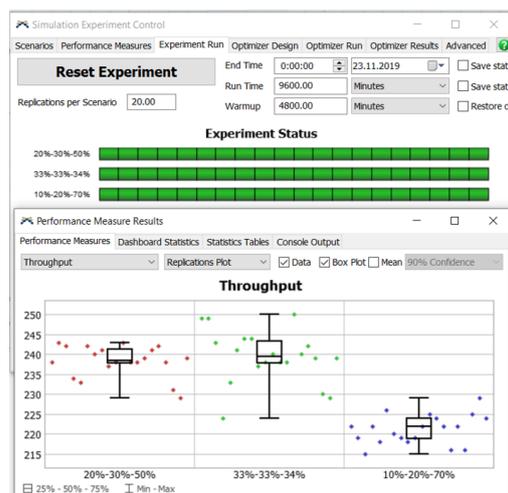
Для проведення експериментів необхідно задати:

- кількість сценаріїв (експериментів);
- кількість прогонів (запусків моделі) та їх тривалість у межах кожного сценарію;
- період прогріву моделі.

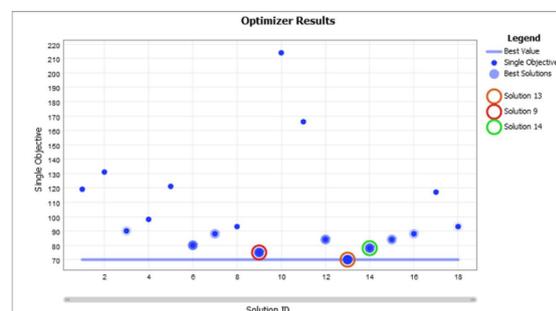
На рис. 4, а наведено приклад проведення експериментів з моделлю при дослідженні впливу кількості асортименту оброблюваних деталей на продуктивність системи. З моделлю виконано 3 експерименти по 20 прогонів. Період прогріву триває 80 год., тривалість прогонів – 160 год. Результати експерименту дозволили встановити, що найбільша продуктивність буде забезпечена при відсоткових співвідношеннях асортименту продукції 33%-33%-34% 1-го, 2-го та 3-го типів деталей відповідно. Таким чином, за результатами проведених експериментів обираються кращі параметри системи шляхом аналізу можливих альтернатив. Для організацій такий підхід типу «що буде, якщо...» забезпечує значну економію часових і грошових витрат при прийнятті рішень. За необхідності отримані результати можна експортувати у форматі html, csv для створення, друку звітів та подальшого їх аналізу.

Експериментатор FlexSim під час роботи автоматично виконує розподіл програмних потоків між наявними комп'ютерними ядрами процесора, внаслідок чого прогони моделі виконуються паралельно. Тому реалізація експериментів для складних систем зі значною кількістю вхідних даних потребує мінімального часу. Експерименти призначені для оцінювання окремих сценаріїв моделі будуються аналітиками для встановлених значень вхідних даних. Тому результати експериментів залежать від практичного досвіду експертів.

Інструмент оптимізації OptQuest, вбудований у FlexSim використовує еволюційні алгоритми пошуку оптимальних рішень за визначеними критеріями. Рис. 4, б демонструє результат роботи оптимізатора.



а



б

Рис. 4. Приклад дослідження моделі: результати експериментів (а), результати оптимізації (б)

У якості цільової функції обрано тривалість виробничого циклу, досліджувані параметри системи – розмір буферної зони та дисципліна обслуговування в черзі. Програмою було знайдено 18 рішень. На графіку зазначено порядок, у якому вони отримані. Оптимальним є рішення 13, при якому тривалість виробничого циклу набуває мінімального значення –71 хв.

Робота оптимізатора продовжується, доки не виконано одну з умов [11]:

- розглянуто усі можливі значення змінних рішення;
- завершився інтервал часу, відведений на пошук рішень;
- отримано задану кількість рішень.

Проведений аналіз показує, що FlexSim є ведучим програмним інструментом для моделювання і дослідження систем. До суттєвих функціональних можливостей програмного забезпечення FlexSim відносять:

- моделювання складних виробничих ситуацій;
- аналіз завантаження робочих ресурсів;
- підтримка стандартів CALS-технологій;
- інтеграція моделей з інформаційними системами підприємства та з базами даних;
- оптимальний розподіл ресурсів між підрозділами;
- мультиагентне моделювання;
- реалістична 3D-анімація та візуалізація процесів;
- наявність зручних засобів аналізу, проведення експериментів та оптимізації систем.

Враховуючи потребу організацій у кваліфікованих спеціалістах, здатних застосовувати сучасні інформаційні технології для вирішення виробничих задач, у Сумському державному університеті вперше впроваджено комплексну навчальну програму, що забезпечує наскрізну підготовку спеціалістів з використанням програмного забезпечення FlexSim. У структурі кафедри комп'ютерних наук створено навчально-науковий центр імітаційного моделювання та аналізу систем (НЦ ІМАС), діяльність якого полягає у вдосконаленні навчального процесу при підготовці студентів. Створення навчального центру стало можливим завдяки грантовій діяльності польського фонду InterMarium, представниками якого було організовано і проведено навчальний тренінг для закладів вищої освіти України та надано ліцензоване програмне забезпечення FlexSim для впровадження у навчальний процес. Комплексна програма апробована при підготовці студентів бакалаврського та магістерського циклу спеціальності комп'ютерні науки. Основна мета – підготовка ІТ-спеціаліста, що володіє практично-орієнтованими компетенціями, необхідними для вирішення задач, актуальних в умовах виробництва.

У табл. 1 наведено перелік дисциплін і тем, необхідних для забезпечення програми наскрізної підготовки.

Табл. 1. Дисципліни, що входять до програми наскрізного навчання засобом імітаційного моделювання (фрагмент)

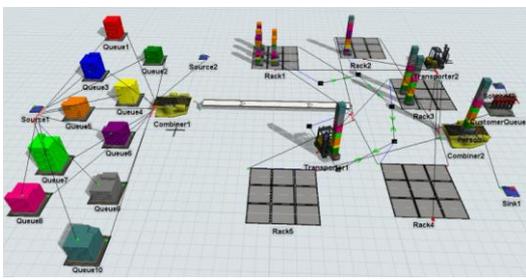
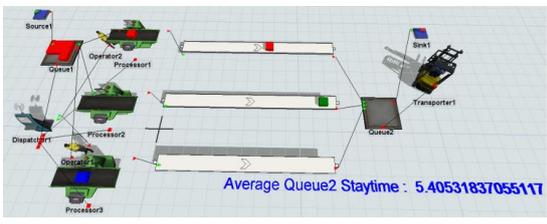
Дисципліни	Курс викладання	Назви тем
Організація та обробка електронної інформації	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– аналіз програмного забезпечення для моделювання</li> <li>– інтегроване середовище імітаційного моделювання FlexSim</li> <li>– використання імітаційного моделювання для вирішення практичних задач</li> </ul>
Основи об'єктно-орієнтованого програмування	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ієрархічна архітектура програмного забезпечення FlexSim</li> <li>– базові основи мови програмування FlexScript</li> <li>– об'єктно-орієнтоване програмування мовою C++</li> <li>– програмування об'єктів та агентів у середовищі FlexSim</li> </ul>
Комп'ютерна графіка	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– розробка 3D-об'єктів імітаційних моделей та їх імпорт у середовище FlexSim</li> </ul>
Платформи корпоративних інформаційних систем	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– методи та засоби інтеграції імітаційних моделей із корпоративними системами SAP (ERP, MRP, CRM та ін.)</li> </ul>
Моделювання систем	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– моделювання та аналіз систем масового обслуговування</li> <li>– моделювання випадкових подій;</li> </ul>

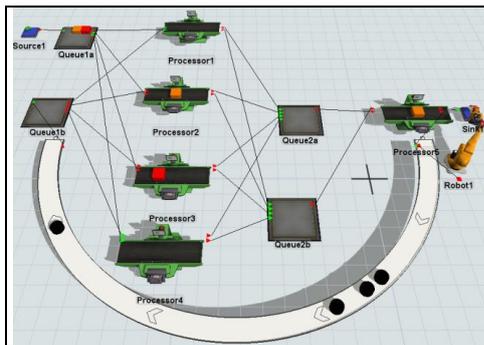
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– дискретно-подійне моделювання у середовищі FlexSim</li> <li>– моделювання неперервних процесів засобами FlexSim</li> <li>– побудова логіки моделі засобами ProcessFlow</li> <li>– багатосценарні експерименти та оптимізація моделей</li> </ul>
Організація баз даних та знань	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– способи організації вхідних даних імітаційної моделі</li> <li>– інтеграція програмного середовища FlexSim із базами даних</li> </ul>
Управління ІТ-проектами	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>– життєвий цикл імітаційного моделювання та аналізу (ІМА)</li> <li>– розподіл ролей та обов'язків у проекті ІМА</li> <li>– управління проектом моделювання</li> </ul>
Теорія прийняття рішень	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>– системи підтримки прийняття рішень, засновані на імітаційних моделях</li> </ul>

Модель наскрізної підготовки об'єднує ключові дисципліни професійно-практичного спрямування з 1-го по 6-й курс включно та реалізується наступними видами діяльності: комплексна теоретична підготовка; комплексна практична підготовка; курсове проектування; дипломне проектування; науково-дослідні проекти.

У межах програми наскрізної підготовки значна увага приділяється практичній складовій. Для забезпечення навчального процесу, у середовищі FlexSim розроблено набір 25-ти базових імітаційних моделей виробничих та обслуговуючих систем. Фрагмент моделей та їх короткий опис наведено у табл. 2.

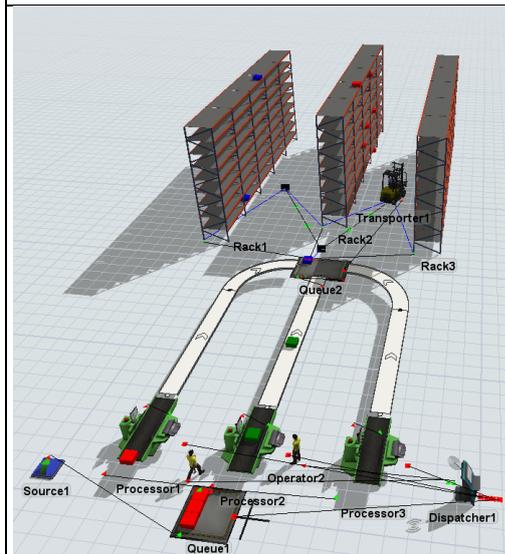
Табл. 2. Бібліотека імітаційних моделей FlexSim для навчального процесу (фрагмент)

<b>Модель 1</b>	
	<p><i>Сфера застосування:</i> обслуговування.</p> <p><i>Опис:</i> модель відображає комплектацію продукції для клієнтів, кожен з яких має свій профіль замовлення. Постачання окремих видів продукції та надходження клієнтів – стохастичні величини.</p> <p><i>Результати:</i> визначено режим роботи обслуговуючих ресурсів системи при яких мінімізується час формування замовлень.</p>
<b>Модель 2</b>	
	<p><i>Сфера застосування:</i> виробництво.</p> <p><i>Опис:</i> три типи виробів надходять до системи, потрапляють до буферної зони 1, обробляються операторами на верстатах, через стрічку конвеєра доставляються до буферної зони 2 та вивозяться транспортером із системи.</p> <p><i>Результати:</i> досліджено вплив різних дисциплін упорядкування виробів у черзі (LIFO, FIFO) на продуктивність системи.</p>
<b>Модель 3</b>	



*Сфера застосування:* виробництво.  
*Опис:* 4 типи деталей надходять до системи, у залежності від типу обробляються на одному із 4-х верстатів. Робот-маніпулятор виконує контроль якості деталей. Браковані деталі повертаються на повтор технологічних операцій та обробляються поза чергою.  
*Результат моделювання:* виявлення вузьких місць у роботі системи: простоїв обладнання, місць накопичення незавершеного виробництва.

Модель 4



*Сфера застосування:* виробництво.  
*Опис:* оператори виконують обробку 3-х типів деталей, які транспортерною стрічкою доставляються до буферної зони, звідки переміщуються навантажувачом до стелажів складського приміщення та у залежності від типу деталі розташовуються на відповідних полицях. Оператори та обладнання мають простої в роботі.  
*Результати:* встановлено, яка кількість робочих ресурсів (операторів та навантажувачів) потрібна для забезпечення необхідної продуктивності системи; досліджено, як впливає заміна ручного труда автоматизованим на пропускну здатність системи.

Теоретична та практична частина програми крім вивчення методів розробки, побудови імітаційних моделей, їх дослідження та оптимізації також спрямована на формування вмінь працювати із замовниками, готувати технічну і користувацьку документацію, здійснювати валідацію, верифікацію та технічну підтримку імітаційних моделей.

З метою забезпечення міжпредметних зв'язків, проведено роботу по узгодженню робочих програм навчальних курсів та відпрацьовано методик організації навчального процесу. При цьому враховано рекомендації ради роботодавців, до складу якої входять спеціалісти ведучих підприємств Сумського регіону. У рамках виконання дипломних та науково-дослідницьких робіт особлива увага приділяється проектам, теми яких є актуальними, а результати можуть бути впроваджені у практику підприємств і організацій.

Випускники, які засвоїли комплексну програму підготовки, можуть працювати бізнес-аналітиками виробничих систем. Такий спеціаліст здатен у рамках обраної методології розробити, реалізувати імітаційну модель, перевірити її на правильність та використати для аналізу і оптимізації виробничих процесів. Успішна робота в області моделювання бізнес-процесів забезпечується сформованими практичними вміннями. Реалізація та дослідження імітаційних моделей, пов'язаних з виробничими та обслуговуючими процесами розвиває у студентів практичні компетенції, пов'язані з цими сферами та дозволяє отримати необхідні навички роботи з програмним забезпеченням.

У ході навчального процесу рекомендується надавати студентам можливість проводити експерименти з моделями, реалізовувати власні пропозиції та ідеї щодо покращення роботи систем, які можуть полягати у зміні взаємного розташування обладнання, зменшенні або збільшенні їх кількості, зміні статистичних розподілів та параметрів системи. Висока гнучкість і зручність програмного середовища дозволяє швидко оцінювати результати виконаних змін та викликає зацікавленість у процесі навчання.

Моделювання є важливим інструментом для підтримки процесів прийняття рішень при вирішенні задач, пов'язаних з удосконаленням систем. Побудова та дослідження розроблених типових моделей у середовищі FlexSim (табл. 2) сприяє розвитку професійних компетенцій студентів.

**Висновки.** У зв'язку зі зростанням потужності комп'ютерних систем, з'являється можливість переходу від складних, недосконалих і мало зрозумілих аналітичних методів до моделей імітаційного моделювання. Існує множина інформаційних середовищ побудови моделей. Серед них найбільшого розповсюдження набули програми MatLab/Simulink, Arena, AnyLogic. Одним із найбільш нових і перспективних засобів імітаційного моделювання є система FlexSim.

Проведені дослідження показали:

- застосування програмного забезпечення FlexSim у навчальному процесі сприяє формуванню у випускників ключових компетенцій у напрямку Industry 4.0;
- на Україні відсутній практичний досвід впровадження програми FlexSim у закладах вищої освіти.

У зв'язку з цим виникає потреба у ефективному навчанні студентів різних курсів базовим концепціям та можливостям імітації. На кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету було розроблено комплексну програму наскрізного навчання засобами імітаційного моделювання з використанням новітнього програмного забезпечення FlexSim.

Основний вклад цієї роботи полягає у наданні отриманого практичного досвіду та навчальної інформації по використанню сучасних комп'ютерних технологій імітаційного моделювання.

Набутий досвід дозволяє стверджувати, що:

- 1) Використання FlexSim є можливим при наскрізній підготовці студентів комп'ютерних спеціальностей з 1-го по 5-й курси включно.
- 2) При підготовці бакалаврів навчальний процес рекомендується спрямовувати на:
  - методи збору та аналізу інформації про систему;
  - встановлення законів розподілу вхідних даних;
  - побудову концептуальної моделі системи;
  - визначення способів зберігання вхідних даних;
  - розробку та реалізацію імітаційних моделей системи;
  - розробку інтерфейсів користувача;
  - збір статистики та аналіз результатів моделювання.
- 3) У магістерському циклі рекомендовано більшу увагу приділяти питанням:
  - валідації та верифікації імітаційних моделей;
  - плануванню та проведенню експериментів з моделями;
  - одно- та багатокритеріальній оптимізації систем;
  - інтерпретації результатів моделювання;
  - розробці рекомендацій щодо підвищення ефективності функціонування систем.
- 4) Найбільш перспективними та придатними для набуття практичного досвіду роботи з програмою FlexSim вважаються моделі, що відображають виробничі і обслуговуючі процеси.

Застосування розроблених базових імітаційних моделей, як елементу фахової підготовки, дозволяє систематизувати знання з урахуванням їх ролі і місця у вирішенні прикладних задач певної галузі. З'являється можливість будувати практико-орієнтовану підготовку спеціалістів, спрямовану на аналіз та дослідження, що забезпечує розвиток аналітичного мислення, формування умінь по застосуванню отриманих навичок у нових умовах діяльності, пов'язаних із запровадженням концепцій Індустрії 4.0.

Розроблені типові імітаційні моделі у середовищі FlexSim та методи їх дослідження можуть бути рекомендовані для масового розповсюдження і впровадження у навчальний процес закладів вищої освіти, що здійснюють підготовку фахівців для ІТ-сфери.

#### Список бібліографічного опису

1. Eichinger, P., Hofig, B., & Richter, C. (2017). Education 4.0 for mechatronics – agile and smart. 2017 International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM), 1–7. <https://doi.org/10.1109/REM.2017.8075231>
2. Meissner, H., Ilsen, R., & Aurich, J. C. (2017). Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 62, 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.113>
3. Matzler, S., & Wollschlaeger, M. (2017). Interchange format for the generation of functional elements for industrie 4.0 components. *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 5453–5459. <https://doi.org/10.1109/IECON.2017.8216944>
4. Lang, D., Friesen, M., Ehrlich, M., Wisniewski, L., & Jasperneite, J. (2018). Pursuing the Vision of Industrie 4.0: Secure Plug-and-Produce by Means of the Asset Administration Shell and Blockchain Technology. 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 1092–1097. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2018.8471939>

5. Werner-Lewandowska, K., Grzelczak, A., Pawlewski, P., & Kosacka-Olejnik, M. (2019). FlexSim Use in Didactics, Thesis, and Research in the Context of Competences for the Industry 4.0 (pp. 3–16). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04519-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04519-7_1)
6. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Kisel, N., & Sedova, N. (2020). The method of teaching IT students computer analysis of ergonomic reserves of the effectiveness of automated control systems. *E3S Web of Conferences*, 166, 10017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016610017>
7. Lavrov, E., Pasko, N., & Siryk, O. (2020). Information technology for assessing the operators working environment as an element of the ensuring automated systems ergonomics and reliability. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 570–575. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235497>
8. Иванова, М. В., & Санникова, С. Ф. (2016). Скрытые тенденции экономического развития промышленности Украины. *Траектория Науки*, 2, № 4, 2.127-2.138. [www.pathofscience.org](http://www.pathofscience.org)
9. Omelyanenko, V. (2019). Analysis of Institutional and Evolutionary Aspect of High-tech Sectors Development on Instrument Engineering Example. *Herald of the Economic Sciences of Ukraine*, 2(37), 93–100. [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2\(37\).93-100](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2(37).93-100)
10. Kaczmar, I. (2019). Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku FlexSim. Wydawnictwo Naukowe PWN SA.
11. Beaverstock, Malcolm Greenwood, A., & Nordgren, W. (2017). Applied Simulation: Modeling and Analysis Using Flexsim. FlexSim Software Products. <https://www.amazon.com/Applied-Simulation-Modeling-Analysis-Flexsim/dp/0983231974>
12. Kaczmar, I. (2016). Poprawa ekonomiki struktury produkcji na podstawie symulacji zdarzeń dyskretnych. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska*, z. 92, 131–141.
13. Greenwood, A. G. (2017). Striving for ubiquity of simulation in operations through educational enhancements. 2017 Winter Simulation Conference (WSC), 4252–4263. <https://doi.org/10.1109/WSC.2017.8248131>
14. Korytkowski, P. (2017). Competences-based performance model of multi-skilled workers with learning and forgetting. *Expert Systems with Applications*, 77, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.004>
15. Palšaitis, R., Čižiūnienė, K., & Vaičiūtė, K. (2017). Improvement of Warehouse Operations Management by Considering Competencies of Human Resources. *Procedia Engineering*, 187, 604–613. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.420>

#### References

1. Eichinger, P., Hofig, B., & Richter, C. (2017). Education 4.0 for mechatronics – agile and smart. 2017 International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM), 1–7. <https://doi.org/10.1109/REM.2017.8075231>
2. Meissner, H., Ilsen, R., & Aurich, J. C. (2017). Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 62, 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.113>
3. Matzler, S., & Wollschlaeger, M. (2017). Interchange format for the generation of functional elements for industrie 4.0 components. IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 5453–5459. <https://doi.org/10.1109/IECON.2017.8216944>
4. Lang, D., Friesen, M., Ehrlich, M., Wisniewski, L., & Jasperneite, J. (2018). Pursuing the Vision of Industrie 4.0: Secure Plug-and-Produce by Means of the Asset Administration Shell and Blockchain Technology. 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 1092–1097. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2018.8471939>
5. Werner-Lewandowska, K., Grzelczak, A., Pawlewski, P., & Kosacka-Olejnik, M. (2019). FlexSim Use in Didactics, Thesis, and Research in the Context of Competences for the Industry 4.0 (pp. 3–16). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04519-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04519-7_1)
6. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Kisel, N., & Sedova, N. (2020). The method of teaching IT students computer analysis of ergonomic reserves of the effectiveness of automated control systems. *E3S Web of Conferences*, 166, 10017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016610017>
7. Lavrov, E., Pasko, N., & Siryk, O. (2020). Information technology for assessing the operators working environment as an element of the ensuring automated systems ergonomics and reliability. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 570–575. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235497>
8. Ivanova, M.V., & Sannikova, S.F. (2016). Latent tendencies of economic development of industry in Ukraine. *Trajectory of Science*, 2, № 4, 2.127-2.138. [www.pathofscience.org](http://www.pathofscience.org)
9. Omelyanenko, V. (2019). Analysis of Institutional and Evolutionary Aspect of High-tech Sectors Development on Instrument Engineering Example. *Herald of the Economic Sciences of Ukraine*, 2(37), 93–100. [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2\(37\).93-100](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2019.2(37).93-100)
10. Kaczmar, I. (2019). Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku FlexSim. Wydawnictwo Naukowe PWN SA.
11. Beaverstock, Malcolm Greenwood, A., & Nordgren, W. (2017). Applied Simulation: Modeling and Analysis Using Flexsim. FlexSim Software Products. <https://www.amazon.com/Applied-Simulation-Modeling-Analysis-Flexsim/dp/0983231974>
12. Kaczmar, I. (2016). Poprawa ekonomiki struktury produkcji na podstawie symulacji zdarzeń dyskretnych. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska*, z. 92, 131–141.
13. Greenwood, A. G. (2017). Striving for ubiquity of simulation in operations through educational enhancements. 2017 Winter Simulation Conference (WSC), 4252–4263. <https://doi.org/10.1109/WSC.2017.8248131>
14. Korytkowski, P. (2017). Competences-based performance model of multi-skilled workers with learning and forgetting. *Expert Systems with Applications*, 77, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.004>
15. Palšaitis, R., Čižiūnienė, K., & Vaičiūtė, K. (2017). Improvement of Warehouse Operations Management by Considering Competencies of Human Resources. *Procedia Engineering*, 187, 604–613. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.420>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-18>

УДК 510.635:004.891(045)

**Вавіленкова Анастасія Ігорівна**, д.т.н., професор,<https://orcid.org/0000-0002-9630-4951>

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕТАПУ ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ SCRUM-КОМАНДОЮ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ VISUAL STUDIO

**Вавіленкова А. І. Особливості реалізації етапу проєктування програмного продукту Scrum-командою у програмному середовищі Visual Studio.** Проаналізовано та описано роль членів командного проєкту за методологією Scrum. Зосереджено увагу на важливості проєктування, як одного з основних етапів життєвого циклу розробки програмного забезпечення. Висвітлено основні моменти процесу реалізації етапу проєктування в програмному середовищі Visual Studio на базі Team Foundation Server з використанням шаблону Scrum. Це дає змогу відтворити всі характерні для Scrum-команди артефакти та візуалізувати процеси вирішення поставлених задач, а за допомогою UML-діаграм отримати необхідні моделі для проєктування роботи команди.

**Ключові слова:** командний проєкт, проєктування, Product Backlog, інтерфейс, UML-діаграма, Visual Studio.

**Вавіленкова А. И. Особенности реализации этапа проектирования программного продукта Scrum-командой в программной среде Visual Studio.** Проанализирована и описана роль членов командного проекта согласно методологии Scrum. Внимание сосредоточено на важности проектирования, как одного из основных этапов жизненного цикла разработки программного обеспечения. Высветлены основные моменты процесса реализации этапа проектирования в программной среде Visual Studio на основании Team Foundation Server с использованием шаблона Scrum. Это дает возможность воссоздать все характерные для Scrum-команды артефакты и визуализировать процессы решения поставленных задач, а с помощью UML-диаграмм получить необходимые модели для проектирования работы команды.

**Ключевые слова:** командный проект, проектирование, Product Backlog, интерфейс UML-диаграмма, Visual Studio.

**Vavilenkova A. Features of realization of a designing stage of a software product by Scrum-command in the Visual Studio software environment.** It was analyzed and described the role of team project members according to the Scrum methodology. The focus is on the importance of design as one of the main stages of the software development life cycle. The article highlights the main points of the process of implementation of the design stage in the Visual Studio software environment based on Team Foundation Server using the Scrum template. This makes it possible to reproduce all the artifacts characteristic of the Scrum-team and visualize the processes of solving problems, and with the help of UML-diagrams to obtain the necessary models for designing the work of the team.

**Keywords:** team project, design, Product Backlog, interface, UML-diagram, Visual Studio.

### Постановка проблеми.

Широке використання у повсякденному житті людини різноманітних видів інформаційних технологій внесло в область розробки програмного забезпечення кардинальні зміни щодо процесів, концепцій, алгоритмів, та методологій розробки програмних продуктів. Не виключенням стала сфера командної організації роботи на підприємствах. Тому на сьогоднішній день у сфері ІТ актуальною є задача ефективного планування та проєктування роботи команди з метою створення якісних програмних продуктів [1].

Вирішення цієї задачі передбачає не лише безпосередню розробку, але й ретельну роботу над плануванням всіх робочих процесів. Саме для таких потреб в останні роки використовується гнучка методологія Scrum [2], що допомагає командам проводити спільну роботу, представляє собою структуру, у якій основний акцент переноситься на якість процесів, а створення продукту поділяється на декілька частин, що дає можливість робити висновки з досвіду попередніх етапів, засвоювати принципи самоорганізації та постійно удосконалюватися [3].

При всій активності просування на ІТ-ринку України нових концепцій розробки програмного забезпечення, вся практична сторона реалізації, як правило, розкривається тільки при роботі над реальними проєктами у компаніях або завдяки досвіду розробників на різноманітних чатах або у блогах.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Будь-який командний проєкт представляє собою колекцію робочих елементів, коду, текстів та додатків, які охоплюють всі артефакти, які використовуються у життєвому циклі програмного забезпечення [4]. Програмно командний проєкт можна побудувати на основі шаблону, що складається із набору XML-файлів [5]. Таким шаблоном і слугує обрана методологія, за якою функціонуватиме командний проєкт.

Методологія Scrum передбачає те, що програмний продукт розробляється за декілька ітерацій, спринтів, з фіксованою тривалістю, розбиваючи таким чином великі проєкти на невеликі задачі [6].

Scrum – це також кістяк процесу, який включає не тільки набір методів, але і попередньо визначених ролей [7]. А саме, при формуванні Scrum-команди виділяють три основні ролі: власник продукту – Product Owner, курівник проєкту – Scrum-master та командна розробників (рис. 1).

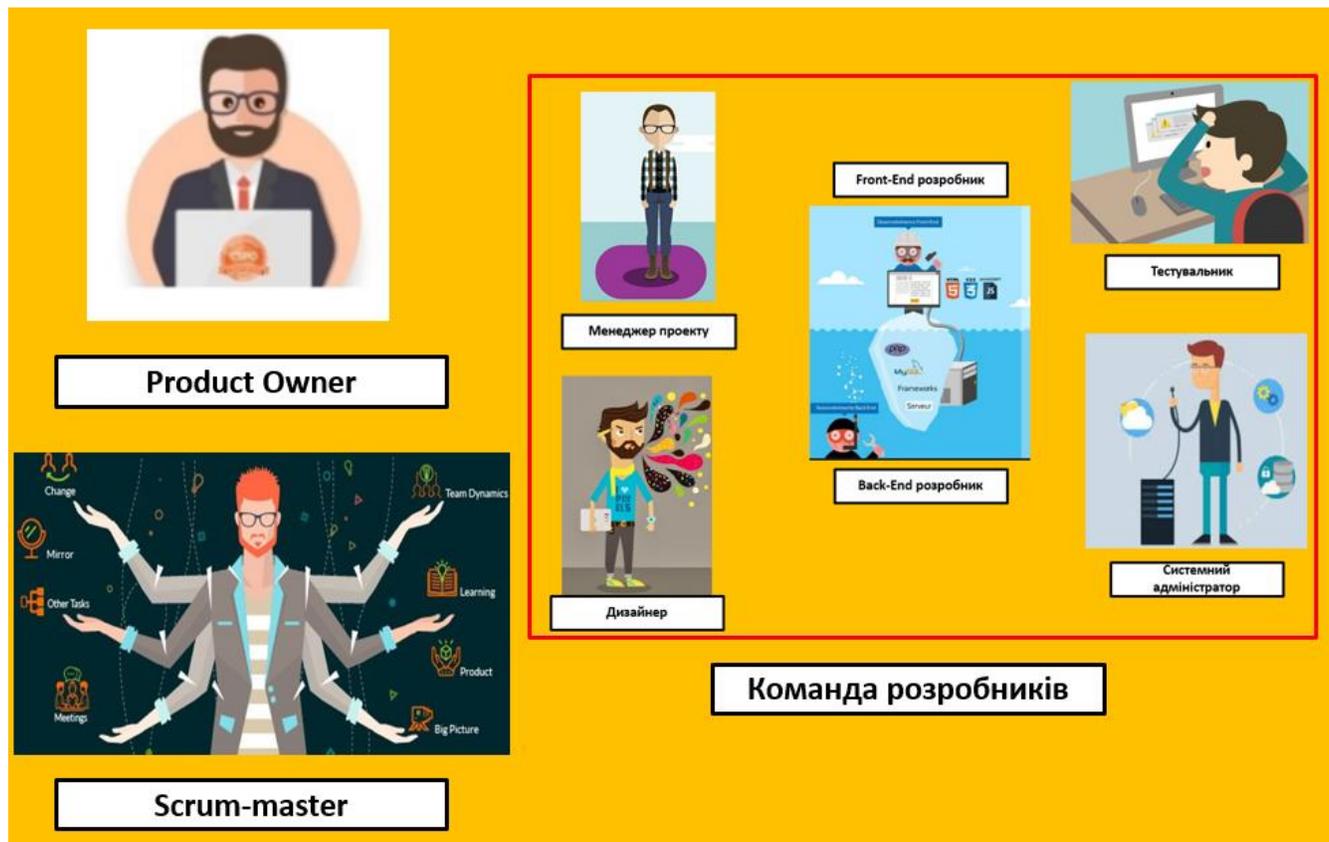


Рис. 1 – Структура Scrum-команди

Product Owner – це ланка команди, яка пов'язує замовника, формуючи список задач Product Backlog, з командою розробників. Product Owner повинен розуміти, як буде виглядати кінцевий продукт, забезпечує зрозумілість Product Backlog та вимог до продукту, над якими потрібно буде працювати команді. Задача Product Owner оптимізувати процес розробки так, щоб робота команди мала максимальну цінність, про що можна знайти масу літератури, проте без наочних прикладів програмної реалізації [8-9].

Scrum-master або керівник проєкту – забезпечує роботу команди в рамках методології Scrum, тобто забезпечує правильну комунікацію в команді, слідкує за процесом розробки та зміно статусів задач у спринті, організовує планування та ретроспективу [10-11]. Scrum-master виявляє методи ефективного управління Product Backlog, транслює бачення та цілі проєкту команді розробників, застосовує та практикує гнучкі методи розробки та управління.

Команда розробників – створює програмний продукт та надає певні версії програмного забезпечення в кінці кожного спринту. Як правило, включає програмістів, дизайнерів та тестувальників, які слідкують за власною результативністю, бере на себе рішення щодо розробки та дизайну, оцінює елементи Product Backlog, несе відповідальність за результат перед Product Owner [12].

Під час пошуку інформаційних джерел для реалізації командних проєктів можна побачити багато літератури на тему контролю версій, наприклад, у роботах [13-15], а також посилання на програмне забезпечення для здійснення управління проєктами [16-17]. Питання ж програмного планування та реалізації командних проєктів для створення програмного забезпечення розкривається не чітко, супроводжуючись або теорією створення команд, або демонстрацією коду для налаштувань уже існуючих версій програмного продукту.

#### Мета дослідження.

Під час аналізу літературних джерел на тему реалізації командних проєктів для розробки програмного забезпечення та постановки курсу дисципліни «Командна розробка програмних систем» було виявлено недостатньо інформації для формулювання чіткого розуміння алгоритму дій щодо програмної реалізації різноманітних типів команд та методологій, на основі яких вони формулюються. Тому метою даного дослідження є структуризація матеріалу щодо основних етапів створення програмного забезпечення на основі обраного шаблону роботи команди проєкту та виявлення особливостей реалізації етапу проєктування, як одного з найважливіших для отримання якісного програмного продукту.

### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Концепція програмної реалізації командної роботи Microsoft Solutions Framework дає змогу організувати такі етапи розробки програмного забезпечення [18]:

- формування вимог до програмного продукту (створення Product Backlog) – виконує Product Owner;
- аналіз вимог та розбиття їх на окремі підзадачі (Task), що будуть реалізовуватися в конкретних спринтах – здійснюється усіма членами Scrum-команди;
- архітектурне проєктування – візуалізація основних об'єктів та класів, що будуть задіяні у процесі розробки програмного забезпечення, формулюється специфікація рішення та розробляється його архітектура (UML-діаграми та інтерфейси в Power Point) – для більшої ефективності в реалізації цього етапу також приймає участь вся команда;
- розробка – етап, на якому визначаються деталі фізичного дизайну, оцінюється необхідних час та ресурси для реалізації кожного елементу дизайну, отримані з попереднього етапу розробки, розробляється код та контролюється розробка елементів рішення – здійснює командна розробників під керівництвом Scrum-master.
- тестування – процес перевірки відповідності вимог до продукту та реально реалізованої функціональності, що здійснюється шляхом спостереження за роботою продукту у штучно створених ситуаціях та обмеженому наборі тестів, внаслідок чого виявляються всі дефекти програмного забезпечення – здійснюють тестувальники або вся команда розробників;
- впровадження – заключний етап, на якому здійснюється впровадження продукту на території замовника, організується супровід продукту, інструкції щодо використання та подальшого функціонування – здійснює Product Owner разом з командою розробників.

Як видно з перерахованих вище функціональних особливостей кожного з етапів, неможливо перейти до безпосередньої розробки програмного продукту без попереднього його проєктування.

Для здійснення архітектурного проєктування за методологією MSF на базі шаблону Microsoft Visual Studio Scrum 2.2 використовуються інструменти візуального проєктування на основі мови UML, що дають змогу візуалізувати архітектурні аспекти програмного продукту, створити моделі структури та поведінки, розробити шаблони для проєктування та шаблони майбутнього інтерфейсу програми.

Так, для моделювання функціональних вимог до програмного продукту використовують схему варіантів використання, яка представляє вимоги користувача до системи (тобто є візуальним відображенням створеного на попередньому етапі Backlog Product). Для цього до командного проєкту *Programming\_SP* додається рішення нове рішення *ModelingProjectSolution\_SP* та обирається шаблон діаграми варіантів *UML Use Case Diagram*.

Функціональність системи, що проєктується, задана вимогами користувача, які визначаються та формулюються на попередньому етапі розробки програмного забезпечення, наприклад, для створення програмного продукту розрахунку мінімальної вартості обладнання виділено такі основні задачі, задані у робочому елементі «*Work Items*» Product Backlog:

- авторизація користувача;
- ідентифікація вхідних даних;
- розрахунок мінімальної вартості;
- створення звітів;
- розробка інтерфейсів.

Сформульовані задачі командного проєкту на діаграмі варіантів задаються елементами «*Use Case*» з можливістю задання назви, опису та властивостей, виконавці задач відображаються за допомогою елементів «*Actor*», а зв'язки між задачами та акторами позначаються через елементи «*Association*» (рис. 2).

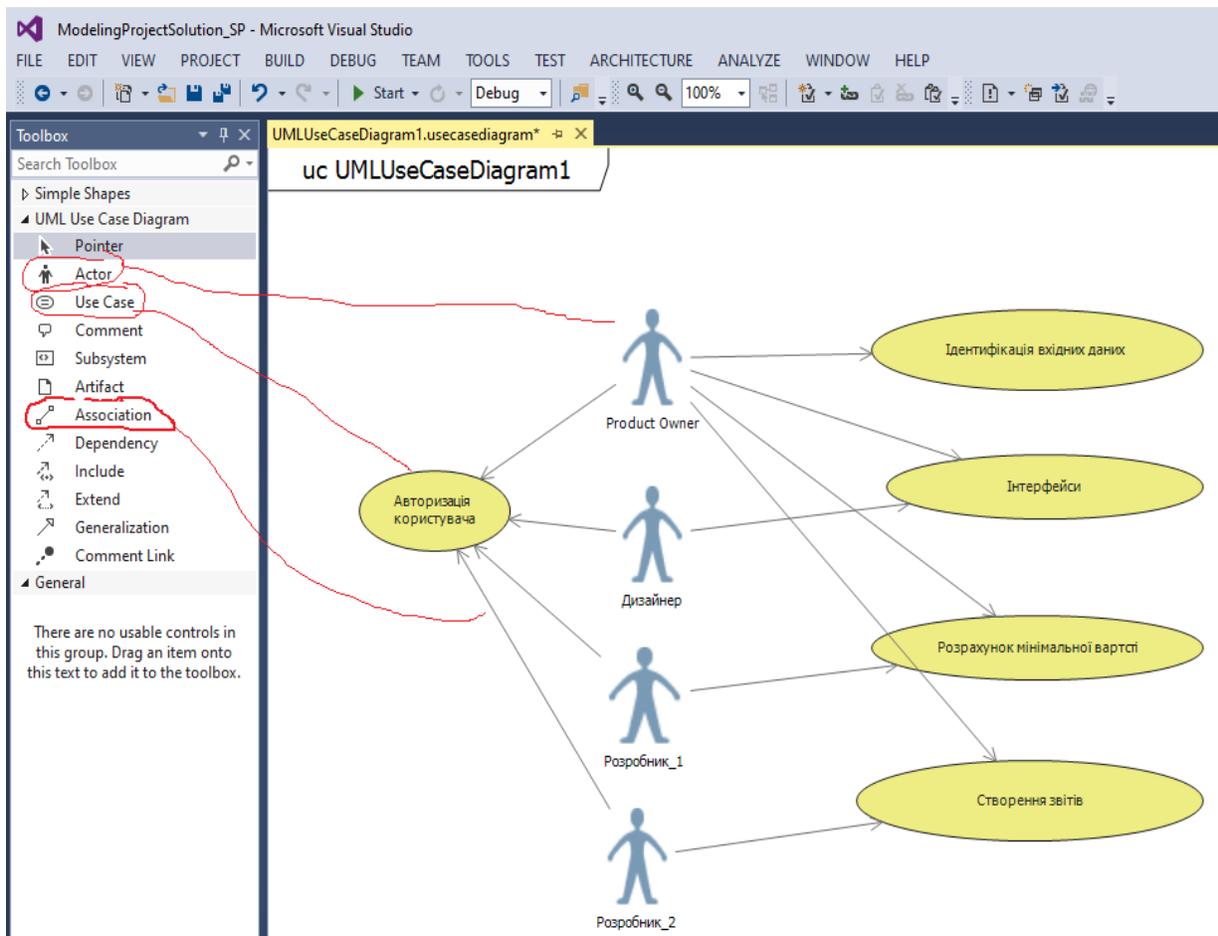


Рис. 2 – Схема варіантів використання на основі шаблону *UML Use Case Diagram*

Варіанти використання потрібно зв'язати з Product Backlog Items для відслідковування взаємозв'язку робочих елементів проекту та схем архітектурного моделювання, використовуючи «*Link to Work Item*». Внаслідок такої операції кожній задачі з Product Backlog буде поставлено у відповідність елемент «*Use Case*» (рис. 3).

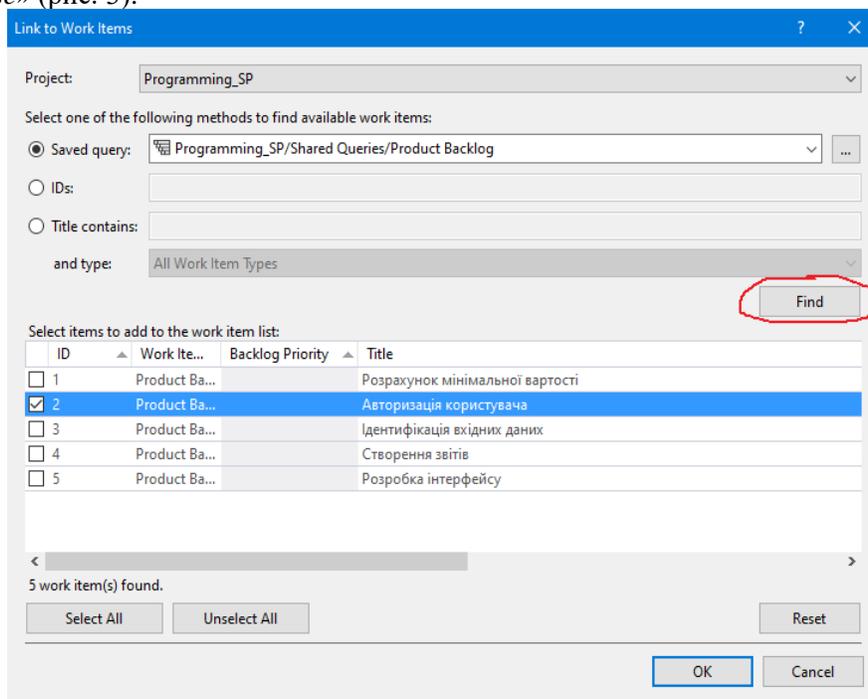


Рис. 3 – Встановлення зв'язків між вимогами до проекту та елементами діаграми варіантів

Моделювання сутностей програмної системи відбувається за допомогою UML-діаграми класів, що створюється на початкових етапах проектування програмного продукту та дозволяє здійснювати попередній аналіз. Для цього в рішенні *ModelingProjectSolution\_SP* обирається шаблон діаграми *UML Class Diagram*.

Нехай в результаті обговорення з замовником Product Owner виявив, що для проектування програмного продукту потрібні наступні класи: вхідні дані, інтерфейс, вартість, звіт з роботи проекту, звіт з вартістю обладнання, звіт з визначення мінімальної вартості. Для їх моделювання будуть використовуватися елементи «Class» та різні види зв'язків між ними (рис. 4).

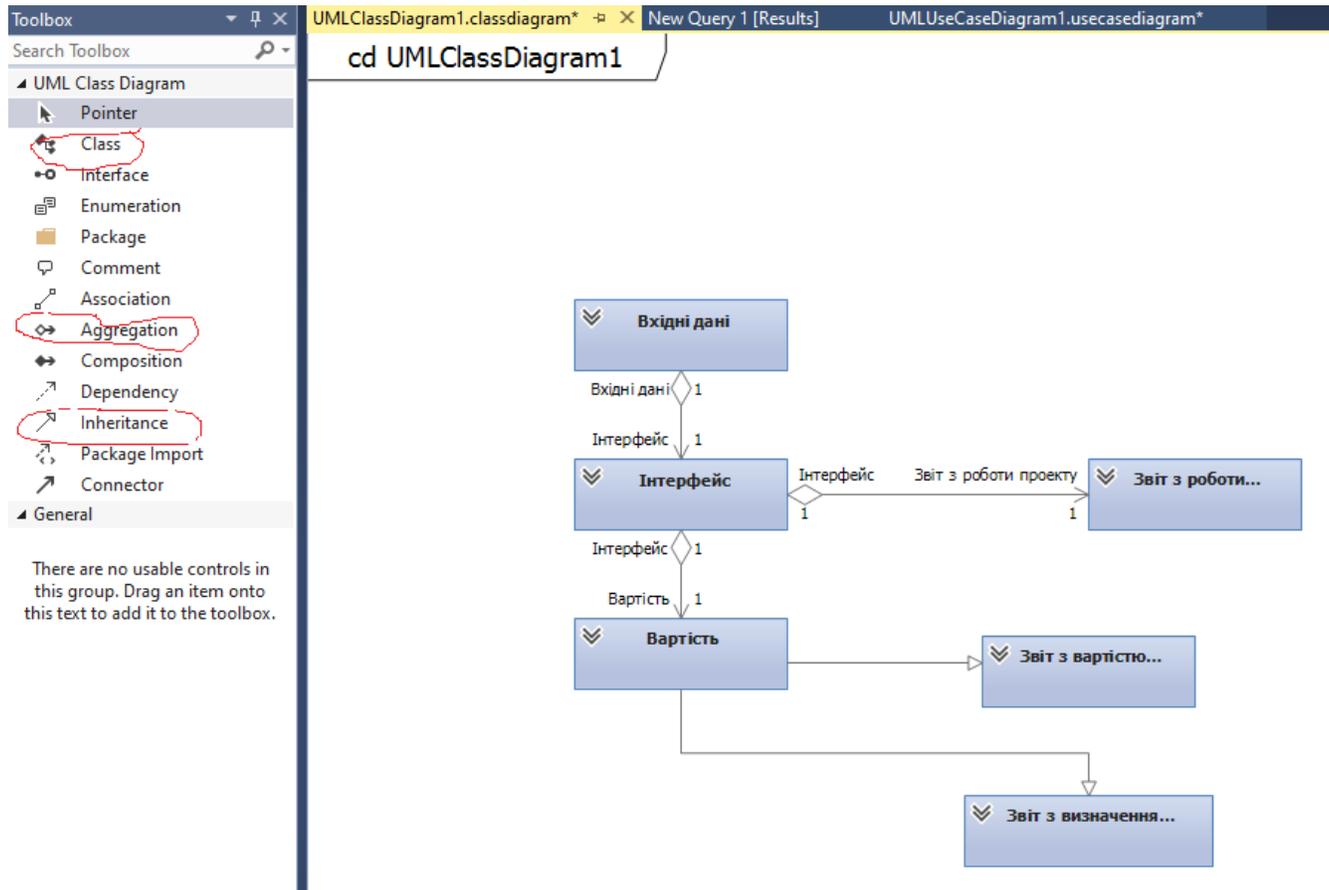


Рис. 4 – Моделювання сутностей програмного продукту за допомогою діаграми класів

Після закінчення моделювання елементи рішень зберігаються в базі даних Team Foundation Server.

Ще одним необхідним моментом проектування програмного забезпечення являється програмний інтерфейс. Зручним інструментом макетування користувацького інтерфейсу та реалізації вимог користувача є PowerPoint, який інтегровано з Visual Studio. Для задач із Product Backlog здійснюють розкадровку представлення екранних форм або веб-сторінок додатку на вкладці Storyboards.

Для зв'язку створеного макету програмного інтерфейсу із задачами командного проекту існує декілька особливостей:

- створювати презентацію PowerPoint на вкладці STORYBOARDING за допомогою форм Storyboard Shapes (рис. 5);
- зберегти створену презентацію у мережевій папці для можливості доступу до всіх членів проекту або зберігати презентацію на сайті SharePoint, опублікувавши слайди, надавши презентації загальний доступ через меню File;
- зв'язувати створену та опубліковану презентацію з командним проектом в Team Foundation Server через посилання «Storyboard Links», обравши необхідний проект та задачу, до якої потрібно прив'язати інтерфейс (рис. 6);
- перевірити наявність розкадровки із вікна перегляду задачі Product Backlog (рис. 7).

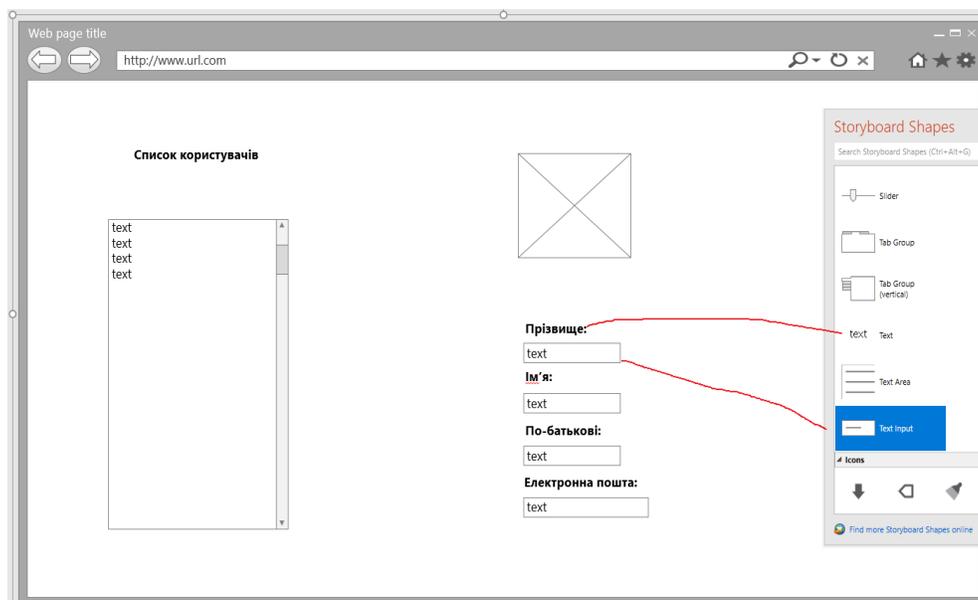


Рис. 5 – Моделювання програмного інтерфейсу за допомогою форм Storyboard Shapes

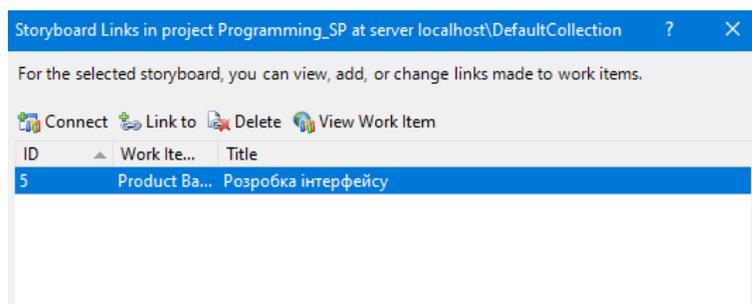


Рис. 6 – Зв'язок моделі програмного інтерфейсу з задачею Product Backlog

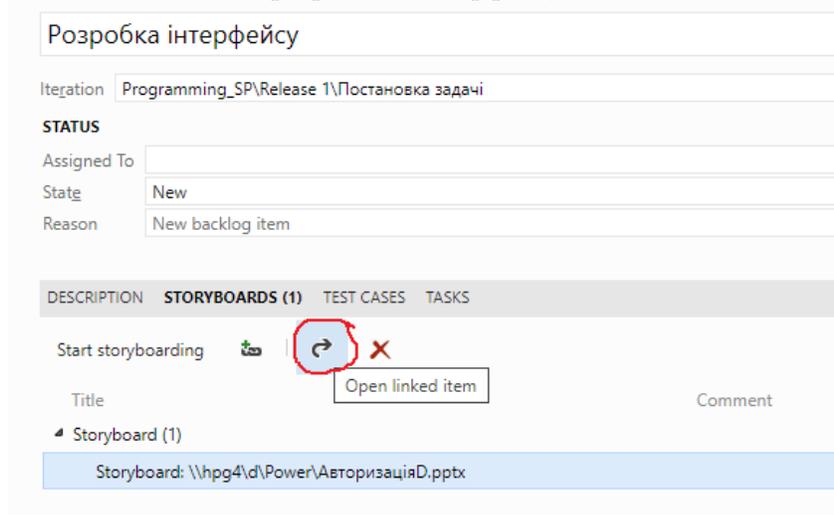


Рис. 7 – Перевірка наявності макету інтерфейсу для задачі першого спринту «Розробка інтерфейсу»

### Висновки та перспективи подальшого дослідження.

У матеріалах статті проаналізовано роль членів командного проекту за методологією Scrum та запропоновано використовувати для реалізації всіх етапів розробки програмного продукту середовище Visual Studio на базі Team Foundation Server. Етап проектування виділено, як один з основних у життєвому циклі розробки програмного забезпечення, без реалізації якого не можна переходити до безпосередньої розробки. На прикладі програмно створеного командного проекту для розрахунку

мінімальної вартості обладнання продемонстровано специфіку створення діаграм варіантів використання та діаграм класів, виявлено особливості макетування програмного інтерфейсу з використанням PowerPoint, який інтегровано з Visual Studio.

Матеріали даного дослідження можна використовувати для програмної реалізації програмних проєктів, як базу для виконання подальших етапів розробки та тестування у життєвому циклі програмного забезпечення.

#### Список бібліографічного опису

1. Andre B. Bondi Foundations of Software and System Performance Engineering: Process, Performance Modeling, Requirements, Testing, Scalability, and Practice (2015), Addison-Wesley Professional, 412 p.
2. Скрам – це ефективне управління проєктами (2021), <https://brainrain.com.ua/uk/scrum-upravlinnya-proektom/> (дата звернення: 09.03.2021).
3. Брауде Э. (2004) Технология разработки программного обеспечения. СПб.: Питер, 655 с.
4. Резник С., Бйорк А., де ла Маза М. (2012) Scrum с Team Foundation Server 2010. Профессиональный подход, 416 с.
5. Долженко А. И. (2016) Технологии командной разработки программного обеспечения информационных систем: курс лекций, 3-е изд., М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Эр Медиа, 300 с.
6. Putri D., Rozilawati R., Zulkefli M. (2020) Team Formation for Agile Software Development: A Review. *J Adv Science, Eng Inf Tech*, Vol. 10 no. 2. pp. 555-561. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.2.10191>.
7. Satherland D. (2015) Scrum. The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. Random House, 256 p.
8. Akif R., Majeed H. Issues and Challenges in Scrum (2012) International Journal of Scientific & Engineering Research, Vo.3 Issue 8
9. Nidagundi P., L.Novickis (2017) Introducing Lean Canvas Model Adaptation in the Scrum Software Testing, *Procedia Computer Science*, Vo 104, pp. 97 -103. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.078>.
10. Morampudi N., R. Gaurav (2013) Evaluation Strengths and Weaknesses of Agile Scrum Framework Using Knowledge Management, *International Journal of Computer Applications*, Vo 65, No 23.
11. Кен Швабер (2019) Скрам. Гибкое управление продуктом и бизнес, Альпина Паблишер Україна, 236 с.
12. Breno G. Tavares, E, Carlos da Silva, Adler D. de Souza (2017) Risk Management in Scrum Projects: A Bibliometric Study, *Journal of Communications Software*, Vo. 13, No. 1.
13. Laster B. Professional Git (2016), 480 p.
14. Santacroce F., Olsson A., Voss R., Narebski J. (2016) Git: Mastering Version Control, Packt Publishing, 839 p.
15. Tsitoara M. (2020) Beginning Git and GitHub: A Comprehensive Guide to Version Control, Project Management, and Teamwork for the New Developer. Apress, 289 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5313-7>.
16. Lewis C., Chatfield C., Johnson T. (2019) Microsoft Project 2019 step by step. Pearson Education: Microsoft Press, 482 p.
17. Вавіленкова А., Литвіненко О., Жолдаков О. (2015) Управління проєктами інформатизації: навч. посіб., НАУ, 220 с.
18. Microsoft Solutions Framework. Basic Principles. URL: <https://newline.tech/microsoft-solutions-framework-basic-principles/> (дата звернення: 25.01.2021).

#### References

1. Andre B. Bondi Foundations of Software and System Performance Engineering: Process, Performance Modeling, Requirements, Testing, Scalability, and Practice (2015), Addison-Wesley Professional, 412 p.
2. Scrum is Effective Project Management (2021), <https://brainrain.com.ua/uk/scrum-upravlinnya-proektom/> (accessed: 09.03.2021).
3. Braude E. (2004) Technology of Software Development, SpB.: Piter, 655 p.
4. Reznik S., Byork A., Maza M. (2012) Scrum with Team Foundation Server 2010. Professional Approach, 416 p.
5. Dolzhenko A. (2016) Technologies for team development of information systems software, 300 p.
6. Putri D., Rozilawati R., Zulkefli M. (2020) Team Formation for Agile Software Development: A Review. *J Adv Science, Eng Inf Tech*, Vol. 10 no. 2. pp. 555-561. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.2.10191>.
7. Satherland D. (2015) Scrum. The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. Random House, 256 p.
8. Akif R., Majeed H. Issues and Challenges in Scrum (2012) International Journal of Scientific & Engineering Research, Vo.3 Issue 8.
9. Nidagundi P., L.Novickis (2017) Introducing Lean Canvas Model Adaptation in the Scrum Software Testing, *Procedia Computer Science*, Vo 104, pp. 97 -103. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.078>.
10. Morampudi N., R. Gaurav (2013) Evaluation Strengths and Weaknesses of Agile Scrum Framework Using Knowledge Management, *International Journal of Computer Applications*, Vo 65, No 23.
11. Ken Shvaber (2019) Scrum. Flexible product management and business, Alpina Publisher Ukraine, 236 p.
12. Breno G. Tavares, E, Carlos da Silva, Adler D. de Souza (2017) Risk Management in Scrum Projects: A Bibliometric Study, *Journal of Communications Software*, Vo. 13, No. 1.
13. Laster B. Professional Git (2016), 480 p.
14. Santacroce F., Olsson A., Voss R., Narebski J. (2016) Git: Mastering Version Control, Packt Publishing, 839 p.
15. Tsitoara M. (2020) Beginning Git and GitHub: A Comprehensive Guide to Version Control, Project Management and Teamwork for the New Developer. Apress, 289 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5313-7>.
16. Lewis C., Chatfield C., Johnson T. (2019) Microsoft Project 2019 step by step. Pearson Education: Microsoft Press, 482 p.
17. Vavilenkova A., Litvinenko O., Zholdakov O. (2015) Informatization Project Management, NAU, 220 p.
18. Microsoft Solutions Framework. Basic Principles. URL: <https://newline.tech/microsoft-solutions-framework-basic-principles/> (accessed: 25.01.2021).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-19>

УДК: 004.4`4

**Іваненко Антон Романович**, студент

<https://orcid.org/0000-0002-9846-537X>

**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

## СПОСІБ ТРАНСЛЯЦІЇ КОНКАТЕНАЦІЇ РЯДКОВИХ ВИРАЗІВ МОВИ TYPESCRIPT У ПРОМІЖНУ МОВУ CIL ПЛАТФОРМИ .NET

**Іваненко А.Р., Марченко О.І.** Спосіб трансляції конкатенації рядкових виразів мови TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET. У статті запропоновано спосіб, який надає можливість генерації ефективніших інструкцій CIL для конкатенації рядкових виразів мови програмування TypeScript. Запропонований спосіб базується на виклику потрібного варіанту перевантаження вбудованої у платформу .NET функції в залежності від кількості операндів конкатенації. Результатом роботи способу є згенерований код, який показує кращу швидкодію, ніж код, створений існуючим аналогом.

**Ключові слова:** транслятор, конкатенація, дерево розбору, CIL, CLR, .NET, TypeScript.

**Іваненко А.Р., Марченко А.И.** Способ трансляции конкатенации строковых выражений языка TypeScript в промежуточный язык CIL платформы .NET. В статье предложен способ, который дает возможность генерации эффективных инструкций CIL для конкатенации строковых выражений языка программирования TypeScript. Предложенный способ основан на вызове нужного варианта перегрузки встроенной в платформу .NET функции в зависимости от количества операндов конкатенации. Результатом работы способа является сгенерированный код, который показывает лучшее быстродействие, чем код, созданный существующим аналогом.

**Ключевые слова:** транслятор, конкатенация, дерево разбора, CIL, CLR, .NET, TypeScript.

**Ivanenko A.R., Marchenko O.I.** Translation the concatenation of TypeScript string expressions into Common Intermediate Language of .NET platform. The article proposes a method that enables the generation of more efficient CIL instructions for the concatenation of string expressions of the TypeScript programming language. The proposed method is based on calling a proper variant of overload of the function built into the .NET platform depending on the number of concatenation operands. The result of the method is the generated code, which shows better performance than the code generated by the existing analog.

**Keywords:** translator, concatenation, parsing tree, CIL, CLR, .NET, TypeScript.

### Постановка наукової проблеми.

Робота з рядковими типами є однією з найважливіших функціональних можливостей різних мов програмування. Великі об'єми текстових даних можна зустріти в різних сферах людської діяльності: створення веб-ресурсів, машинне навчання, розробка трансляторів, тощо. Через це, велика увага приділяється швидкодії програм, які використовуються у вище зазначених сферах.

Таким чином, при трансляції мови програмування TypeScript у проміжну мову CIL віртуальної машини .NET постає задача генерації таких інструкцій, які дозволять оптимально використовувати ресурси системи при роботі з текстовими даними, особливо – при їх конкатенації.

### Аналіз досліджень.

Задачу трансляції різних мов програмування у проміжну мову CIL платформи .NET досліджено у невеликій кількості статей, серед яких можна виділити опис методів трансляції мови програмування Scheme [1] від французьких дослідників та трансляції байт-коду віртуальної машини Java [2] від корейських вчених.

У статті [1] детально проаналізовано, як згенерувати ефективні інструкції для функцій, звертаючи увагу на наявність таких деталей:

- хвостової рекурсії;
- замикання;
- шаблонів.

Стаття [2] демонструє створення транслятора з байт-коду віртуальної машини Java у проміжну мову CIL. Такий підхід дозволяє транслювати та запускати у віртуальному середовищі .NET без змін програми, що були раніше скомпільовані у байт-код.

Обидві статті порівнюють швидкодію віртуальних середовищ JVM та .NET та підкреслюють кращу швидкодію останнього. З цього можна зробити висновок, що обрана цільова платформа для трансляції мови програмування TypeScript є перспективною.

Жодна з публікацій не розкриває реалізацію операцій з рядковими виразами, що залишає поле для дослідження, описаного у цій статті.

**Метою статті** є розробка методу трансляції конкатенації рядкових виразів мови програмування TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET та порівняльний аналіз швидкодії згенерованого коду з результатом роботи компілятора JScript, який був обраний аналогом для порівняння у попередній статті [3].

### Термінологія.

Common Intermediate Language (CIL) – «високорівневий асемблер» віртуальної машини .NET. Проміжна мова, розроблена компанією Microsoft для платформи .NET[4].

Лексичний аналізатор – частина транслятора, що здійснює перетворення вхідного тексту програми, що подана рядком символів, в рядок лексем, поданий в цифровій формі, а також знаходить лексичні помилки[5].

Синтаксичний аналізатор – частина транслятора, що здійснює декомпозиції вхідної програми поданої рядком лексем у структурні одиниці мови (оператори, описи, декларації, тощо) [5].

Дерево розбору – внутрішня форма подання вхідної програми, що містить структурні одиниці мови, а також зв'язки між ними[5].

Генератор коду – перетворює вхідну програму, подану одною її внутрішніх форм, в текст (оператори, команди) вихідною мовою на основі семантики вхідної мови [5].

### Запропонований спосіб трансляції.

Розглянемо вхідну програму, записану мовою програмування TypeScript, яку потрібно скомпілювати в CIL (рисунок 1).

```
let a: string = 'test a', b: string = 'test b',
    c: string = 'test c', d: string = 'test d',
    e: string = 'test e';
let result: string;

result = a + b + c + d + e;
```

Рис. 1. Вхідна програма на мові TypeScript, яка демонструє конкатенацію рядків.

Після роботи лексичного та синтаксичного аналізатора отримуємо представлення поданої програми у вигляді дерева розбору (рисунок 2).

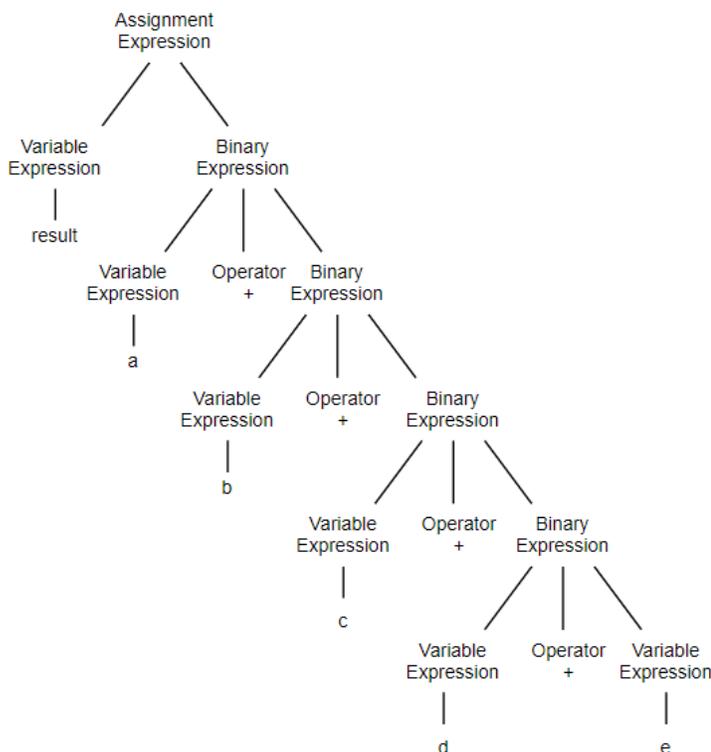


Рис. 2. Частина дерева розбору, що містить конкатенацію рядкових змінних.

Для конкатенації рядків платформа .NET має вбудовану функцію `String.Concat` [6], яка виконує конкатенацію переданих до неї рядкових аргументів. Звісно, можна згенерувати виклик цієї функції для кожного оператору додавання та передати як аргументи лівий та правий вираз, але така реалізація не буде оптимальною, оскільки доведеться зробити стільки викликів функції, скільки операторів додавання міститься у виразі. У документації зазначено [5], що функція має декілька варіантів виклику з переважаннями: для 2 аргументів, для 3 аргументів, для 4 аргументів та для масиву рядків. Тому згенерований код можна оптимізувати викликом потрібного варіанту переважання функції.

Запропонований спосіб трансляції конкатенації рядків полягає в наступному:

1. Перетворити у масив дерево бінарних виразів, у яких виконується конкатенація рядків.
2. Якщо розмір масиву менше ніж 5, то викликати потрібний варіант переважання функції для 2, 3 чи 4 аргументів та перейти до пункту 5, інакше перейти до пункту 3.
3. Згенерувати інструкції для створення и заповнення масиву рядковими виразами, які необхідно об'єднати.
4. Викликати потрібний варіант переважання функції для масиву аргументів.
5. Кінець

Для генерації виконуваних файлів для середовища .NET було використано бібліотеку `Mono.Cecil` [7], яка надає зручний інтерфейс для запису інструкцій CIL. Дана бібліотека розроблена співробітником компанії Microsoft Джейбі Ейваном та активно підтримується спільнотою.

Лістинг функції, яка відповідає цьому способу показано на рисунку 3.

Результат виконання цієї функції для обраного прикладу зображено на рисунку 4.

```
EmitStringConcat(ILProcessor il, BinaryExpression node)
{
    var nodes = Flatten(node);
    switch (nodes.Count)
    {
        case 0:
            il.Emit(OpCodes.Ldstr, string.Empty);
            break;
        case 1:
            EmitExpression(il, nodes[0]);
            break;
        case 2:
            EmitExpression(il, nodes[0]);
            EmitExpression(il, nodes[1]);
            il.Emit(OpCodes.Call, _stringConcat2);
            break;
        case 3:
            EmitExpression(il, nodes[0]);
            EmitExpression(il, nodes[1]);
            EmitExpression(il, nodes[2]);
            il.Emit(OpCodes.Call, _stringConcat3);
            break;
        case 4:
            EmitExpression(il, nodes[0]);
            EmitExpression(il, nodes[1]);
            EmitExpression(il, nodes[2]);
            EmitExpression(il, nodes[3]);
            il.Emit(OpCodes.Call, _stringConcat4);
            break;
        default:
            il.Emit(OpCodes.Ldc_I4, nodes.Count);
            il.Emit(OpCodes.Newarr, _stringTypeRef);
            for (var i = 0; i < nodes.Count; i++)
            {
                il.Emit(OpCodes.Dup);
                il.Emit(OpCodes.Ldc_I4, i);
                EmitExpression(il, nodes[i]);
                il.Emit(OpCodes.Stelem_Ref);
            }
            il.Emit(OpCodes.Call, _stringConcatArray);
            break;
    }
}
```

Рис. 3. Лістинг функції, яка генерує IL інструкції для конкатенації

```
IL_001f: ldc.i4.5
IL_0020: newarr      [System.Runtime]System.String
IL_0025: dup
IL_0026: ldc.i4.0
IL_0027: ldloc.0     // V_0
IL_0028: stelem.ref
IL_0029: dup
IL_002a: ldc.i4.1
IL_002b: ldloc.1     // V_1
IL_002c: stelem.ref
IL_002d: dup
IL_002e: ldc.i4.2
IL_002f: ldloc.2     // V_2
IL_0030: stelem.ref
IL_0031: dup
IL_0032: ldc.i4.3
IL_0033: ldloc.3     // V_3
IL_0034: stelem.ref
IL_0035: dup
IL_0036: ldc.i4.4
IL_0037: ldloc.s    V_4
IL_0039: stelem.ref
IL_003a: call      string [System.Runtime]System.String::Concat(string[])
IL_003f: dup
IL_0040: stloc.s    V_5
```

Рис. 4. Згенеровані інструкції для конкатенації рядкових змінних за запропонованим способом для програми, показаної на рис.1.

**Аналіз отриманих результатів.**

Для тестування було розроблено консольну програму на мові програмування C# (рисунок 5), яка запускала виконувачі файли, що були скомпільовані компіляторами, які порівнюються. Для зменшення ефекту похибок при запуску програми та більшої наочності, виміри швидкості коду прикладів конкатенації, згенерованого різними компіляторами, виконувались в циклі на 1000000 ітерацій (рисунок 6).

Виміри проводилися для конкатенації 3, 4 та 5 рядкових виразів. Отримані результати показано на рисунку 7. Як видно з діаграми, код, що згенерований згідно запропонованого способу, працює швидше, ніж існуючий аналог.

```

0 references
class Program
{
    0 references
    static void Main(string[] args)
    {
        var sw = new Stopwatch();
        foreach (var arg in args)
        {
            using (Process myProcess = new Process())
            {
                myProcess.StartInfo.UseShellExecute = false;
                myProcess.StartInfo.FileName = arg;
                myProcess.StartInfo.CreateNoWindow = true;
                Console.WriteLine("Starting process: {0}", myProcess.StartInfo.FileName);
                myProcess.Start();
                sw.Start();
                myProcess.WaitForExit();
                sw.Stop();
                Console.WriteLine("Ms: {0}", sw.ElapsedMilliseconds);
            }
        }
    }
}

```

Рис. 5. Лістинг консольної програми, яка запускає виконувачі файли.

```

function main(): void {
    let a: string = 'test a', b: string = 'test b',
        c: string = 'test c', d: string = 'test d',
        e: string = 'test e';

    let result: string;
    for (let i = 0; i < 1000000; i = i + 1)
        result = a + b + c + d + e;
}

```

Рис. 6. Вхідна програма на мові TypeScript, яка тестувалась.

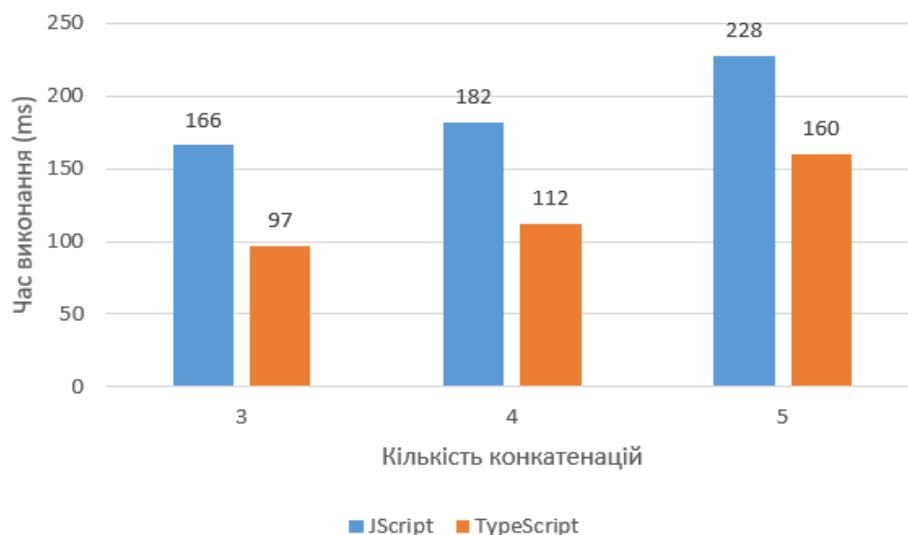


Рис. 7. Графік порівняння швидкості згенерованих інструкцій для конкатенації компілятором JScript та компілятором TypeScript за запропонованим способом.

### Висновки.

На першому етапі дослідження способів трансляції мови TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET особливу увагу було приділено роботі з рядковими типами даних, зокрема операції конкатенації рядків.

При розробці власного компілятора мови TypeScript було використано спосіб трансляції, який запропоновано у даній статті, який під час тестування та порівняльного аналізу продемонстрував кращу швидкість згенерованого коду в порівнянні з існуючим аналогом – компілятором JScript.

Таким чином, враховуючи отримані результати, можна підкреслити висновок, зроблений у попередній статті [1], а саме, що створення прямого компілятора мови програмування TypeScript у проміжний код CIL платформи .NET є доцільним і має як наукову новизну, так і практичну цінність.

### Список бібліографічного опису

1. Yannis Bres, Bernard Serpette, Manuel Serrano, Compiling Scheme programs to .NET Common Intermediate Language [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/213885643\\_Compiling\\_Scheme\\_programs\\_to\\_NET\\_Common\\_Intermediate\\_Language](https://www.researchgate.net/publication/213885643_Compiling_Scheme_programs_to_NET_Common_Intermediate_Language).
2. YangSun Lee, SeungWon Na, DaeHoon Hwang, Language Translator for Execution Java programs in .NET [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200411922370411.pdf>
3. Марченко О.І., Іваненко А.Р. Аналіз способів трансляції мови TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET
4. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C#. 4-е изд., СПб.:Питер, 2013
5. Марченко О.І. Конспект лекцій з дисципліни «Іженерія програмного забезпечення-1. Основи проектування трансляторів», Київ 2013.
6. Документація Microsoft [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.string.concat>
7. Документація Mono.Cecil [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cecil.pe/>

### References

1. Yannis Bres, Bernard Serpette, Manuel Serrano, Compiling Scheme programs to .NET Common Intermediate Language [Electronic resource] – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/213885643\\_Compiling\\_Scheme\\_programs\\_to\\_NET\\_Common\\_Intermediate\\_Language](https://www.researchgate.net/publication/213885643_Compiling_Scheme_programs_to_NET_Common_Intermediate_Language).
2. YangSun Lee, SeungWon Na, DaeHoon Hwang, Language Translator for Execution Java programs in .NET [Electronic resource] – Access mode: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200411922370411.pdf>
3. Marchenko O.I., Ivanenko A.R. Analysis of TypeScript translation methods into Common Intermediate Language of .NET platform
4. Jeffrey Richter. CLR via C#. 2012
5. Marchenko O.I Synopsis of lectures on the subject "Software Engineering-1. Basics of translator design », Kyiv 2013.
6. Microsoft documentation [Electronic resource] – Access mode: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.string.concat>
7. Mono.Cecil documentation [Electronic resource] – Access mode: <https://cecil.pe/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-20>

УДК: 004.38, 004.42

**Костючко Сергій Миколайович**, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-1262-6268>

**Багнюк Наталія Володимирівна**, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

**Кузьмич Олена Іванівна**, к.ф.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8717-4497>

**Поліщук Микола Миколайович**, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-1218-5925>

**Кирилюк Людмила Миколаївна**, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-8279-3133>

Луцький національний технічний університет

## БИОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАСОБАМИ PYTHON ТА RASPBERRY PI

**Костючко С., Багнюк Н., Кузьмич О., Поліщук М., Кирилюк Л. Біометрична ідентифікація засобами Python та Raspberry Pi.** У даній статті пропонується один з варіантів біометричної ідентифікації, а саме розпізнавання обличч користувачів засобами (одного з найпопулярніших і сучасного) одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4b та з використанням мови програмування Python. Була проведена низка симуляцій та створена база даних користувачів.

**Ключові слова:** Python, Raspberry Pi, FaceID, біометрія, OpenCV.

**Костючко С., Багнюк Н., Кузьмич А., Поліщук Н., Кирилюк Л. Биометрическая идентификация средствами Python и Raspberry Pi.** В данной статье предлагается один из вариантов биометрической идентификации, а именно распознавания лиц пользователями средствами (одного из самых популярных и современного) одноплатного компьютера Raspberry Pi 4b и с использованием языка программирования Python. Был проведен ряд симуляций и создана база данных пользователей.

**Ключевые слова:** Python, Raspberry Pi, FaceID, биометрия, OpenCV.

**Kostiuchko S., Bahniuk N., Kuzmich O., Polishchuk M., Kyryliuk L. Biometric identification by means of Python and Raspberry Pi.** This article proposes one of the options for biometric identification, namely face recognition by means of (one of the most popular and modern) Raspberry Pi 4b single-board computer and using the Python programming language. A number of simulations were carried out and a user database was created.

**Keywords:** Python, Raspberry Pi, FaceID, biometrics, OpenCV.

### Вступ

При розблокуванні телефону (FaceID) або дозволяєте Google або Apple сортувати ваші фотографії, ви використовуєте програмне забезпечення для розпізнавання обличч. Багато ПК з Windows також дозволяють використовувати ваше обличчя для входу. Цю процедуру (біометричної ідентифікації) можна використовувати не тільки для входу, засобами Raspberry Pi можна використати дану процедуру і для більш цікавих речей, а також для навчання та розвитку вже існуючих проєктів.

Розпізнавання людського обличчя відіграє важливу роль у відеоспостереженні, інтерфейсі людина-комп'ютер, персоналізації різних додатків. У цій роботі ми представляємо підхід до виявлення та ідентифікації людського обличчя за відео у режимі реального часу, яке відстежує обличчя та порівнює його із збереженими даними. Наш підхід розпізнає людину протягом частки секунди, яка повністю ігнорує будь-який фоновий ефект. Крім того, цей метод також працює при різних умовах освітлення, що робить його придатним для виконання своєї мети в самих різних середовищах, не зазнаючи жодної суттєвої помилки. І цей підхід використовує переваги, пропонувані бібліотекою python, такою як OpenCV. Система управління базами даних SQLite використовується як магістраль її пам'яті. Завдяки своїй швидшій та автентичнішій роботі ця система є гідною для інтеграції з будь-якими додатками для підвищення автоматизації та зручності користування. OpenCV має досить потужний функціонал для детекту (визначення) об'єктів на зображенні.

Весь процес роботи системи найкраще пояснити трьома етапами. Етап збору даних – етап формування коду пітона в основному призначений для запису ідентифікаційних даних людини. В основному, це вказує камері зробити 20 зразків знімків. Коли дані людини збігаються з будь-яким попереднім записом, його/її зразки знімків оновлюються. Ця функція робить нашу систему пристосованою до невеликих змін у характері обличчя людини.

Тренувальний етап – цей етап в основному навчає систему, щоб мати можливість ідентифікувати конкретних осіб. Зразки зображень людини перетворюються у формат градацій сірого. Ця система не потребує кольору явно. Крім того, інформація про колір зображення іноді ускладнює ідентифікацію важливих країв. Тому колір на зображенні може розглядатися як шум у нашому дослідженні. Отже, використовується відтінок сірого. Отже, відтінок сірого робить алгоритм обробки зображень більш ефективним та швидшим. Коли зображення RGB перетворюється у формат градацій сірого, значення 3D-пікселів перетворюються на значення 1D. Як результат, нам доведеться мати справу з меншою кількістю даних, якщо використовується градація сірого.

Етап виявлення – камера подає на мікропроцесор відео в режимі реального часу. Відео імпортується до Python-коду мікропроцесора, як двовимірна матриця.

Спочатку частина, що містить обличчя, витягується із повного зображення, щоб зменшити ефект фону при обробці зображення, і зберігається в матриці. Потім матрицею маніпулюють і порівнюють із зразками фотографій для виявлення будь-якого збігу. Якщо знайдено будь-який збіг, на відеодисплеї в режимі реального часу відображається ім'я та додаткова інформація ідентифікованої особи із жовтим квадратом, що відстежує впізнане обличчя цієї людини. Додаткова інформація взята із системи управління базами даних SQLite.

Ефект нульового фону – у більшості випадків підхід до розпізнавання обличчя зазвичай сприятливий для місця, де беруться попередні дані. Як результат, він не працює автентично, коли тест запускається в новому середовищі. Це відбувається, коли загальна картина порівнюється із збереженими даними. Але жодного впливу фону на роботу цієї системи немає. Оскільки алгоритм витягує обличчя людини із зображень, що зберігаються в базі даних. Тому він працює ідеально, навіть незважаючи на зміну фону.

### **Програмно-апаратне забезпечення**

Для здійснення налаштування, програмування потрібно насамперед мати відповідне програмне, а тако ж і апаратне забезпечення

- Raspberry Pi 4
- Блок живлення
- microSD
- клавіатура
- миша
- монітор
- кабель HDMI
- Камера



Рисунок 1 - Raspberry Pi 4b з радіаторним охолоджуючим корпусом та двома вентиляторами



Рисунок 2 - Raspberry Pi 4b з USB web-камерою

Для розпізнавання обличчя Raspberry Pi ми будемо використовувати пакети OpenCV , face\_recognition та imutils.

- **Raspbian** – основана на Debian операційна система для Raspberry Pi.
- **OpenCV** – це бібліотека програмного забезпечення з відкритим кодом для обробки зображень і відео в режимі реального часу з можливостями машинного навчання.
- Ми будемо використовувати пакет **Python face\_recognition** для обчислення обмежувального поля навколо кожного обличчя, обчислення вбудовування обличчя та порівняння граней у наборі даних кодування.
- **Imutils** – це низка зручних функцій для прискорення обчислень OpenCV на Raspberry Pi.

#### Встановлення залежностей для розпізнавання обличчя

Демонструємо алгоритм встановлення програмного забезпечення на одноплатний комп'ютер Raspberry Pi. Для проведення симуляцій та навчання ми використовуємо Raspberry Pi 4b з 4 Gb RAM.

1. Підключаємо веб-камеру.
2. Завантажуємо Raspberry Pi.
3. Встановлюємо OpenCV.

```
sudo apt install cmake build-essential pkg-config git
sudo apt install libjpeg-dev libtiff-dev libjasper-dev libpng-dev libwebp-dev libopenexr-dev
sudo apt install libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-dev libv4l-dev libxvidcore-dev libx264-dev
libdc1394-22-dev libgstreamer-plugins-base1.0-dev libgstreamer1.0-dev
sudo apt install libgtk-3-dev libqtgui4 libqtwebkit4 libqt4-test python3-pyqt5
sudo apt install libatlas-base-dev liblapacke-dev gfortran
sudo apt install libhdf5-dev libhdf5-103
sudo apt install python3-dev python3-pip python3-numpy
```

Продовжимо встановлення після розширення файлу підкачки.

Утилітою git clone (це утиліта командного рядка Git для вибору існуючого сховища з подальшим створенням його клону або копії) клонуємо opencv.git та opencv\_contrib.git. Створюємо та переходимо в папку «build» в директорії «opencv» з подальшим виконанням коду:

```
cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE=RELEASE \
...
make -j$(nproc)
```

4. Встановлюємо face\_recognition.
5. Встановлюємо imutils (для розпізнавання об'єктів в реальному часі).

```
pip install imutils
```

#### Навчання моделі розпізнавання обличчя

На першому кроці ми формуємо DataSet – базу зображень чи фото, над якими буде проводитись робота. Для кожного користувача в базі створюється окрема директорія. Після підготовки зображень запускаємо скрипт, який проводить навчання системи та формує базу розпізнаних обличчя.

```
cd facial_recognition  
python train_model.py
```

Після опрацювання скрипта отримуємо карти координат лицьових точок для кожного фото (карти можуть бути формовані в залежності від кількості наявних фото). Більша кількість фото збільшує ймовірність розпізнання об'єкта з різних ракурсів.

```
python facial_req.py
```

При запуску веб-камери, починає працювати OpenCV, що визначає наявність обличчя в зображенні. Якщо результат позитивний, на виході отримуємо координати. Частина обличчя, що міститься в заданих межах порівнюється з сформованою базою і шукається збіг. В результаті на відео з'являється прямокутник та ім'я користувача.



Рисунок 3 – Скрін екрану під час розпізнавання користувача

Велике значення в таких системах відіграє швидкість розпізнавання, система розпізнавання обличчя в режимі реального часу повинна мати швидшу та ефективну швидкість обробки. Наша система досить швидка, і завершує весь процес розпізнавання мінімум три рази в секунду. У кращому випадку цикл виявлення завершується п'ять разів за секунду. Наше дослідження показує, що в середньому чотири цикли виявлення завершуються за одну секунду. Як результат, розпізнаванню зображень не перешкоджає, навіть якщо людина перебуває в русі. Ми використовували формат XML для збереження зображень у базі даних. Алгоритм призначений для вилучення лише обличчя людини. Отже, інша інформація про зображення, крім обличчя, не обробляється, а отже, час обробки зображень зменшується. Масштабування сірого також відіграє важливу роль для скорочення часу обробки. Як результат, виявити людину, яка рухається, набагато простіше.

### Висновки.

Система побудована на Raspberry Pi, є мозком системи. У цій системі Python використовується для роботи з бібліотеками з відкритим кодом. Бібліотекою з відкритим кодом, яку ми використовували, є OpenCV, яка в основному спрямована на обробку комп'ютерного зору в режимі реального часу. Нерухоме зображення з відео зберігається у пітоні у вигляді двовимірного масиву. NumPy, є бібліотекою Python для обробки багатовимірного масиву, використовується для швидшої обробки нерухомого зображення. Система має систему управління сховищем, яка призначена для зберігання даних зацікавлених осіб. Для управління даними використовується популярна система управління базами даних SQLite. База даних містить інформацію про особу, яку слід виявити. Система є дуже корисною та ефективною, оскільки немає фонового ефекту для впізнання людини. Він може впізнати людину, навіть незважаючи на те, що середовище та фон змінюються, і задовільно працює в різних умовах освітлення. Невеликі зміни на обличчі людини, такі як макіяж, окуляри мало впливають на процес розпізнавання.

### References.

1. S. Kostyuchko and V. Tchaban, "Variational Method of Auxiliary Equations in Nonlinear Systems Analysis and Synthesis Problems," *2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CPEE47179.2019.8949123.
2. S. Kostyuchko, O. Kuzmych, A. Aitouche, S. Grinyuk and O. Mekush, "Application of Parametric Sensitivity Method to Analysis of Automatic Mooring Winch with Electric Drive System," *2019 4th Conference on Control and Fault Tolerant Systems (SysTol)*, Casablanca, Morocco, 2019, pp. 294-299, doi: 10.1109/SYSTOL.2019.8864751.

3. A. Pentland and T. Choudhury, "Face recognition for smart environments," *Computer*, vol. 33, no. 2, pp. 50–55, 2000. [2] R. Chellappa, C. L. Wilson, and S. Sirohey, "Human and machine recognition of faces: A survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 5, pp. 705–741, 1995.
4. C. Liu and H. Wechsler, "Evolutionary pursuit and its application to face recognition," *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, no. 6, pp. 570–582, 2000.
5. A. W. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, and R. Jain, "Content-based image retrieval at the end of the early years," *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, no. 12, pp. 1349–1380, 2000.
6. A. M. Burton, S. Wilson, M. Cowan, and V. Bruce, "Face recognition in poor-quality video: Evidence from security surveillance," *Psychological Science*, vol. 10, no. 3, pp. 243–248, 1999.
7. S. Eum, J. K. Suhr, and J. Kim, "Face recognizability evaluation for atm applications with exceptional occlusion handling," in *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2011 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2011, pp. 82–89.
8. T.-Y. Chen, C.-H. Chen, D.-J. Wang, and Y.-L. Kuo, "A people counting system based on face-detection," in *Genetic and Evolutionary Computing (ICGEC)*, 2010 Fourth International Conference on. IEEE, 2010, pp. 699–702.
9. N. Kar, M. K. Debbarma, A. Saha, and D. R. Pal, "Study of implementing automated attendance system using face recognition technique," *International Journal of computer and communication engineering*, vol. 1, no. 2, p. 100, 2012.
10. S. Tiwari, A. Singh, and S. K. Singh, "Can face and soft-biometric traits assist in recognition of newborn?" in *Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, 2012 1st International Conference on. IEEE, 2012, pp. 74–79.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-21>

УДК: 004.021, 004.71

**Костючко Сергій Миколайович**, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-1262-6268>

**Кирилюк Людмила Миколаївна**, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-8279-3133>

**Черняшук Наталія Леонідівна**, д.п.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>

**Бортник Катерина Яківна**, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-5282-099X>

**Гринюк Сергій Васильович**, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-0080-3167>

Луцький національний технічний університет

## WIRELESS ACCESS POINT WITH MULTILAYER DATA PROTECTION ALGORITHM

**Костючко С., Кирилюк Л., Черняшук Н., Бортник К., Гринюк С. Бездротова точка доступу з багаторівневим алгоритмом захисту даних.** В статті запропоновано багаторівневий алгоритм захисту передачі інформації засобами бездротового маршрутизатора та Raspberry Pi. Запропонований алгоритм реалізовано на базі окремих засобів шифрування, які працюють паралельно захищеними каналами зв'язку. Методом направлення трафіку на анонімні і захищені сервери (Tor) та шифруванням інформації і паралельним використанням DNS-проксі, інформація доступна тільки легітимним користувачам.

**Ключові слова:** Raspberry Pi, SOCKEt, DNS-проксі, багаторівневий алгоритм, шифрування даних.

**Костючко С., Кирилюк Л., Черняшук Н., Бортник К., Гринюк С. Беспроводная точка доступа с многоуровневым методом защиты данных.** В статье предложен многоуровневый алгоритм защиты передачи информации средствами беспроводного маршрутизатора и Raspberry Pi. Предложенный алгоритм реализован на базе отдельных средств шифрования, работающих параллельно защищенными каналами связи. Методом направления трафика на анонимные и защищенные серверы (Tor) и шифрованием информации и параллельным использованием DNS-прокси, информация доступна только легитимным пользователям.

**Ключевые слова:** Raspberry Pi, SOCKEt, DNS-прокси, многоуровневый алгоритм, шифрования данных.

**Kostiuchko S., Kyryliuk L., Chernyashchuk N., Bortnyk K., Hrunjuk S. Wireless access point with multilayer data protection algorithm.** The article proposes a multi-level algorithm for protecting information transmission by means of a wireless router and Raspberry Pi. The proposed algorithm is implemented on the basis of separate encryption tools operating in parallel with secure communication channels. By directing traffic to anonymous and protected servers (Tor) and by encrypting information and using a DNS proxy in parallel, the information is available only to legitimate users.

**Keywords:** Raspberry Pi, SOCKEt, DNS proxy, multilevel algorithm, data encryption.

### Introduction

Nowadays, such a concept as a cyber attack is very common, and it is becoming an increasing headache for many IT companies and enterprises. In recent years, some big names like Google, The New York Times, Facebook, etc. have been the victims of hacks.

Most of the information on networks is transmitted and stored in clear text. For example, when entering a forum, a username and password are entered, a message is written - both a username and a password, and the message is transmitted in clear text, as plain text. Moreover, many nodes are involved in data transmission, and data interception is possible on almost each of them. This is possible as in a local network by a novice hacker who downloaded a program for penetration testing of wireless networks and managed to find a password for your Wi-Fi, this is possible at the level of a city provider, where an advanced and rather curious administrator sits, this is possible on subsequent nodes up to hosting forum where you chat.

To somehow protect against this, popular sites (postal services, social networks, and others) acquired certificates, their meaning is that the exchange of data between the site and you is now encrypted. Now a novice hacker, advanced administrator and others along the chain will not be able to intercept your data so easily.

To protect the user's personal data, there are many protection algorithms, each of which in turn has a number of vulnerabilities. Therefore, it is advisable to create a multi-level algorithm for protecting personal data, which combines several security technologies.

### Protection algorithm development

The following technologies will be used in the developed protection algorithm:

- Tor;
- SOCKS5;
- DNS proxy.

Tor (The onion routing) - onion routing technology, which is a distributed system of servers, between which traffic passes in encrypted form. At the last node in the chain, the transmitted data goes through the decryption procedure and is transmitted to the target server in clear text. The i2p technology was considered as an analogue of the Tor technology. I2p (invisible internet project) - a project to create an anonymous computer network running over the global Internet. i2p is a more complex solution for ordinary users, while it has a number of disadvantages, such as lack of decentralized servers and insufficiently good encryption methods.

When comparing the two technologies, it was decided to use Tor because it is a more convenient and more functional method of ensuring security.

Tor technology is vulnerable to an attack in which the last node on the network is spoofed and traffic passing through it can get to the attacker who carried out the attack. In order not to transmit traffic in the clear, even at the last node, the traffic is pre-encrypted using Socks5 technology.

SOCKS5 is a network protocol that allows packets to be sent from a client to a server through a proxy server, encrypting data in transit. In this case, a protocol with the ability to authorize is used, which allows only legitimate users to gain access to this server.

An analogue for the SOCKS5 protocol can be a VPN server. VPN (Virtual Privat Network) is a server that also encrypts data in transit, but unlike the chosen Socks5 technology, it becomes necessary to rent a VPN server, which in turn leads to additional financial costs. At the same time, setting up this technology is possible independently, but it requires a lot of time and specialized skills in this area.

Tor technologies together with SOCKS5 technology ensure the security of user data transmission, excluding most possible attacks.

The developed multi-level algorithm for protecting user data makes it possible to exclude the option of spoofing the target server. DNS proxy technology is responsible for this function.

DNS (Domain Name System) is a protocol that interprets a literal domain name into an IP address. In simple terms, its main function is to turn a user-friendly domain name into an IP address.

This protocol is susceptible to several types of attacks, such as DNS spoofing and Fast Flux DNS, in order to prevent these attacks, DNS proxy technology is used, which allows you to use a private DNS server, thereby protecting the user from data leakage through the domain name system. The operation scheme of the multi-level data protection algorithm is shown in Figure 1.

To implement the developed multi-level protection algorithm and to provide secure access to the global Internet for several users at the same time, a device is required that can act as an access point with the ability to build a user's route to the Internet using an encryption and data protection algorithm.



Figure1 – scheme of the multi-level data protection algorithm

### Element base selection and calculation of the portable router cost.

As a hardware platform for creating a portable wireless access point with a personal data protection system, the Raspberry Pi 4B microcomputer was chosen, which is optimal for creating such projects.

The Raspberry Pi is a Raspbian (-unix-like operating system) single board computer, the main feature of which was to be powerful hardware and a budget price. It quickly gained popularity due to its ease of use, wide range of possibilities, low price, and now it is the most popular single-board computer in the world.

Today, many research projects in the field of technical creativity, such as game consoles, storage servers, media players and many others, are designed based on the Raspberry Pi single-board microcomputer.



Figure 2 – Part of wireless access point (Raspberry Pi 4B, Bluetooth keyboard, LAN cable)

The Raspberry Pi 4B model we have chosen has a built-in WI-FI adapter, Bluetooth, Ethernet port, as well as modern technical characteristics.

#### **Step 1. Updating the system and installing HostAPD**

In the process of setting up we will need the following tools:

utilities for working with the bridge-utils network bridge  
daemon hostapd AP

DHCP server

In addition, it is worth updating the system, because with each updated version of the kernel, driver versions are updated, which will allow you to expand the capabilities of the adapter.

#### **Step 2. Interface settings**

Since we are going to configure a static wireless IP address, we will later need it to ignore the wlan0 interface, the default Wi-Fi card and not allow other interfaces to use it. This should isolate our access point from anyone interfering with its work.

#### **Step 3. Static IP address**

To access the device at a permanent address, you need to configure a static IP for the Raspberry Pi after setting up network access. First, this should be done on the router, because there will be a problem with the address conflict. Raspbian uses the dhcpd service and the dhcpd.conf configuration file to configure these settings. By default, the addresses of all interfaces are requested from the router via DHCP. [16]

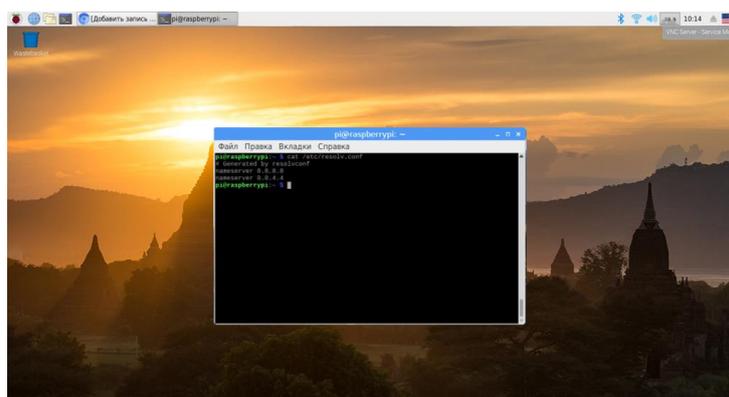


Figure 3 – Use the wpa\_passphrase utility to encrypt the password

#### **Step 4. Configure Hostapd**

After making all the previous settings, proceed to the actual setting of the access point - hostapd. To do this, make changes to the file hostapd.conf at / etc / hostapd. This file contains a lot of detailed information about commands and settings. Upon request

```
sudo cp /etc/hostapd/hostapd.conf /etc/hostapd/hostapd.conf.origina
```

you can access the original version of the file in case of loss of information and unintentional damage. [17]

#### **Step 5. Configuring Dnsmasq**

The default dnsmasq config file is very complex and won't work for our purposes. It is much easier to create a new config file.

It's a good idea to move the default config file somewhere just in case. We can do this by typing

```
sudo mv /etc/dnsmasq.conf /etc/dnsmasq.conf.orig
```

into the console and then creating our own empty file by typing

```
sudo nano /etc/dnsmasq.conf.
```

We also need to do a few things: bind the interfaces again to make sure they are not sending anything, redirect to Google DNS queries rather than short names, remove the non-routable address, and assign IP addresses between 192.168.220.50-150 from 12- hour rent.

#### **Step 6. IPv4 forwarding**

We now have a few things to do on the Wi-Fi side, as we won't have an access point if it can't connect to the internet. We fix this by redirecting wlan0 traffic to the Ethernet connection. When IPv4 forwarding is working properly, we can get our NAT (network address translation) between wlan0 and eth0 interfaces. To do this we update iptables.

#### **Step 7. Enabling services**

The final step is to start hostapd by typing

```
sudo service hostapd start
```

and start dnsmasq by typing

```
sudo service dnsmasq start.
```

After entering each of these commands, wait a few seconds and use a different Wi-Fi device to see if the hotspot is visible.

### **Conclusion.**

As a result of research work, on the basis of the Raspberry Pi 4b microcomputer, a wireless access point (router) was created with a developed multi-level security algorithm that can encrypt incoming and outgoing traffic, as well as ensure user anonymity when working on the global Internet. The wireless access point (router) developed in a research project, in addition to a high degree of data protection, has a compact size, the ability to supply power from 5 volts, unlike factory counterparts.

### **References.**

1. S. Kostyuchko and V. Tchaban, "Variational Method of Auxiliary Equations in Nonlinear Systems Analysis and Synthesis Problems," *2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CPEE47179.2019.8949123.
2. S. Kostyuchko, O. Kuzmych, A. Aitouche, S. Grinyuk and O. Mekush, "Application of Parametric Sensitivity Method to Analysis of Automatic Mooring Winch with Electric Drive System," *2019 4th Conference on Control and Fault Tolerant Systems (SysTol)*, Casablanca, Morocco, 2019, pp. 294-299, doi: 10.1109/SYSTOL.2019.8864751.
3. "PlanetLab – an open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services." URL: <https://www.planet-lab.org>
4. K. Ali and M. Scarr, "Robust methodologies for modeling web click distributions," in WWW. ACM, 2007. URL: <https://nymity.ch/tor-dns/pdf/Ali2007a.pdf>
5. J. Alstott, E. Bullmore, and D. Plenz, "powerlaw: A Python package for analysis of heavy-tailed distributions," *PLoS ONE*, vol. 9, no. 1, 2014. URL: <https://nymity.ch/tor-dns/pdf/Alstott2014a.pdf>

6. Amazon Web Services, "Alexa top sites." URL: <https://aws.amazon.com/alexa-top-sites/>
7. H. Asghari, "pyasn – Python IP address to autonomous system number lookup module." URL: <https://github.com/hadiasghari/pyasn>
8. S. Banerjee, T. G. Griffin, and M. Pias, "The interdomain connectivity of PlanetLab nodes," in PAM. Springer, 2004. URL: <https://nymity.ch/tor-dns/pdf/Banerjee2004a.pdf>
9. S. Bortzmeyer, "RFC 7816 – DNS query name minimisation to improve privacy," Mar. 2016. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7816>
10. X. Cai, R. Nithyanand, and R. Johnson, "CS-BuFLO: A congestion sensitive website fingerprinting defense," in WPES. ACM, 2014. URL: <https://nymity.ch/tor-dns/pdf/Cai2014a.pdf>
11. X. Cai, X. C. Zhang, B. Joshi, and R. Johnson, "Touching from a distance: Website fingerprinting attacks and defenses," in CCS. ACM, 2012. URL: <https://nymity.ch/tor-dns/pdf/Cai2012a.pdf>
12. A. Clauset, C. R. Shalizi, and M. E. J. Newman, "Power-law distributions in empirical data," SIAM Review, vol. 51, no. 4, 2009. URL: <https://arxiv.org/pdf/0706.1062>
13. G. Danezis, R. Dingedine, and N. Mathewson, "Mixminion: Design of a type III anonymous remailer protocol," in Security & Privacy. IEEE, 2003. URL: <https://nymity.ch/tor-dns/pdf/Danezis2003a.pdf>
14. R. Dingedine and N. Mathewson, "Tor protocol specification." URL: <https://spec.torproject.org/tor-spec>
15. R. Dingedine, N. Mathewson, and P. Syverson, "Tor: The secondgeneration onion router," in USENIX Security. USENIX, 2004. URL: <https://nymity.ch/tor-dns/pdf/Dingedine2004a.pdf>
16. <https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/wireless/access-point-routed.md>
17. <https://learn.pi-supply.com/make/how-to-setup-a-wireless-access-point-on-the-raspberry-pi/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-22>

УДК 004.4`24

Кукол Антон Євгенійович, студент

Хомяк Марія Ярославівна, канд. фіз.-мат. наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9245-7993>

Гришанович Тетяна Олександрівна, канд. фіз.-мат. наук, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-3595-6964>

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

## РОЗРОБКА ІГРОВОЇ ПРОГРАМИ «СУДОКУ» ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ PYCHARM

Кукол А. Є., Хомяк М.Я., Гришанович Т. О. Розробка ігрової програми «Судок» за допомогою середовища програмування PyCharm. У роботі досліджено засоби розробки програмного забезпечення для створення гри «Судок». Проаналізовано існуючі алгоритми та програмні засоби гри «Судок» та запропоновано власний аналог гри, яка розроблена на мові програмування Python в середовищі PyCharm.

**Ключові слова:** Судок, розробка гри, мова програмування Python, середовище PyCharm

Кукол А. Є., Хомяк М.Я., Гришанович Т. А. Разработка игровой программы «Судок» с помощью среды программирования PyCharm. В работе исследованы средства разработки программного обеспечения для создания игры «Судок». Проанализированы существующие алгоритмы и программные средства игры «Судок» и предложено собственный аналог игры, которая разработана на языке программирования Python в среде PyCharm.

**Ключевые слова:** Судок, разработка игры, язык программирования Python, среда PyCharm

Kukul A. Ye., Khomyak M.Ya. Hryshanovych T. O. Development of game sudoku by using the PyCharm integrated development environment. The paper considers the software development tools for creating game Sudoku. The existing algorithms and software of game Sudoku were analyzed and the analogue game was developed. The game is developed in the Python programming language in the PyCharm environment.

**Keywords:** Sudoku, game development, Python programming language, PyCharm IDE.

**Постановка проблеми.** Однією з популярних головоломок на сьогоднішній день є гра «Судок». Головоломка «Судок» допомагає розвинути увагу, логічне мислення, тренує пам'ять. Її суть достатньо проста, потрібно заповнити ігрове поле цифрами, в класичному випадку, від 1 до 9. Особливість полягає в тому, що числа в рядках, стовпцях та дев'ятьох квадратах розміром 3×3 не повинні повторюватись. З самого початку, в залежності від вибору рівня складності, ігрове поле заповнене певною кількістю чисел, що розміщені у клітинках випадковим чином. В результаті має утворитись повністю заповнена таблиця з числами. Судок зазвичай має один розв'язок, проте існують і спеціальні судок, в яких кількість розв'язків є відмінною від одиниці. На даний момент існує декілька видів цієї гри. Класичним варіантом судок вважають таблицю розміром 9×9. Проте, для досвідчених гравців існує гра розміром 15×15, та, навіть 16×16. Та розмір – не єдина характеристика, за якою поділяють судок. Існують ще деякі види судок: Віндоку, Латиниця, Жирандоль та ін.

**Аналіз актуальних досліджень.** На даний момент великою популярністю користується онлайн версія гри «Судок» Sudoku.com.

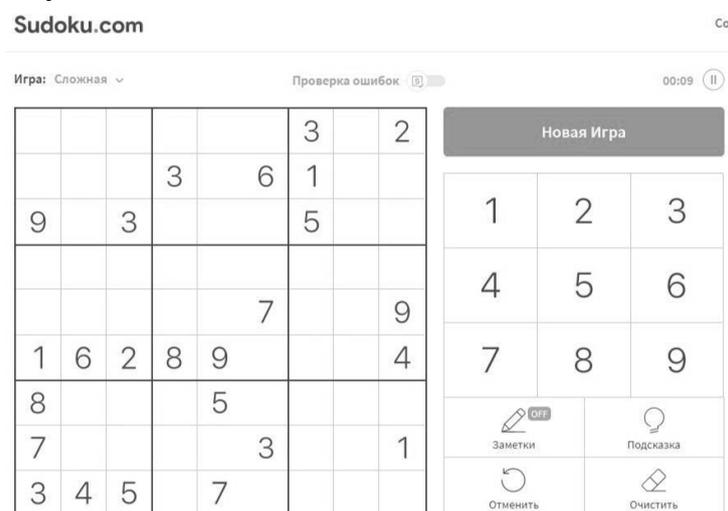


Рисунок 1 - Интерфейс Sudoku.com

Оригінальність цього продукту полягає у тому, що існує можливість здійснити перевірку помилок, скористатись підказкою, що покаже, яке з чисел користувач поставив неправильно або ж, яке число потрібно ставити в виділену клітинку. Цікавою функцією є кнопка примітки, що дозволяє в клітинці записувати всі можливі варіанти відповіді. Окрім, введення з клавіатури, присутня також можливість вибору чисел з спеціального блоку, де є всі числа від 1 до 9. Це дає змогу керувати лише мишею, без використання клавіатури. Також є кнопка відміни дії.

Мобільна версія гри розроблена компанією Brainium Studios. Її перевагами є зручний інтерфейс та система вивчення правил sudoku на прикладах.

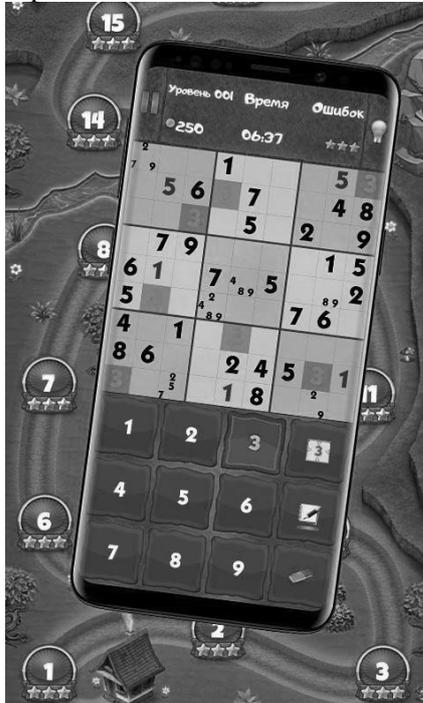


Рисунок 2 - Інтерфейс гри «Sudoku»

В мобільному застосунку присутні такі можливості: таблиця рекордів, досягнення, посібник з відповідями, підказки. При натисканні на клітинку, вона виділяється і з'являються дві лінії, горизонтальна та вертикальна, що допомагає візуально краще оцінювати рядки та стовпці, а квадрат (3x3) в якому знаходиться ця клітинка, зафарбовується однаковим кольором.

В комп'ютерних версіях гри, інтерфейс ігрового та допоміжних полів ненав'язливий та простий. Це зроблено для того, щоб не відволікати гравця від розв'язання поставленої задачі і сконцентрувати його увагу. Щодо мобільних версій, то вони являють собою кольорові варіанти, проте поєднання кольорів дуже вдале і не відволікає користувачів від головоломки.

**Метою роботи** є дослідження процесу та засобів розробки ігрової програми «Судок». Зокрема, програмний продукт повинен мати архітектуру desktop-application. Ігрова програма повинна генерувати ігрове поле розмірності 9 на 9, дозволяти гравцеві вводити цифри. У випадку введення невірної цифри або перемоги у грі відповідні повідомлення повинні бути виведені у консоль.

**Виклад основного матеріалу.** Алгоритм, за яким працює ігрова програма «Судок» виглядає наступним чином:

- 1) створюється ігрове поле, а саме таблиця розміром 9x9, без заданих значень;
- 2) користувачеві надається можливість ввести лише цифри, можливість літер або символів виключена. У випадку такого введення генерується повідомлення про помилку;
- 3) якщо користувач вирішив самостійно заповнити ігрове поле значеннями, він може самостійно вручну подвійним натиском миші задати їх з клавіатури і розпочати гру в будь-який момент;
- 4) при кожній зміні чисел на ігровому полі, програма зчитує дані, що були введені, та виконує перевірку на наявність значень, що вже повторюються в клітинках рядків, стовпців та так званих вузлах (квадратах 3x3);
- 5) якщо гравець припускається помилки, він отримає повідомлення від програми;
- 6) якщо користувач заповнив ігрове поле без повторень в рядках, стовпцях та вузлах – він отримає повідомлення про перемогу;

Для розробки ігрової програми було використано засоби мови програмування Python. В якості середовища розробки було вибрано крос-платформне інтегроване середовище JetBrains PyCharm, що є

безкоштовним для освітніх начальних закладів та проєктів із відкритим програмним кодом (перебуває під ліцензією Apache License) [7]. PyCharm розроблений на основі платформи IntelliJ IDEA. Користувачам надається можливість самостійно розширювати можливості PyCharm за допомогою написання плагінів. Деякі із плагінів для інтегрованих середовищ розробки, що розробляються JetBrains, є сумісними із PyCharm.

Для створення гри у середовищі PyCharm було створено проєкт, який складається з наступних файлів:

GUI.py – це проєктний файл, в якому необхідно підключити вихідний файл (це файл у якому малюється наше ігрове поле).

Solver.py – файл з вихідним кодом, в якому, для даного проєкту, за допомогою якого відбувається розв'язування ігрової дошки, тобто ігрового поля.

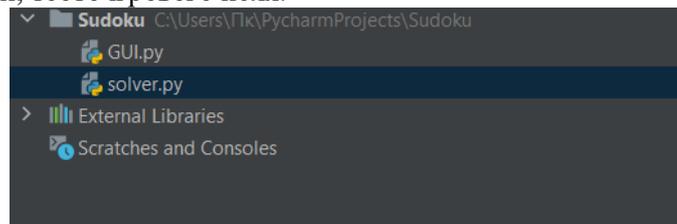


Рисунок 3 - Структура проєкту

Для представлення ігрової дошки використовується двовимірний масив, що складається із 9 стовпців та 9 рядків. Порожні комірки заповнюються 0, а заповнені комірки — відповідними цифрами. Нижче продемонстровано структуру даних для стартової дошки.

```
board = [
    [7, 8, 0, 4, 0, 0, 1, 2, 0],
    [6, 0, 0, 0, 7, 5, 0, 0, 9],
    [0, 0, 0, 6, 0, 1, 0, 7, 8],
    [0, 0, 7, 0, 4, 0, 2, 6, 0],
    [0, 0, 1, 0, 5, 0, 9, 3, 0],
    [9, 0, 4, 0, 6, 0, 0, 0, 5],
    [0, 7, 0, 3, 0, 0, 0, 1, 2],
    [1, 2, 0, 0, 0, 7, 4, 0, 0],
    [0, 4, 9, 2, 0, 6, 0, 0, 7]
]
```

Основними функціями, що описані у файлі Solver.py є valid () та solve().

Функція valid(), синтаксис якої наведено нижче, перевіряє чи є дійсною поточна дошка. На вхід дана функція отримує три параметри:

bo - безпосередньо дошка, яка представляється у вигляді двовимірного масиву цілих чисел;

num - число, що розміщується у задану позицію;

pos - позиція, у яку поміщається задане число num.

```
def valid(bo, num, pos):
    # Перевірка рядка
    for i in range(len(bo[0])):
        if bo[pos[0]][i] == num and pos[1] != i:
            return False

    # Перевірка стовпця
    for i in range(len(bo)):
        if bo[i][pos[1]] == num and pos[0] != i:
            return False

    # Перевірка квадрату 3x3
    box_x = pos[1] // 3
    box_y = pos[0] // 3

    for i in range(box_y*3, box_y*3 + 3):
        for j in range(box_x * 3, box_x*3 + 3):
            if bo[i][j] == num and (i,j) != pos:
                return False

    return True
```

Перевірка правильності дошки здійснюється простим обходом спочатку рядка, потім стовпця, потім квадрату 3x3. У випадку, якщо число num зустрічається у рядку або стовпці, або квадраті, які перевіряються, то функція valid() повертає значення "хибно" (False). Якщо ж число не зустрічається у заданих позиціях, то значення "істинно" (True).

Функція solve(), код якої подано нижче, здійснює розв'язування самого sudoku, використовуючи алгоритм бектрекінгу (backtraking).

```
def solve(bo):
    find = find_empty(bo)
    if not find:
        return True
    else:
        row, col = find

        for i in range(1,10):
            if valid(bo, i, (row, col)):
                bo[row][col] = i

                if solve(bo):
                    return True

                bo[row][col] = 0

    return False
```

На вхід solve() отримує дошку, де уже розміщені декілька цифр. Надалі функція працює за наступним алгоритмом:

1. Знайти порожню позицію.
2. Спробувати розмістити у ній цифри 1-9.
3. Перевірити, чи може задана цифра бути розміщена у заданій позиції заданої дошки.
  - а. Якщо цифра підходить, рекурсивно заповнити дошку, використовуючи кроки 1-
  - б. Якщо цифра не підходить, очистити шойно заповнену комірку (поставте в задану позицію цифру 0), і повернутись до попереднього кроку.

4. Як тільки дошка заповнена визначенням цього алгоритму, дошка розв'язана.

Візуалізація дошки та самого процесу гри описана у файлі GUI.py. У ньому описано клас Grid, який задає структур дошки, та клас Cube, що відповідає за промальовування кожної комірки.

Малювання кожного екземпляру класу cube здійснюється із використанням функції draw(), яка задає товщину ліній для кожної із комірок, розмір та назву шрифту.

Функція click() описує реакцію натискання вказівника миші на поле та дозволяє поставити цифру self у позицію pos.

```
def click(self, pos):
    """
    :param: pos
    :return: (row, col)
    """
    if pos[0] < self.width and pos[1] < self.height:
        gap = self.width / 9
        x = pos[0] // gap
        y = pos[1] // gap
        return (int(y),int(x))
    else:
        return None
```

В результаті отримується поле для гри в "Судоку", що складається із 81 клітинки та містить заповнені та порожні поля.

Sudoku								
7	8		4			1	2	
6				7	5			9
			6		1		7	8
		7		4		2	6	
		1		5		9	3	
9		4		6				5
	7		3				1	2
1	2				7	4		
	4	9	2		6			7
<b>x0</b>			<b>Time: 0:2</b>					

Рисунок 4 – Приклад створеного «Судоку»

У випадку, якщо судоку розв'язане правильно, користувачеві у консоль виводиться відповідне повідомлення.

```
Success
Success
Game over
```

У випадку програшу у консоль також виводиться відповідне повідомлення.

```
C:\Users\Пк\AppData\Local\Programs\Python\Python38-32\python.exe D
pygame 2.0.0 (SDL 2.0.12, python 3.8.5)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute
Wrong
```

**Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок.** У роботі досліджено розв'язування гри "Судоку", досліджено процес розробки ігрової програми «Судоку» із використанням засобів мови програмування Python. Досліджено середовище розробки програмного забезпечення PyCharm та можливості мови програмування Python для розробки програмного забезпечення. Перспективи для подальшого розвитку програмного продукту полягають у створенні локальної таблиці рекордів для користувачів, у розробці рівнів складності, забезпечення можливості паузи та збереження проміжного варіанту гри для подальшого розв'язування.

#### Список бібліографічного опису:

1. Bailey R.A., Cameron P.J., Connelly R. Sudoku. Gerechte Designs, Resolutions, Affine Space, Spreads, Reguli, and Hamming Codes // American Mathematical Monthly, Vol. 115, N 5, 2008, pp. 383–404.
2. История судоку [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://historygames.ru/golovolomki/istoriya-sudoku.html>.
3. Кальчева А. Судоку: японские головоломки [Електронний ресурс] / Анастасия Кальчева // Загадочная Япония. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <http://leit.ru/modules.php?name=Pages&pa=showpage&pid=1037&page=1>.
4. Муратов С. В. Решаем Судоку (Sudoku) [Електронний ресурс] / Сергей Васильевич Муратов. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: [http://zhurnal.lib.ru/m/muratow\\_s\\_w/sudoku.shtml](http://zhurnal.lib.ru/m/muratow_s_w/sudoku.shtml).
5. Програмуємо на Python / Майкл Доусон. – Питер, 2019. – 416 с.
6. Простой Python. Современный стиль программирования. / Билл Любанович. – Питер, 2019. – 480 с.
7. <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/>

#### References

1. Bailey R.A., Cameron P.J., Connelly R. Sudoku. Gerechte Designs, Resolutions, Affine Space, Spreads, Reguli, and Hamming Codes // American Mathematical Monthly, Vol. 115, No. 5, 2008, pp. 383–404.
2. History of Sudoku [Electronic resource]. - 2017. - Resource access mode: <https://historygames.ru/golovolomki/istoriya-sudoku.html>.
3. Kalcheva A. Sudoku: Japanese puzzles [Electronic resource] / Anastasia Kalcheva // Mysterious Japan. - 2007. - Resource access mode: <http://leit.ru/modules.php?name=Pages&pa=showpage&pid=1037&page=1>.
4. Muratov S. V. Solve Sudoku (Sudoku) [Electronic resource] / Sergei Vasilyevich Muratov. - 2006. - Resource access mode: [http://zhurnal.lib.ru/m/muratow\\_s\\_w/sudoku.shtml](http://zhurnal.lib.ru/m/muratow_s_w/sudoku.shtml).
5. Program in Python / Michael Dawson. - Peter, 2019. - 416 p.
6. Simple Python. Modern programming style. / Bill Lubanovich. - Peter, 2019. - 480 p.
7. <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-23>

УДК 024.5

Лук'янюк Світлана Василівна, науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-7469-8144>

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ

## ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО АРХІВУ ДАНИХ ЯК ОСНОВИ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОГО ЗАПИТУ

**Лук'янюк С. В. Принципи формування електронного архіву даних як основи для здійснення інформаційно-пошукового запиту.** Розкрито принципи формування електронного архіву даних як основи для здійснення інформаційно-пошукового запиту. Визначено поняття електронного архіву даних, електронний архів документів це багатогранна система, призначена для зберігання електронних документів у будь-якому форматі в залежності від їх призначення і вимог користувачів. Підкреслено, що система архівації електронних документів дозволяє класифікувати документи за типами та видами залежно від їх призначення і затребуваності, а також проводити релевантний пошук документів за ключовими словами, реквізитами та іншими параметрами. Наголошується, що формування електронного архіву даних як основи для здійснення інформаційно-пошукового запиту умовно можна розбити на кілька етапів: визначення масиву документації, яка підлягає розміщенню в електронному архіві; оцифровка документів; структурування електронних документів на основі різного роду критеріїв; розробка регламентів роботи; визначення рівнів доступу співробітників до документів для їх перегляду або редагування і забезпечення безпеки. Наведено структурну схему цифрового архіву та схему реалізації інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних. Описано стадії наповнення електронного архіву документів та обґрунтовано способи наповнення. Запропоновано алгоритм реалізації інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву та проаналізовано моделі інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних з відокремленням їх переваг та недоліків, що представлені у вигляді порівняльної таблиці. Зазначено, що практичний аспект реалізації інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних ґрунтується на наборі термінів, що представляють собою окремі слова або словосполучення, а математична складова відображення електронного документу являє собою покриття аналізу частин (фрагментів) документу, де кожному окремому фрагменту співвідноситься набір даних.

**Ключові слова:** електронний архів, структура, принципи, інформаційно-пошуковий запит, інформація.

**Лук'янюк С. В. Принципы формирования электронного архива данных как основы для осуществления информационно-поискового запроса.** Раскрыты принципы формирования электронного архива данных как основы для осуществления информационно-поискового запроса. Определено понятие электронного архива данных, электронный архив документов это многогранная система, предназначенная для хранения электронных документов в любом формате в зависимости от их назначения и требований пользователей. Подчеркнуто, что система архивации электронных документов позволяет классифицировать документы по типам и видам в зависимости от их назначения и востребованности, а также проводить релевантный поиск документов по ключевым словам, реквизитами и другим параметрам. Отмечается, что формирование электронного архива данных как основы для осуществления информационно-поискового запроса условно можно разбить на несколько этапов: определение массива документации, подлежащей размещению в электронном архиве; оцифровка документов; структурирования электронных документов на основе различного рода критериев; разработка регламентов работы; определение уровней доступа сотрудников к документам для их просмотра или редактирования и обеспечения безопасности. Приведена структурная схема цифрового архива и схему реализации информационно-поискового запроса на базе электронного архива данных. Описаны стадии наполнения электронного архива документов и обоснованно способы наполнения. Предложен алгоритм реализации информационно-поискового запроса на базе электронного архива и проанализированы модели информационно-поискового запроса на базе электронного архива данных с отделением их преимуществ и недостатков, которые представлены в виде сравнительной таблицы. Отмечено, что практический аспект реализации информационно-поискового запроса на базе электронного архива данных основывается на наборе терминов, представляющих собой отдельные слова или словосочетания, а математическая составляющая отображения электронного документа представляет собой покритие анализа частей (фрагментов) документа, где каждому отдельному фрагменту соотносится набор данных.

**Ключевые слова:** электронный архив, структура, принципы, информационно-поисковый запрос, информация.

**Lukianiuk Svitlana. Principles of creation of the electronic data archive as a background for retrieval requests.** The principles of forming an electronic data archive as a basis for the implementation of information retrieval are revealed. The concept of electronic data archive is defined, electronic document archive is a multifaceted system designed to store electronic documents in any format depending on their purpose and user requirements. It is emphasized that the system of archiving electronic documents allows to classify documents by types and types depending on their purpose and demand, as well as to conduct a relevant search of documents by keywords, details and other parameters. It is emphasized that the formation of the electronic data archive as a basis for the implementation of information retrieval can be divided into several stages: determining the array of documentation to be placed in the electronic archive; digitization of documents; structuring electronic documents based on various criteria; development of work regulations; determining the levels of access of employees to documents for viewing or editing and ensuring security. The structural scheme of the digital archive and the scheme of realization of the information search query on the basis of the electronic data archive are given. The stages of filling the electronic archive of documents are described and the methods of filling are substantiated. An algorithm for implementing an information retrieval query based on an electronic archive is proposed and models of an information retrieval query based on an electronic data archive are analyzed, separating their advantages and disadvantages, which are presented in the form of a comparative table. It is noted that the practical aspect of the implementation of information retrieval on the basis of

electronic data archive is based on a set of terms representing individual words or phrases, and the mathematical component of electronic document display is a failure to cover the analysis of parts (fragments) data.

**Keywords:** electronic archive, structure, principles, information retrieval request, information.

**Вступ та постановка проблеми дослідження.** В умовах стрімкого розвитку цифрового простору, сучасний стан автоматизованих інформаційних систем та технологій, комп'ютерних мереж та програмного забезпечення, спрямованого на автоматизацію роботи з документами будь-якого типу і формату, обумовлює необхідність впровадження цифрових документів та ведення електронних архівів.

На сьогодні, найбільш поширеним інструментом роботи з цифровими документами є електронний архів як «система структурованого зберігання електронних документів, що забезпечує надійність зберігання, конфіденційність і розмежування прав доступу, відстеження історії використання документа, швидкий і зручний пошук» [1].

Точніше, електронний архів документів це багатогранна система, призначена для зберігання електронних документів в будь-якому форматі в залежності від їх призначення і вимог користувачів.

Крім того, це програмне забезпечення, інтегроване у відповідну технічну оболонку, можна розглядати як універсальну автоматизовану систему управління документообігом. Система архівації електронних документів дозволяє класифікувати документи за типами та видами залежно від їх призначення і затребуваності, а також проводити релевантний пошук документів за ключовими словами, реквізитами та іншими параметрами [2]. Вона забезпечує цілісність електронних документів і можливість спільної роботи багатьох користувачів з документами відповідно до функцій кожного окремого користувача та рівня доступу. Разом з тим електронний архів даних можна використовувати для здійснення інформаційно-пошукового запиту, а також перегляду, редагування та друку шуканого документа.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні кілька років, чимало, як зарубіжних так і вітчизняних вчених здійснило відкриття у сфері електронного архівування даних.

Питання застосування систем управління електронним документообігом на підприємстві розглянути Н.С. Козлова та Т.М. Білоусько [2]. Авторами було проаналізовано головні принципи роботи системи електронного документообігу та виконано аналіз прогресивного програмного забезпечення, які забезпечують автоматизацію всієї діяльності підприємства.

В.Я. Плаксієнко та К.В. Черненко [3] розглянуто переваги електронного безпаперового документообігу, визначено основні цілі автоматизації обліку, розкрито структурні елементи безпаперової бухгалтерії в умовах розвитку ринку. Науковцями підкреслено, що без надійної системи документообігу жоден суб'єкт господарювання не може якісно та ефективно функціонувати, оскільки оперативність, надійність та віддача всього господарського механізму залежить від об'єктивності та своєчасності інформаційного забезпечення.

Представили основні напрями діяльності служб науково-технічної інформації державних архівних установ України, визначили форми і методи їх інформаційної, науково-методичної роботи та довідково-інформаційного обслуговування такі автори як С. С. Артамонова, А. А. Майстренко, Л. П. Одинока, Р. В. Романовський [4].

В.І. Тимофеев, Ю.А. Тимошин, В.П. Ярченко та С.О. Шуст [5] розробили схеми архітектури обробки та архівації електронних даних на прикладі бібліотеки із застосуванням гетерогенного середовища.

Із зарубіжних авторів варто відмітити роботи А. Sophian, G.Y. Tian, D. Taylor, J. Rudlin [6], S. Pittner, S.V. Kamarthi [7], С. Huang, X.Wu, Z.Xu, Y.Kang [8], X. Chen, Y. Lei [9], С. Huang, X. Wu [10], Sophian A., Tian G.Y., Taylor D., Rudlin J. [11] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання дослідження принципів формування електронного архіву даних як основи для здійснення інформаційно-пошукового запиту залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

**Мета статті.** Розкрити принципи формування електронного архіву даних як основи для здійснення інформаційно-пошукового запиту.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Формування електронного архіву даних як основи для здійснення інформаційно-пошукового запиту умовно можна розбити на кілька етапів:

- визначення масиву документації, яка підлягає розміщенню в електронному архіві;
- оцифровка документів;
- структурування електронних документів на основі різного роду критеріїв;
- розробка регламентів роботи;

– визначення рівнів доступу співробітників до документів для їх перегляду або редагування і забезпечення безпеки.

В умовах сьогодення, на практиці прийнято створювати електронні образи документів при вхідній реєстрації або з моменту їх підписання, і таким чином формувати, по суті, версію аналогового документа. Тому актуальним залишається питання щодо формування самостійного електронного документу, гострота якого визначається відсутністю чіткої нормативно-правової бази, яка регламентує коло документів, дозволених до функціонування виключно в електронному вигляді, що часто пов'язано з масштабністю різновидів документів [1]. Крім того, будь-який носій, на якому розміщується той чи інший електронний документ, має обмежений термін служби, що тягне за собою необхідність його дублювання, а також збереження його описових, структурних та ідентифікаційних метаданих. Структурна схема цифрового архіву наведена на рисунку 1.

Обробка і структурування масиву електронних матеріалів зв'язується з визначенням життєвого циклу документів для своєчасного виведення їх із системи у зв'язку із закінченням терміну зберігання. Введення довідково-пошукового апарату дозволяє визначити системи пошуку, адаптовані під практичні потреби тієї чи іншої організації. При коректно сформованій пошуковій системі нівелюється можливість уявної втрати документа, оскільки вона дає можливість здійснювати пошук як по постійній частині реквізитів документа, яка відображає сутність документа та його індивідуальні особливості, довідковим і сервісним реквізитами, так і у відповідності до вихідних відомостей електронного документа [5].

У зв'язку з тим, що основним завданням електронного архіву є повне забезпечення схоронності даних, важливим в роботі електронного архіву є питання безпеки інформації, що зберігається як від несанкціонованого прочитання третіми особами, так і від будь-якого виду модифікації. Слід розуміти, що забезпечення такого типу безпеки має на увазі збереження не тільки інформації, а й фактичного інформаційного середовища, в якому забезпечується функціонування електронного архіву.

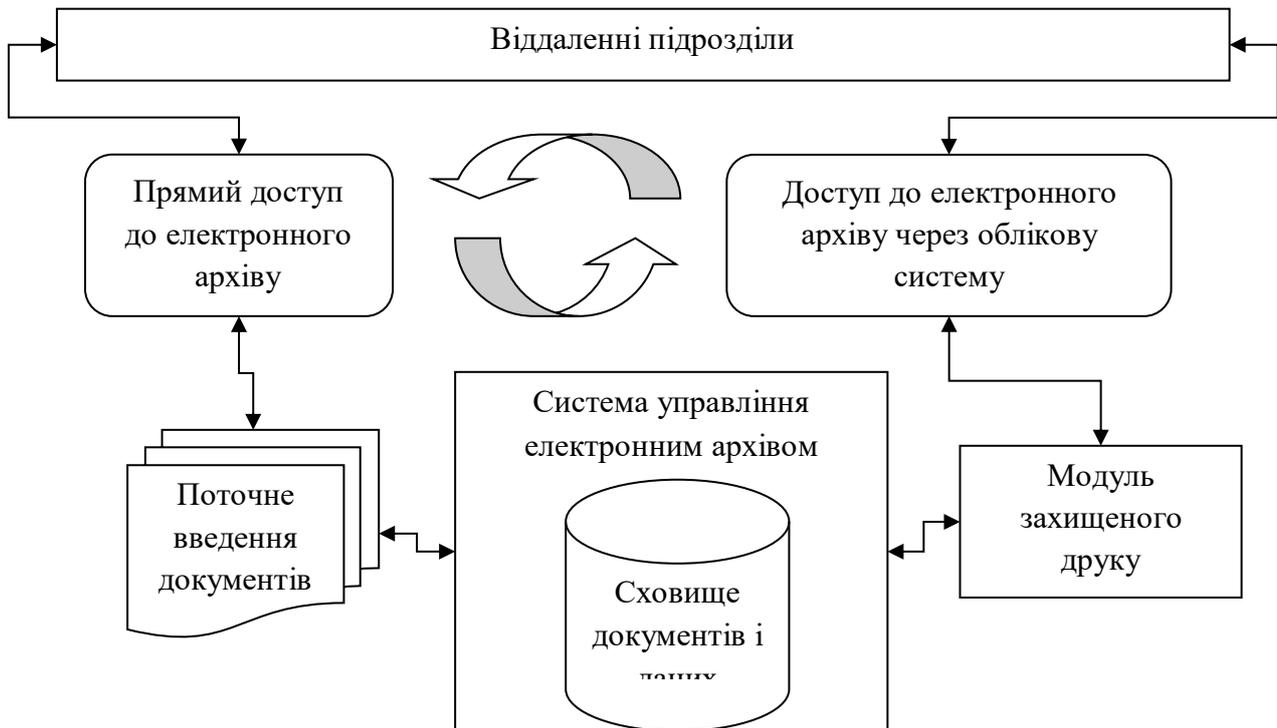


Рис. 1. Структурна схема цифрового архіву

Способи наповнення електронного архіву документів наведено на рисунку 2. Вони умовно поділяються на два види:

- сканування документів та введення їх в електронну базу;
- електронний обіг документів за умови отримання останніх з електронних джерел.

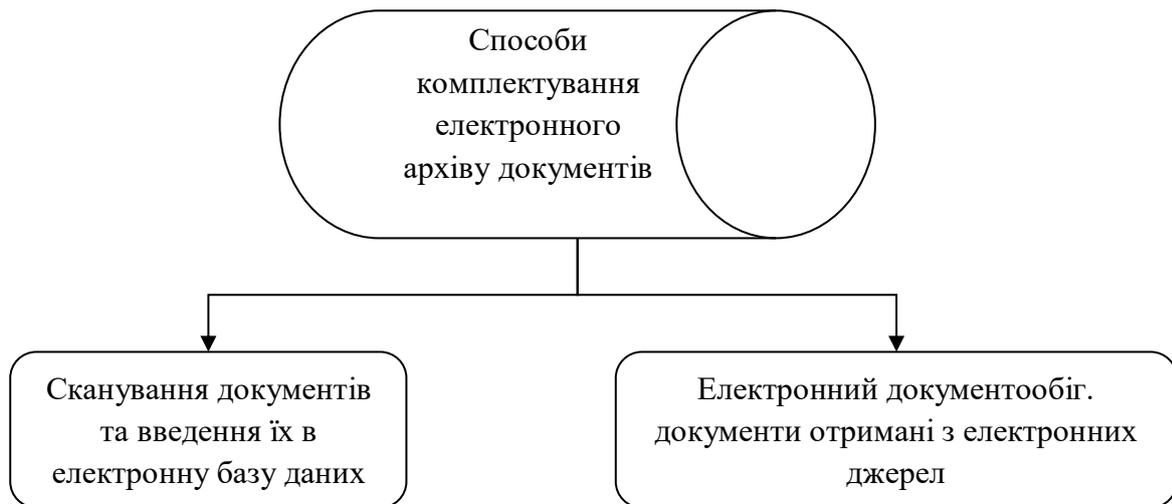


Рис. 2. Способи наповнення електронного архіву документів

Головна стадія формування електронного архіву – внесення впорядкованої документації на цифрові носії. В даному питанні також є ряд вимог – вони пред'являються до відповідності носіїв стандартам ДСТУ, до програмного забезпечення (повинно бути ліцензованим), до шифрування і формату запису файлів, і т.д.

Завершальна стадія – перевірка носіїв, на яких вже знаходяться документи, формування та відправка файлів в систему на зберігання.

Програмне забезпечення на сервері, що забезпечує роботу архіву, має механізм авторизації за логіном і паролем, а також шифрування каналу (HTTPS протокол). Даний механізм забезпечує фіксацію часу внесення змін і логіну, застосованого для цього, а також дозволяє відстежувати деталі внесених змін шляхом порівняння з попередніми версіями файлу.

Назва файлів технічної документації в електронному архіві має строгий формат. Цей формат включає в себе: ідентифікатор проекту; характеристику децимальних номерів; порядковий архівний номер; тип документа; номер версії файлу; розширення файлу.

Інформаційно-пошуковий запит на базі електронного архіву даних здійснюється у відповідності до схеми наведеної на рисунку 3.

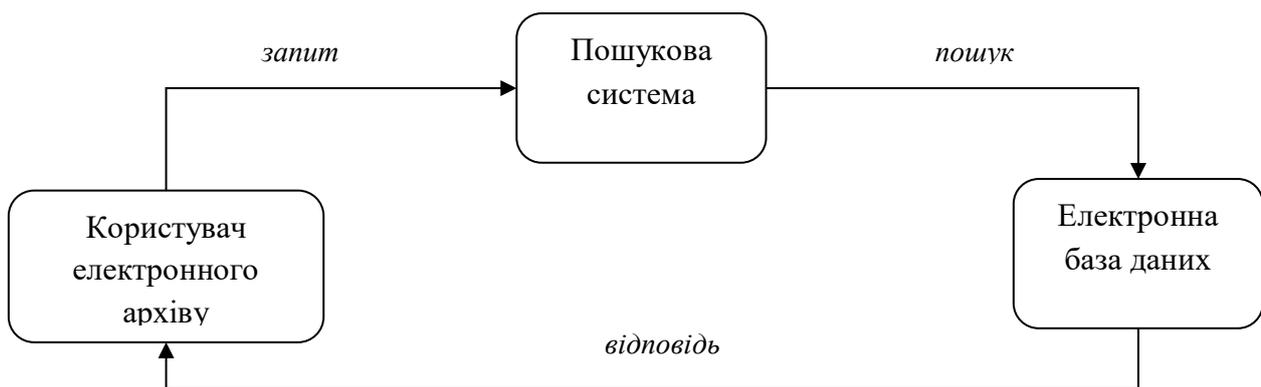


Рис. 3. Схема реалізації інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних

В даний час роботу більшості пошукових систем можна спрощено представити у вигляді наступних кроків:

1. Користувач формує запит.
2. Запит передається пошуковій системі.
3. Система здійснює пошук ресурсу в базі даних на основі цього запиту.
4. Відображення списку результатів, що найбільш підходять до даного пошукового запиту.

На сьогодні, основними підходами до організації інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних, є три моделі кожна з яких має свої переваги і недоліки (табл.1).

Таблиця 1

**Моделі організації інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних**

Модель	Переваги	Недоліки
Булева модель	проста в реалізації	відсутність контекстних операторів
	дозволяє обробляти великі обсяги дани	невисока ефективність пошуку
Векторно-просторова модель	компактність подання	у класичному вигляді малоприсадибна для обробки великих обсягів даних у зв'язку із застосуванням масивів високої розмірності
Імовірнісна модель	можливість прямого введення	низька обчислювальна масштабованість
	можливість виконання ряду аналітичних операцій	необхідність навчання системи

Крім наведених вище, існують і інші підходи, але їх ефективність поки не досягла того рівня, який би сприяв їх поширенню.

Практичний аспект реалізації інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних ґрунтується на наборі термінів, що представляють собою окремі слова або словосполучення.

Електронний документ можна узагальнити у вигляді покриття:

$$F = \bigcup_i F_i$$

де  $F_i$  - це частини (фрагменти) документу, що підлягає пошуку.

Кожному окремому фрагменту  $F_i$  співвідноситься набір даних:

$$K_i = \{(K_l, z_l) | l = 1 \dots n_i\}$$

де  $K_l$  - ключове слово;

$z_l$  - вага ключового слова.

Далі будемо припускати, що виконуються наступні співвідношення: якщо певна частина  $F_i$  міститься у фрагменті  $F_j$ , то набір ключових слів міститься в  $K_j$ . Більш того, будемо вважати, що фрагменту  $F_i \cap F_j$  відповідає набір ключових слів  $K_i \cap K_j$ . Таким чином, визначається правило успадкування ключових слів.

Рішення про видачу результату інформаційно-пошукового запиту на базі електронного архіву даних приймається в результаті порівняння наборів термінів, які використовувалися відповідно до документів і запитів. До уваги користувача пропонуються ті документи, набори термінів яких збігаються з наборами термінів запитів.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** З практичної точки зору, застосування електронних архівів в роботі з документами в організації будь-якого типу на сучасному етапі розвитку не викликає питань ні у дослідників, ні у користувачів будь-якого рівня професійної підготовки. Однак питання введення і експлуатації електронних архівів як інструменту роботи тільки архівних підрозділів організацій є предметом наукових дискусій. На практиці оцифровані документи часто розглядаються як страхувальні, що є неприпустимим, а функції електронного архіву зводяться до фактичної зв'язки електронної копії документа з оригіналом на паперовому носії.

Разом з тим, незважаючи на ряд позначених організаційних проблем, можна стверджувати, що на сучасному етапі розвитку електронний архів є багатофункціональним продуктом, що дозволяє здійснювати різнопланову роботу з практично будь-якими масивами документів.

**Список бібліографічного опису**

1. Тихонов В. И., Юшин И. Ф. (2001). Современные концепции электронных архивов. *Отечественные архивы*, 2, 17-26.
2. Козлова Н.С., Білоусько Т. М (2021). Система управління електронним документообігом на підприємстві. URL : <http://dspace.uccu.org.ua/> (дата звернення: 11.03.2021).
3. Плаксієнко В. Я., Черненко К. В. (2019). Електронний (безпаперовий) документообіг. Електронний цифровий підпис. *Економіка. Управління. Інновації. Серія : Економічні науки*. Вип. 1. URL : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui\\_2019\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2019_1_9).

4. Служби науково-технічної інформації державних архівних установ України : інформаційна, організаційна та науково-методична діяльність : метод. рекомендації. Держ. архів. служба України (2012). УНДІАСД ; уклад.: С. С. Артамонова, А. А. Майстренко, Л. П. Одинока, Р. В. Романовський. Київ, 34 с.
5. Тимофєєв В. І. , Тимошин Ю. А., Ярченко В. П., Шуст С. О. (2009). Архітектура систем обробки та архівації бібліотечного контенту в гетерогенному середовищі ВНЗ. *Інформ. технології в освіті*, 4, 41-48.

#### References.

1. Stiles T., Lawrence J. (2014). Neil Gow A Guide to Archiving of Electronic Records Paperback. Import, 24 February 2014. 26 p. URL : <https://the-hsraa.org/wp-content/uploads/2017/12/AGuidetoArchivingElectronicRecordsv1.pdf>
2. Chowdhury G. G. (2010). Information Retrieval, 3rd edition. London: Facet Publishing, 488 p.
3. Kirchgassner G. (2007). Introduction to Modern Time Series Analysis / G. Kirchgassner, J. Wolters. Berlin : Springer. 274 p.
4. Hegger R., Kantz H., Schreiber T. (1999). Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package. *CHAOS* 9. P. 413–435.
5. Kuhlthau C. C. (2004). Seeking Meaning: A Process Approach to Library and Information Services. Westport, CT: Libraries Unlimited. 342 p.
6. Arasu, A., Cho, J., Garcia-Molina, H., Paepcke, A., & Raghavan, S. (2001). Searching the web. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 1(1), 2-43.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-24>

УДК 004.021

<sup>1</sup>Марценюк Василь Петрович, д.т.н., професор<https://orcid.org/0000-0001-5622-1038><sup>2</sup>Андрушак Ігор Євгенович, д.т.н., професор<https://orcid.org/0000-0002-8751-4420><sup>3</sup>Мілян Назар Васильович, аспірант<https://orcid.org/0000-0003-0825-1384><sup>1</sup>Університет Бельсько-Бяли, Польща<sup>2</sup>Луцький національний технічний університет<sup>3</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## МІНІМАКСНИЙ ПІДХІД В МАШИННОМУ НАВЧАННІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Марценюк В.П., Андрушак І.С., Мілян Н.В. **Мінімаксний підхід в машинному навчанні: сучасний стан та перспективи розвитку.** В статті представлено значення машинного навчання у сучасному світі. Звернуто особливу увагу на використання алгоритмів машинного навчання в медицині, зокрема використання різноманітних моделей, починаючи від регресії, SVM, випадкових лісів для контрольованого навчання та PCA для неконтрольованого. Підкреслюються основні невизначеності та завдання машинного навчання, що виникають у основних медичних додатках (діагностика, лікування та профілактика). Математично описано проблеми машинного навчання в медичних дослідженнях. Оптимізація є важливою частиною машинного навчання. Основна увага приділена мінімаксному підходу у машинному навчанні. Розглянуто ряд мінімаксних підходів таких, як: Minimax Probability Machine (MPM), Generalized Hidden-Mapping Minimax Probability Machine (GHM-MPM), Minimum Error Minimax Probability Machine (MEMPM), парна мінімаксна ймовірність екстремального нахилу машини (TMPELM), машина подвійної мінімаксної ймовірності (TWMPM) та деякі інші.

**Ключові слова:** машинне навчання, оптимізація, мінімаксний підхід, Minimax Probability Machine.

Марценюк В.П., Андрушак І.С., Мілян Н.В. **Минимаксных подход в машинном обучении: современное состояние и перспективы развития.** В статье представлены значения машинного обучения в современном мире. Обращено особое внимание на использование алгоритмов машинного обучения в медицине, в частности использование различных моделей, начиная от регрессии, SVM, случайных лесов для контролируемого обучения и PCA для неконтролируемого. Подчеркиваются основные неопределенности и задачи машинного обучения, возникающие в основных медицинских приложениях (диагностика, лечение и профилактика). Математически описано проблемы машинного обучения в медицинских исследованиях. Оптимизация является важной частью машинного обучения. Основное внимание уделено подходу минимакс в машинном обучении. Рассмотрен ряд минимаксных подходов таких, как: Minimax Probability Machine (MPM), Generalized Hidden-Mapping Minimax Probability Machine (GHM-MPM), Minimum Error Minimax Probability Machine (MEMPM), парная минимаксная вероятность экстремального наклона машины (TMPELM), машина двойной минимаксной вероятности (TWMPM) и некоторые другие.

**Ключевые слова:** машинное обучение, оптимизация, минимаксных подход, Minimax Probability Machine.

Martsenyuk V.P., Andrushchak I.Ye., Milian N.V. **Features of information technology distribution of radio waves by frequency bands.** The article presents the importance of machine learning in the modern world. Particular attention is paid to the use of machine learning algorithms in medicine, in particular the use of various models, such as regression, SVM, random forests for controlled learning and PCA for uncontrolled. The main uncertainties and tasks of machine learning that arise in the main medical applications (diagnosis, treatment and prevention) are emphasized. The problems of machine learning in medical research are described mathematically. Optimization is an important part of machine learning. The main attention is paid to the minimax approach in machine learning. A number of minimax approaches are considered, such as: Minimax Probability Machine (MPM), Generalized Hidden-Mapping Minimax Probability Machine (GHM-MPM), Minimum Error Minimax Probability Machine (MEMPM), pair minimax probability of extreme tilt machine (TMPELM), double minima machine probabilities (TWMPM) and some others.

**Keywords:** machine learning, optimization, minimax approach, Minimax Probability Machine.

**Постановка проблеми.** Разом зі стрімким накопиченням інформації швидкими темпами розвиваються і технології аналізу даних. Якщо ще кілька років тому, наприклад, було можливо лише сегментувати клієнтів на групи зі схожими перевагами, то тепер можливо будувати моделі для кожного клієнта в режимі реального часу, аналізуючи, наприклад, його переміщення по мережі Інтернет для пошуку конкретного товару. Інтереси споживача можуть бути проаналізовані, і відповідно до побудованої моделі виведена відповідна реклама або конкретні пропозиції. Модель також може налаштовуватися і перебудовуватися в режимі реального часу.

Із зростанням обсягу даних відбувся швидкий розвиток машинного навчання (ML), який зробив багато теоретичних проривів та застосовується у різних галузях. Оптимізація є важливою частиною ML.

Суть більшості алгоритмів ML полягає у побудові моделі оптимізації та вивченні параметрів у цільовій функції з поданих даних. В епоху великих даних ефективність та дієвість алгоритмів чисельної оптимізації різко впливає на популяризацію та застосування моделей ML. З метою сприяння розвитку ML було висунуто низку ефективних методів оптимізації, які покращили продуктивність та ефективність методів ML.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** ML успішно застосовується в медицині і може вирішити широкий спектр проблем. В даний час за алгоритмами ML аналізуються не тільки дані об'єктивного обстеження та спостережень пацієнта, але й результати аналізів та обстежень на медичному обладнанні, таких як ЕКГ, ЕЕГ, КТ, МРТ та ін. Використовуються різноманітні моделі, починаючи від регресії, SVM, випадкових лісів для контрольованого навчання та PCA для неконтрольованого [2,17,18]. Поглиблене навчання дозволяє розробити розумну систему моніторингу охорони здоров'я [4], дозволяє використовувати носимі датчики та дані соціальних мереж [1], підтримує обробку природних мов [3]. Застосування таких засобів підвищує ефективність лікаря, позбавляючи його від виконання ряду рутинних операцій. Однією із суттєвих проблем використання ML у медицині є підготовка правильних різноманітних медичних даних з різних джерел для навчальних алгоритмів, що враховують невизначеності.

Невизначеність залишається важливим фактором, що впливає на процес прийняття рішень у всіх галузях; це суттєво впливає на точність, чутливість та специфіку застосовуваних алгоритмів. Багато застосувань машинного навчання (ML) залежать від хорошої оцінки невизначеності [5]: прогнозування [6]; прийняття рішень [7]; навчання з обмежених, зашумлених та відсутніх даних [8]; вивчення складних персоніфікованих моделей [9]; стиснення даних [10]; автоматичне наукове моделювання [11] та проектування експерименту [12].

Зокрема, підкреслюються основні невизначеності та завдання машинного навчання, що виникають у основних медичних додатках (діагностика, лікування та профілактика). Моделі, що описують хвороби та патологічні процеси, слід враховувати, щоб справлятися з невизначеностями [13]. Ось чому доводиться аналізувати різні типи завдань машинного навчання в медичних дослідженнях (як з вчителем, так і без вчителя) також з точки зору впливу невизначеності.

Отже, більшість даних, які використовуються в ML для медичних досліджень, надходять з різних сенсорних пристроїв. На основі отриманих спостережень є прагнення зробити певні висновки або прийняти рішення, передбачити певні показники. Очевидно, що в одних і тих же спостереженнях потрібно приймати однакові рішення або передбачати однакові значення. З іншого боку, вони використовують різні типи вхідних даних з різних причин (наприклад, через зменшення розмірів даних). Крім того, для оцінки стану пацієнта можуть використовуватися різні діагностичні пристрої. Такі типи невизначеностей називаються алеаторними та пов'язані з невизначеностями даних.

Слід зазначити, що вибір моделі машинного навчання також впливає на прийняті рішення та прогнозовані медичні показники. Це пов'язано з поняттями чутливості та специфічності, так само, як і при медичній диференціальній діагностиці, порівнюючи певні методи медичного дослідження. Такий тип невизначеності, пов'язаний із моделлю, відомий як епістемічний. Водночас ці два види невизначеності не повинні впливати на прийняті рішення чи прогнозовані значення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Математичний опис контрольованої проблеми машинного навчання в медичних дослідженнях було представлено в [17,18]. Тут формулюється це у випадку мінімаксу.

Математично проблеми машинного навчання в медичних дослідженнях базуються на наступних даних. Є набір  $D$ , що містить  $N$  кортежів

$$D = \{X_i \mid i = \overline{1, N}\} \quad (1)$$

З метою моделювання алеаторних невизначеностей розглянемо контрольовану ML щодо розподілу навчальних кортежів. У межах класу всіх підмножин  $D$  визначимо  $\Gamma$ , розподіли класів навчальних та тестових наборів

$$\Gamma = \left\{ (D_{train,j}, D_{test,j}) \subset D \times D \mid D_{train,j} \cap D_{test,j} = \emptyset, D_{train,j} \cup D_{test,j} = D, j = \overline{1, 2^N} \right\} \quad (2)$$

Де  $D_{train,j}$  та  $D_{test,j}$  – це всі можливі набори для навчання та тестування відповідно. На практиці стратегії передискретизації – це розподіл класів кортежів, які найкращим чином характеризують алеаторні невизначеності. Вводиться опис стратегії передискретизації  $\gamma \subset \Gamma$

$$\gamma = \left\{ (D_{train,k}, D_{test,k}) \subset D \times D \mid D_{train,j} \cap D_{test,j} = \emptyset, \cup_k D_{train,k} = \cup_k D_{test,k} = D \right\}, \quad (3)$$

Як приклади стратегій передискретизації  $\gamma$  можна розглянути  $cv3, cv5, cv10$ , що відповідають кратній перехресній валідації для різних  $k$ .

Кожен  $i$ -й кортеж  $X_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_p^i, Y^i)^T$  складається з вхідних даних  $(x_1^i, x_2^i, \dots, x_p^i)^T$  (їх також називають атрибутами) та вихідних даних  $Y^i$ .

Нехай вектор рядка  $x_j = (x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^N)$  представляє значення  $j$ -го атрибута всіх  $N$  кортежів. Вихідний атрибут  $Y = (Y^1, Y^2, \dots, Y^N)$  приймає всі вихідні дані. Атрибути  $x_1, \dots, x_p$  та  $Y$  (залежно від завдання класифікації або регресії) можуть приймати як числові, так і категоріальні значення.

**Об'єкт.** У найпростішому випадку проблемою контрольованого навчання є передбачити, використовуючи певний предиктор, значення вихідного атрибута  $Y^{N+1}$  на основі значень атрибутів  $x_1^{N+1}, \dots, x_p^{N+1}$ . Предиктор повинен максимізувати точність прогнозування вихідного атрибута, а саме ймовірність  $P\{Y^j \text{ corresponds to } x_1^{N+1}, \dots, x_p^{N+1}\}$  для довільного  $j \in \{1, \dots, N\}^1$ .

Далі, застосовуючи підхід  $\text{minimax}$ , вводиться  $h \in \Psi$ , розглянутий клас моделей ML  $h(X, \gamma)$ , який можна навчити та налаштувати на дані  $X \subset D$  та оцінити з урахуванням деяких стратегій передискретизації  $\gamma$ .

Порівнюючи різні моделі ML, метою машинного навчання є мінімізація очікуваних втрат. Але також потрібно взяти до уваги стратегії передискретизації, за якими також повинні оцінювати функцію втрат. Таке формулювання проблеми ML розглядає два види невизначеності. А саме, невизначеність у передискретизації є алеаторичною, оскільки вона пов'язана з даними. У той же час невизначеність при виборі моделей є епістемічною. Математично мінімальна задача ML описується як пошук моделі  $h$  завдяки

$$\arg \min_{h \in \Psi} \max_{\gamma \in \Gamma} E[L(Y, h(X, \gamma))] \quad (4)$$

Мінімаксий підхід (разом із максиміном та максимаксом) традиційно застосовується для проблем регресії [14,15]. У випадку ML один із узагальнених мінімаксий підходів відомий як  $\text{Minimax Probability Machine (MPM)}$  [24]. Можна стверджувати, що MPM є класичним результатом з вивчення надійності інтелектуальних моделей [24,25], який можна розглядати як типовий метод класифікації надійності навчання. Завданням оптимізації MPM є мінімізація верхньої межі ймовірності неправильної класифікації вивчення параметрів моделі. Верхню межу ймовірності неправильної класифікації можна використовувати як явний показник для оцінки надійності класифікаційних моделей. Версія MPM з параметричною редукацією була запропонована в [24,25] для нелінійних задач класифікації. Більше того, декілька вдосконалених алгоритмів MPM були представлені з різних точок зору [26, 27, 28,29]. У [27,28] вказувалося, що в деяких випадках слід розрізняти ймовірність неправильної класифікації двох класів, оскільки один клас може бути важливішим за інший. У [29] MPM було розширено для регресії. У роботі [26] MPM було введено для підготовки нечіткого класифікатора TSK до більш прозорої та зрозумілої моделі класифікації. На додаток до MPM, вивчення надійності інтелектуальних моделей розглядалося з інших точок зору. Наприклад, поняття “конфлікт” та “незнання” були введені для позначення надійності класифікаційних моделей у [30, 31].

Щоб зробити метод прийняття мінімального ймовірного методу доступним для навчання додаткових інтелектуальних моделей та реалізації вивчення надійності цих моделей, пропонується

© Марценюк В.П., Андрушак І.Є., Мілян Н.В.

узагальнена прихована мінімальна машина ймовірностей (Generalized Hidden-Mapping Minimax Probability Machine (GHM-MPM)). У роботі [20] верхня межа ймовірності неправильної класифікації MPM була використана як явний показник для характеристики надійності класифікаційної моделі.

Рисунок 1 використовується для ілюстрації функції прийняття рішення. Вхідний вектор  $x$  можна відобразити у прихований простір через  $\beta(\cdot)$  і підставити в MPM. Якщо вихідний результат у дорівнює  $-1$ , тоді  $x$  присвоюється негативному класу; в іншому випадку він віднесений до позитивного класу. Тут зовнішній  $\beta(\cdot)$  є запасною частиною, тоді як внутрішній MPM є фіксованим. Різниця лише у  $\beta(\cdot)$ , а обробка в MPM однакова.

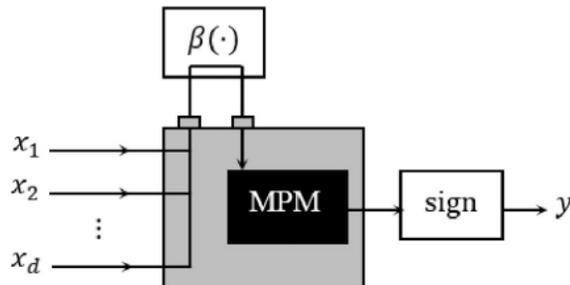


Рисунок 1. Функція прийняття рішення Generalized Hidden-Mapping Minimax Probability Machine (GHM-MPM)

Одним недоліком MPM є те, що він не включає термін регуляризації для побудови розділової гіперплощини. Регуляризація використовується для уникнення неправильно поставлених задач, а також для того, щоб добре підігнати навчальні зразки, одночасно знижуючи ризик перенавчання [32]. Наприклад, регуляризація Тихонова, або  $l_2$ -норма, широко використовується в навчальних машинах; стратегія, популяризована методом Support Vector Machine (SVM) [32]. Ця стратегія досі є одним з найпопулярніших методів класифікації та широко використовується в таких сферах, як комп'ютерний зір [33,34], медична діагностика [35, 36] та бізнес-аналітика [37, 38]. Сакета Натх (Saketha Nath) і Бхаттачарія (Bhattacharyya) [39] запропонували регульовану альтернативу MPM, в якій  $l_2$ -норма була мінімізована. Однак цей підхід використовує фіксовані значення для коефіцієнтів неправильної класифікації, а не оптимізує ці методи із завданням оптимізації.

Іншим недоліком MPM є те, що він передбачає унікальне відкликання класів для обох класів. Іншими словами, передбачається, що обидва класи однаково важливі. Машина мінімальних помилок мінімальної ймовірності (Minimum Error Minimax Probability Machine, MEMPM) [40] - це відповідне розширення MPM, яке мінімізує опуклу комбінацію коефіцієнтів неправильної класифікації, збалансовуючи два класи на основі їх попередніх ймовірностей.

Пропонується розглянути регуляризовані рецептури MPM та MEMPM, в яких  $l_2$  - норма вектора мінімізується разом із коефіцієнтами помилок. На відміну від моделі, запропонованої Saketha Nath та Bhattacharyya [39], ці показники є частиною проблеми оптимізації, що веде до нелінійних формулювань конусного програмування другого порядку (NSOCP).

Незважаючи на те, що MPM демонструє чудові результати узагальнення, він зазвичай вирішується вирішенням великої задачі програмування конусів другого порядку (SOCP). Коли кількість зразків збільшується, це збільшить складність його обчислення, що значно обмежує його придатність. Тому, спираючись на MPM та TELM, пропонується парна мінімаксна ймовірність екстремального нахилу машини (TMPELM) для розпізнавання шаблонів. Подібно до TELM, TMPELM також шукає дві непаралельні розділяючі гіперплощини в просторі об'єктів TELM. Для кожного гіперплану TMPELM намагається максимізувати ймовірність правильного класу класифікації зразків, тобто мінімізувати найгірший випадок (максимальну) ймовірність неправильної класифікації класу зразків, тоді як відстань до іншого класу якомога більша.

У роботі [23] [22] була запропонована машина подвійної мінімаксної ймовірності (TWMPM), яка поєднує в собі переваги як MPM, так і подвійної векторної машини підтримки. Ма та ін. вдосконалили цей підхід до MPM, який може безпосередньо оцінювати точність ймовірності, пов'язану з проблемами класифікації [19] та регресії [21], і таким чином робить модель ML більш прозорою.

У роботі [16] контрольована задача машинного навчання, що означає прогнозування  $Y$  за допомогою  $X$ , функції втрат  $L$  та набору розподілів ймовірностей  $\Gamma_{\text{on}}(X, Y)$ , була викладена як мінімакс-проблема щодо  $L$ , коли максимізація за всіма можливими розподілами  $G$  та мінімізація за правилами прийняття рішень  $\psi \in \Psi$ .

$$\arg \min_{\psi \in \Psi} \max_{P \in \Gamma} E[L(Y, \psi(X))] \quad (5)$$

де  $E[\bullet]$ - математичне сподівання.

Проблема (5) була вирішена шляхом введення узагальнення принципу максімументропії.

У роботі [41] розглянуто функціональний градієнтний підхід до імовірнісного мінімаксу активного навчання, де розглядається імовірнісний мінімакс активного навчання, зокрема нехай  $(x, y) \in \mathbf{R}^d \times \{-1, 1\}$  та  $Y, X$  - відповідні їм випадкові величини. Крім того, нехай  $p(Y = y | X = x)$  є умовною ймовірністю мітки  $y$  наведеного прикладу  $x$ . Простим класифікатором, заснованим на цій умовній ймовірності, є:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & p(Y = 1 | X = x) \geq \frac{1}{2} \\ -1 & p(Y = 1 | X = x) < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (6)$$

Прикладами з найбільшою невизначеністю є такі, що  $p(Y = 1 | X = x)$  найближче до  $\frac{1}{2}$ . Будь-які оцінки  $p(Y = 1 | X = x)$ , що дорівнюють  $\frac{1}{2}$ , свідчать про те, що мітка точки є випадковою. Враховуючи налаштування активного навчання, де маркованих даних мало і є багато немаркованих даних, неоптимально вибирати точки, оцінка яких  $p(Y = 1 | X = x)$  наближається до  $\frac{1}{2}$ . Бажано вибрати метод, заснований на обчисленні граничних значень для класифікації, а не просто поріг, що дорівнює  $\frac{1}{2}$  [42].

У прикладі  $x_i, i \in [1, n]$  найкращою міткою є  $y_i^b = \arg \max_{y_i} p(Y = y_i | X = x_i)$  відповідно до поточної оцінки умовної ймовірності; найгірша позначка -  $y_i^o = \arg \max_{y_i} p(Y = y_i | X = x_i)$  щодо поточної оцінки. Наприклад, коли умовні ймовірності цих двох міток далекі одна від одної, правильною міткою, безумовно, є  $\arg \max_{y_i} p(Y = y_i | X = x_i)$ . В іншому випадку правильна мітка не визначена. Одним із способів знайти такий приклад є пошук такого з максимальною ймовірністю гіршого позначення, тобто

$$q = \arg \max_q \min_{y_q} p(Y = y_q | X = x_q) \quad (7)$$

Однак ця модель не бере до уваги інші немарковані дані. Якщо припустити, що точність умовної оцінки ймовірності буде підвищена шляхом врахування немаркованих даних, інтуїтивно зрозумілою цільовою функцією ймовірнісного мінімаксного активного навчання (Probabilistic Minimax Active Learning, PMAL) є:

$$q = \arg \max_q \min_{y_q} \max_{y_{u-q}} p(y | x) \quad (8)$$

Де  $u$  - набір немаркованих даних,  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$  та  $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ .

Під час підготовки класифікатора Теварі та Бартлетт (Tewari and Bartlett) [43] доводять, що розрідженість не виникає, якщо умовні ймовірності можна точно оцінити. Для набору втрачених функцій вони забезпечують точний компроміс між можливістю оцінки умовної ймовірності та розрідженістю рішення. У статті [44] продемонстровано, що проблема класифікації визначає унікальну умовну ймовірність, яку опукла мінімізація ризику знаходить для неї. Крім того, дослідження [42] емпірично показує, що  $p[y=1|x]$  не може бути оцінено Logit-Boost та AdaBoost, оскільки ці два методи переважують навчання  $p[Y=1|X=x]$ , навіть незважаючи на те, що обидва ефективні як класифікатори. У [45] зазначено, що всі емпіричні алгоритми мінімізації ризиків, такі як SVM та логістична регресія, мінімізують функцію відстані оцінки умовної ймовірності даного прикладу міток до її справжнього невідомого  $p[Y=y|X=x]$ . Оскільки багато з цих алгоритмів, таких як SVM, є універсальними [46], PMAL також вважається універсальним, тобто він вибирає приклад, який мінімізує ризик класифікатора будь-якого даного розподілу даних.

AdaBoost був вперше представлений для підвищення точності набору простих правил великих вирівнювачів або слабких класифікаторів з метою отримання сильного класифікатора із задовільними властивостями узагальнення [47]. У багатьох проблемах навчання, порівняно легко знайти просте емпіричне правило з низькою точністю, дуже важко отримати класифікатор з високою точністю. Наприклад, якщо в документі є слово «футбол» як слабкий класифікатор, документ може стосуватися спорту. Грубо кажучи, в кожній ітерації AdaBoost знаходить слабкий класифікатор для неправильно класифікованих точок даних у навчальному наборі і додає цей слабкий класифікатор до зваженої суми раніше обраних слабких класифікаторів [47].

Цікаво, що AdaBoost можна трактувати по-різному. Кожне з цих уявлень про посилення забезпечує багате теоретичне розуміння навчальних проблем. Однією з них є перспектива функціонального градієнта Фрідмана [48], який пропонує більш загальне розуміння підсилення і може бути використаний для виведення його нових варіантів підсилення [49]. Дослідження Bühlmann та Yu [50] виявляє, що, хоча дисперсія або складність L2boosting для лінійних моделей зростає на кожній ітерації, величина збільшення дисперсії експоненційно зменшується у числах ітерацій. Це є причиною того, чому підсилувач стійкий до перенавчання. Хоча підсилення можна розглядати як підхід, заснований на секціях, такий як ансамбль або методи пакунків, він принципово відрізняється [51].

Мета авторів у роботі Mallapragada et al. [52] полягала у підвищенні точності будь-якого даного класифікатора, використовуючи немарковані дані. Для напівконтрольованої проблеми покращення вони пропонують алгоритм посилення, який називається SemiBoost [52]. SemiBoost використовує міру схожості між маркованими даними та немаркованими, щоб призначити псевдо мітку для будь-яких немаркованих даних. Присвоєння псевдоміток немаркованим даним було запропоновано в методах самонавчання, ASSEMBLE та Semisuperposed MarginBoost [52]. За таких підходів запас, як правило, покращується, але ніякої нової інформації класифікатор надавати не буде. Вибрані приклади для призначення псевдоміток насправді далекі від межі рішення. Перепідготовка з нещодавно присвоєними (псевдо) мітками підвищує рівень їхньої класифікації ще вище [52]. На відміну від них, автори у Mallapragada et al. [52] порівнюють приклади з маркованими та немаркованими даними та використовують подібність між прикладами, щоб призначити їм псевдо.

Цікавим підходом до маркованих даних є вибір немаркованих даних, у мітках яких класифікатор є найбільш впевненим у собі, і присвоєння цих міток, які називаються псевдо мітками, до цих вибраних немаркованих даних [52]. Всебічне дослідження методів, заснованих на цьому підході, їх властивості та експериментальні результати відображено у Triguero et al. [53]. У цій перспективі PMAL зображується як метод, який розглядає псевдо мітки для немаркованих даних і вибирає найгіршу мітку для вибраного прикладу за цільовою функцією.

**Висновки.** Із зростанням обсягу даних відбувся швидкий розвиток машинного навчання, який зробив багато теоретичних проривів та застосовується у різних галузях. Оптимізація є важливою частиною машинного навчання. Суть більшості алгоритмів машинного навчання полягає у побудові моделі оптимізації та вивченні параметрів у цільовій функції з поданих даних. В епоху великих даних ефективність та дієвість алгоритмів чисельної оптимізації різко впливає на популяризацію та застосування моделей машинного навчання. З метою сприяння розвитку машинного навчання було висунуто низку ефективних методів оптимізації, які покращили продуктивність та ефективність методів машинного навчання.

Основна увага приділена мінімаксовому підходу у машинному навчанні, сильні та слабкі сторони різних методів. Розглянуто ряд мінімаксових підходів таких, як: Minimax Probability Machine (MPM), Generalized Hidden-Mapping Minimax Probability Machine (GHM-MPM), Minimum Error Minimax Probability Machine (MEMPM), парна мінімаксна ймовірність екстремального нахилу машини (TMPELM), машина подвійної мінімаксової ймовірності (TWMPM) та деякі інші.

#### Список бібліографічних посилань

1. Farman Ali, Shaker El-Sappagh, S.M. Riazul Islam, Amjad Ali, Muhammad Attique, Muhammad Imran, and Kyung-Sup Kwak, "An intelligent healthcare monitoring framework using wearable sensors and social networking data" *Future Generation Computer Systems*, vol. 114, pp. 23-43, 2021, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X1931605X>
2. A. Qayyum, J. Qadir, M. Bilal and A. Al-Fuqaha, "Secure and Robust Machine Learning for Healthcare: A Survey," in *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, doi: 10.1109/RBME.2020.3013489.
3. Spasic I, Nenadic G, "Clinical Text Data in Machine Learning: Systematic Review," *JMIR Med Inform*, vol.8(3):e17984, 2020, ;8(3):e17984. [Online]. Available: <https://medinform.jmir.org/2020/3/e17984>
4. Farman Ali, Shaker El-Sappagh, S.M. Riazul Islam, Daehan Kwak, Amjad Ali, Muhammad Imran, and Kyung-Sup Kwak, "A smart healthcare monitoring system for heart disease prediction based on ensemble deep learning and feature fusion," *Information Fusion*, vol. 63, pp. 208-222, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.06.008>
5. MI05\_uncertaintyindl.pdf, [https://cs.adelaide.edu.au/~javen/talk/ML05\\_Uncertainty\\_in\\_DL.pdf](https://cs.adelaide.edu.au/~javen/talk/ML05_Uncertainty_in_DL.pdf), (Accessed on 05/01/2020).
6. J. Noymanee and T. Theeramunkong, "Flood forecasting with machinelearning technique on hydrological modeling," *Procedia Computer Science*, vol. 156, pp. 377-386, 2019, [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919311330>.
7. P. Chemweno, L. Pintelon, P. N. Muchiri, and A. Horenbeek, "Risk assessment methodologies in maintenance decision making: A review of de-pendability modelling approaches," *Reliability Engineering System Safety*, vol. 173, pp. 64-77, 2018, [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832016301934>.
8. X. Alameda-Pineda, T. M. Hospedales, E. Ricci, N. Sebe, and X. Wang, "Emerging topics in learning from noisy and missing data," in *Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference - MM '16*, ACM Press, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/2964284.2986910>.
9. R. Pirracchio, M. J. Cohen, I. Malenica, J. Cohen, A. Chambaz, M. Cannesson, C. Lee, M. Resche-Rigon, and A. Hubbard, "Big data and targeted machine learning in action to assist medical decision in the icu," *Anaesthesia Critical Care Pain Medicine*, vol. 38, no. 4, pp. 377-384, 2019, [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S23525568183>
10. V. Cacciatore, A. Carullo, M. Parvis, and A. Vallan, "Uncertainty effects of data compression in measurement applications," in *2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, IEEE, Apr. 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/imtc.2006.328639>.
11. E. D. Mitra and W. S. Hlavacek, "Parameter estimation and uncertainty quantification for systems biology models," *Current Opinion in Systems Biology*, vol. 18, pp. 9-18, Dec. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.coisb.2019.10.006>.
12. S.Wu and H. S. Mortveit, "A general framework for experimental design, uncertainty quantification and sensitivity analysis of computer simulation models," in *2015 Winter Simulation Conference (WSC)*, IEEE, Dec. 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/wsc.2015.7408240>.
13. A. G. Nakonechny and V. P. Marzeniuk, "Uncertainties in Medical Processes Control," in *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 581, pp. 185-192.
14. A. G. Nakonechnyi and A. B. Kachinskiy, "Minimax parameter estimators of a linear regression with multiplicative noises," *Journal of Automation and Information Sciences*, vol. 29, no. 2-3, pp. 98-104, 1997. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v29.i2-3.130>.
15. J. Michálek and O. Nakonechny, "Minimax estimates of a linear parameter function in a regression model under restrictions on the parameters and variance-covariance matrix," *Journal of Mathematical Sciences*, vol. 102, no. 1, pp. 3790-3802, Oct. 2000. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/bf02680236>.
16. F. Farnia and D. Tse, "A minimax approach to supervised learning," in *Proceedings of the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems*, 2016, isbn: 9781510838819.
17. V. Martsenyuk, L. Babinets, Y. Dronyak, O. Paslay, O. Veselska, K. Warwas, I. Andrushchak, and A. Klos-Witkowska, "On development of machine learning models with aim of medical differential diagnostics of the comorbid states," in *2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, IEEE, Sep. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2019.8924345>.
18. V. Martsenyuk, V. Povoroznyuk, A. Semenets, and L. Martynyuk, "On an approach of the solution of machine learning problems integrated with data from the open-source system of electronic medical records: Application for fractures prediction," in *Artificial Intelligence and Soft Computing*, Springer International Publishing, 2019, pp. 228-239. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20915-5\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20915-5_21).
19. Jun Ma, Liming Yang, Yakun Wen, and Qun Sun, "Twin minimax probability extreme learning machine for pattern recognition," *Knowledge-Based Systems*, vol. 187, Jan., pp. 104806, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.06.014>
20. Zhaohong Deng, Junyong Chen, Te Zhang, Longbing Cao, and Shitong Wang, "Generalized Hidden-Mapping Minimax Probability Machine for the training and reliability learning of several classical intelligent models," *Information Sciences*, vol. 436-437, pp. 302-319, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.01.034>
21. Jun Ma and Jumei Shen, "A novel twin minimax probability machine for classification and regression," *Knowledge-Based Systems*, vol. 196, pp. 105703, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105703>
22. Liming Yang, Yakun Wen, Min Zhang, and Xue Wang, "Twin minimax probability machine for pattern classification," *Neural Networks*, vol. 131, pp. 201-214, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.07.030>

23. Liming Yang, Boyan Yang, Shibo Jing, and Qun sun, "A minimax probability extreme machine framework and its application in pattern recognition," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 81, pp. 260-269, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.02.012>
24. G.R.G. Lanckriet, L.E. Ghaoui, C. Bhattacharyya, and M.I. Jordan, "A robust minimax approach to classification," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 3(3), pp. 555-582, 2003.
25. [G.R.G Lanckriet, L.E. Ghaoui, C. Bhattacharyya, et al., *Minimax probability machine*, in: 2001 Neural Information Processing Systems (NIPS), 2001, pp. 801-807.
26. Z. Deng, L. Cao, Y. Jiang, S. Wang, *Minimax probability tsk fuzzy system classifier: a more transparent and highly interpretable classification model*, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 23 (4) (2015) 813-826.
27. K. Huang, H. Yang, I. King, et al., *The minimum error minimax probability machine*, *J. Mach. Learn. Res.* 5 (4) (2004) 1253-1286.
28. K. Huang, H. Yang, I. King, M.R. Lyu, *Imbalanced learning with a biased minimax probability machine*, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B* 36 (4) (2006) 913-923.
29. T. Strohmann, G.Z. Grudic, *A formulation for minimax probability machine regression*, in: 2002 Neural Information Processing Systems (NIPS), 2002, pp. 769-776.
30. E. Lughofer, *Single-pass active learning with conflict and ignorance*, *Evolving Syst.* 3 (4) (2012) 251-271. [25] E. Lughofer, O. Buchtala, *Reliable all-pairs evolving fuzzy classifiers*, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 21 (4) (2013) 625-641.
31. E. Lughofer, O. Buchtala, *Reliable all-pairs evolving fuzzy classifiers*, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 21 (4) (2013) 625-641
32. V. Vapnik, *Statistical Learning Theory*, John Wiley and Sons, 1998.
33. W. Liu, L. Zhang, D. Tao, J. Cheng, *Support vector machine active learning by hessian regularization*, *J. Vis. Commun. Image Represent.* 49 (2017) 47-56.
34. D. Tao, L. Jin, W. Liu, X. Li, *Hessian regularized support vector machines for mobile image annotation on the cloud*, *IEEE Trans. Multimed.* 15 (4) (2013) 833-844.
35. B.D. Barkana, I. Saricicek, B. Yildirim, *Performance analysis of descriptive statistical features in retinal vessel segmentation via fuzzy logic, ann, svm, and classifier fusion*, *Knowl.-Based Syst.* 118 (2017) 165-176.
36. A. Wang, N. An, G. Chen, L. Liu, G. Alterovitz, *Subtype dependent biomarker identification and tumor classification from gene expression profiles*, *Knowl.-Based Syst.* 146 (2018) 104-117.
37. Z. -Y. Chen, Z. -P. Fan, *Distributed customer behavior prediction using multiplex data: A collaborative MK-SVM approach*, *Knowl.-Based Syst.* 35 (2012) 111-119.
38. S. Maldonado, C. Bravo, J. Pérez, J. López, *Integrated framework for profitbased feature selection and svm classification in credit scoring*, *Decis. Support Syst.* 104 (113-121) (2017).
39. J. Saketha Nath, C. Bhattacharyya, *Maximum margin classifiers with specified false positive and false negative error rates*, in: *Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining*, 2007.
40. K. Huang, H. Yang, I. King, M. Lyu, L. Chan, *The minimum error minimax probability machine*, in: *J. Mach. Learn. Res.*, *J. Mach. Learn. Res.* 5 (2004) 1253-1286.
41. Seyed Hossein Ghafarian, Hadi Sadoghi Yazdi, *Functional gradient approach to probabilistic minimax active learning*, in *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 85 (2019) 21-32
42. Mease, D., Wyner, A., Buja, A., 2007. *Boosted classification trees and class probability/quantile estimation*. *J. Mach. Learn. Res.* 8, 409-439.
43. Tewari, A., Bartlett, P.L., 2007. *On the consistency of multiclass classification methods*. *J. Mach. Learn. Res.* 8, 1007-1025. [http://dx.doi.org/10.1007/11503415\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/11503415_10).
44. Telgarsky, M., Dudík, M., Schapire, R., 2015. *Convex risk minimization and conditional probability estimation*. In: *JMLR: Workshop and Conference Proceedings*, vol. 40, pp. 1-54.
45. Zhang, T., 2004. *Statistical behavior and consistency of classification methods based on convex risk minimization*. *Ann. Statist.* 32 (1), 56-134. <http://dx.doi.org/10.1214/aos/1079120130>.
46. Steinwart, I., Scovel, C., 2007. *Fast rates for support vector machines using Gaussian kernels*. *Ann. Statist.* 35 (2), 575-607. <http://dx.doi.org/10.1214/009053606000001226>.
47. Schapire, R.E., Freund, Y., 2012. *Boosting: Foundations and Algorithms*. MIT Press, p. 544. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
48. Friedman, J.H., 2001. *Greedy function approximation: A gradient boosting machine*. *Ann. Statist.* 29 (5), 1189-1232. <http://dx.doi.org/10.1214/aos/1013203451>.
49. Peter, B., Yu, B., Bühlmann, P., 2006. *Sparse boosting*. *J. Mach. Learn. Res.* 7, 1001-1024. <http://dx.doi.org/10.1109/ICASSP.2009.4959911>.
50. Bühlmann, P., Yu, B., 2003. *Boosting with the L2loss: Regression and classification*. *J. Amer. Statist. Assoc.* 98 (462), 324-339. <http://dx.doi.org/10.1198/016214503000125>.
51. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., 2008. *The Elements of Statistical Learning Data*, second ed. Springer.
52. Mallapragada, P.K., Jin, R., Jain, A.K., Liu, Y., 2009. *SemiBoost: Boosting for semi-supervised learning*. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 31 (11), 2000-2014.
53. Triguero, I., García, S., Herrera, F., 2015. *Self-labeled techniques for semi-supervised learning: Taxonomy, software and empirical study*. *Knowl. Inf. Syst.* 42 (2), 245-284. <http://dx.doi.org/10.1007/s10115-013-0706-y>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-25>

УДК: 004.05(075.8)

<sup>1</sup>Марценюк Василь Петрович, д.т.н., професор,<https://orcid.org/0000-0001-5622-1038><sup>2</sup>Сверстюк Андрій Степанович, д.т.н., професор,<https://orcid.org/0000-0001-8644-0776><sup>3</sup>Андрушак Ігор Євгенович, д.т.н., професор,<https://orcid.org/0000-0002-8751-4420><sup>3</sup>Чудовець Віталій Васильович, к.е.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0001-6043-479X><sup>3</sup>Кошелюк Віктор Андрійович, к.т.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-4136-5087><sup>1</sup>Університет Бельсько-Бяли, Польща<sup>2</sup>Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна<sup>3</sup>Луцький національний технічний університет, Україна

## ASPECTS OF PROTECTION OF ACCOUNTING DATA IN THE CONDITIONS OF USE OF INNOVATION AND INFORMATION TECHNOLOGIES.

Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрушак І.Є., Чудовець В.В., Кошелюк В.А. Аспекти захисту бухгалтерських даних в умовах використання інноваційно-інформаційних технологій. У статті розглядається проблеми сучасного стану кібербезпеки і ідентифікації кіберзагроз у сфері застосування облікових даних, формулювання заходів з мінімізації ризиків викрадення, пошкодження або втрат конфідентційної інформації бухгалтерського обліку в кіберсередовищі його використання та ведення.

**Ключові слова:** кібербезпека, кіберсередовище, захист бухгалтерської інформації, кіберзагроза, кіберзахист.

Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Андрушак І.Є., Чудовець В.В., Кошелюк В.А. Особенности технологии защиты от несанкционированно установленных мониторинговой программных продуктов. В статье рассматривается проблемы современного состояния кибербезопасности и идентификации киберугроз в сфере применения учетных данных, формулирование мер по минимизации рисков краж, повреждения или потери конфиденциальной информации бухгалтерского учета в киберпространстве его использования и ведения.

**Ключевые слова:** кибербезопасность, киберсреда, защита бухгалтерской информации, киберугрозы, киберзащита.

Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Chudovets V.V., Koshelyuk V.A. Aspects of protection of accounting data in the conditions of use of innovation and information technologies. The article examines the current state of cybersecurity and identification of cyber threats in the use of credentials, the formulation of measures to minimize the risk of theft, damage or loss of confidential accounting information in the cyber environment of its use and maintenance.

**Key words:** cybersecurity, cyberenvironment, protection of accounting information, cyberthreat, cybersecurity.

**Formulation of the problem.** The system of cyber protection of accounting information is a set of measures at the state level and at the level of an individual enterprise, designed to ensure the security and protection of such information, as well as the automated accounting system at the enterprise as a whole, from cyber threats. With general and specific threats, we single out the means of protection against them of a general and specific nature. At the same time, we divide the whole set of them into organizational, technical, personnel and legal measures. The key here is the availability of funds for the implementation of these measures - the larger the budget, the higher the chances of minimizing cyber risks (provided the successful use of financial resources).

Note that one of the main difficulties in combating cyber threats is that, according to Telstra, 78% of companies today do not have a clear plan to respond to possible threats. To protect against cyber threats, companies most often use network antiviruses (63.9%), network access control (59.8%), SSL / TLS devices (platforms) for decryption (59.4%) and intrusion detection (prevention) systems. Outsourcing of individual information security functions (intrusion testing, threat analysis, real-time network security monitoring, etc.) is also considered as an option. Prospects for further research in this area are the search for criteria and evaluation of the success of the implementation of measures to protect accounting information and ensure its cybersecurity [1].

**Analysis of research.** The rapid development of modern information technologies, which began in the late XX - early XXI centuries, contributed to their introduction into almost all spheres of human life and mass (often even uncontrolled) use, as well as the formation of a single innovative information and digital space. At the same time, the number of offenses, abuses and other cyber threats aimed at various aspects of the activities of various enterprises operating in each of these spaces has grown quite rapidly. Information about all the facts of economic activity of the enterprise, which is formed in the system of its accounting, is

characterized by a high degree of value and is a guarantee of stability, development and efficiency of such enterprise, but only if it is reliably protected. However, total automation, which has not bypassed the field of accounting and provides for the introduction of specialized innovative modern technologies and programs for its maintenance, despite the undeniable advantages, threatens the leakage of certain information, hacking attacks, hacking information networks, various frauds, etc. all accounting data that is processed and stored in a digital environment. Under such conditions, the enterprise provides a certain type of information security - cybersecurity.

**Presentation of the main material and the justification of the results.** Problems of cybersecurity (identification and grouping of cyber threats, taking measures to minimize or eliminate them, building an adequate system of protection of accounting information at the enterprise) are currently little studied. Many of them, against the background of intensifying competition and the invention of new information technologies, remain unresolved and require close consideration and attention of scientists, especially in the context of taking into account the domestic peculiarities of accounting in enterprises. First of all, we note that the deepening of automation of accounting - an inevitable and, in general, a positive phenomenon, because it can significantly save enterprise resources, improve information processing, flexibility, mobility, innovation and efficiency of the accountant, accelerate its digital transformation, provide access to a wide range of modern accounting programs, cloud solutions and other information technology tools, etc. One of the downsides of using computer technology is the vulnerability of credentials to cyber threats, which can be minimized by using the right security practices. In general, the composition and scope of accounting data, which are considered a trade secret at the enterprise, as well as the procedure for their protection, the head (owner) of the enterprise determines independently within the current legislation, because [2].

Security is defined as the degree of protection against criminal activity, danger, damage and / or loss. Analyzing the research of scientists, along with cybersecurity we meet the term "information security". We agree with the approach of R. von Solms and J. van Niekerk, who insist on the differences between these concepts. And cybersecurity goes beyond simple information security and provides security for various assets of the enterprise (not only information), which are at risk when using such an enterprise computer systems and telecommunications networks. At the same time, information security, as a process of maintaining the confidentiality, integrity and accessibility of information, along with electronic information, includes the protection of information resources that are processed and stored without the use of computer technology. In our study, we consider cybersecurity, and only in the field of protection of accounting information, which is not just stored on a separate user's computer, but circulates in cyberspace - an environment consisting of information systems around the world, including networks that connect these systems.

A survey of IT security workers conducted by the Cyber Edge Group found that in 2019, an average of 78% of cyber threats were successful (about 63% of all businesses were exposed to such threats), with Spain leading the way (93.7%), Saudi Arabia (91.5%). The main sources of danger today are malware, phishing attacks, extortion programs, abuse related to user accounts (including identity theft), denial of service (DoS-/DDoS-attacks), web attacks-applications, spam, botnets, data breaches, insider threats, physical manipulation (damage, theft, data loss), information leakage, cryptojacking (a new type of threat, which is the unauthorized use of someone else's computer to extract cryptocurrency), cyber espionage and , and suppliers of cyber security as of the second quarter of 2018 - Cisco, Palo Alto Networks, Fortinet, Sheck Point [3].

Websites and web applications, servers (physical and virtual) and data warehouses are the most vulnerable to cyber threats in enterprises, and laptops and mobile devices are the least protected. An important indicator of information security in the cyber environment of a country is the Global Cybersecurity Index (which is calculated on the basis of legal, technical, organizational indicators, as well as capacity building and cooperation). Ukraine lags behind the leaders in this indicator and occupies only 54 positions among 175 countries, being approximately on a par with Uzbekistan, Moldova, Azerbaijan. In general, the number of detected and registered cybercrimes in Ukraine in 2018, compared to the previous year, decreased slightly.

This was mainly due to the improvement of the situation in Kyiv and Kyiv region. Instead, in such oblasts as Zaporizhia, Odesa, and Mykolayiv, the number of cybercrime crimes has increased significantly. In general, Mykolaiv, Odesa and Kyiv became the three regions with the highest rate of cybercrime in Ukraine in 2018. According to gender, 67% of domestic cybercriminals are men and, accordingly, 33% of cybercrimes are committed by women. In terms of types of cybercrime (according to the articles of the Criminal Code of Ukraine), their distribution is as follows: 63% - fraud, 35% - unauthorized interference with computers, 2% - infringement of copyright and related rights.

Note that in order to effectively combat cyber threats, including in the field of protection of accounting data in enterprises, it must be one of the priorities of public policy, approved at the legislative level. The main domestic regulations on the regulation of issues related to the safe operation of cyberspace participants are:

- 1) Law of Ukraine "On Basic Principles of Cyber Security of Ukraine" (dated 05.10.2017 No. 2163-VIII);
- 2) Law of Ukraine "On Ratification of the Convention on Cybercrime" (dated 07.09.2005 No 2824-IV);
- 3) Cyber Security Strategy of Ukraine (decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of January 27, 2016);
- 4) "On threats to cybersecurity of the state and urgent measures to neutralize them" (decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated 29.12.2016);
- 5) General requirements for cyber protection of critical infrastructure facilities (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of June 19, 2019 No. 518).

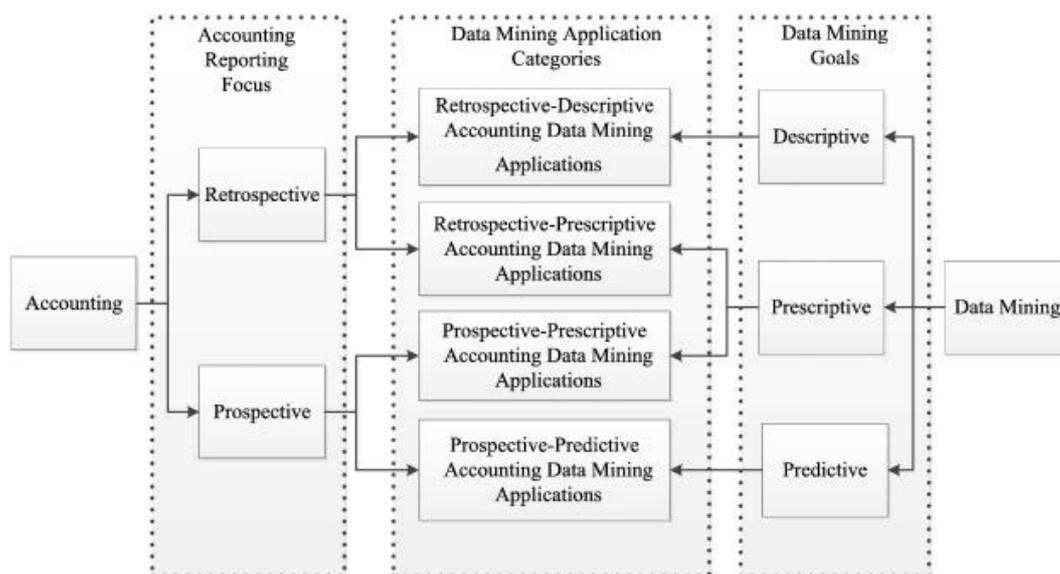
At present, the Ukrainian regulatory framework is characterized by a lack of system, imperfection, inconsistency, divergence of approaches, fiscal orientation, moral obsolescence and needs further development and improvement in the use of digital technologies and protection of participants in the cyber environment.

According to a study by Ernst & Young, the average loss of data integrity in the world in 2017 was \$ 3.62 million. USA. At the same time, accounting and financial information ranks second in terms of attractiveness to cybercriminals after information about customers (12% of all cyber threats). It is a mistake to think that this only applies to large and medium-sized enterprises - the data of all businesses without exception are exposed to cyber threats, moreover, about 80% of all crimes in this area concern small enterprises.

Note that in order to form an effective system of measures to minimize cyber threats and adequate protection of accounting information, it is necessary, first of all, to determine the understanding of the concept of "threat". In studies of M.M. Alani finds the following interpretation of a threat: "a potential encroachment on security that exists in the presence of circumstances, opportunities, actions or events that may violate it and cause harm." O.A. Yevtushevskaya defines this term as "potential or actually possible actions in relation to information resources that lead to misappropriation of information." Derived from the threat is a cyber threat, which (considering the approaches in the economic literature and legislation) in the context of our study means an existing or potential event that threatens the participants of cyberspace in the field of accounting information system, leads to loss, damage, destruction or unauthorized use of accounting information [4].

Reasonable grouping of cyber threats is the next step to build a comprehensive system of cybersecurity of accounting information in the enterprise. O.A. Yevtushevskaya divides threats into external ones, the sources of which are competitors, criminal groups of hackers and terrorist groups, political structures, etc., and internal ones, personified by the administration and staff of the enterprise. In turn, internal threats researchers divide into (Pic.1):

- 1) computer fraud, computer forgery, providing confidential information to competitors;
- 2) technical threats, threats of obtaining false information, disclosure, other threats of imperfect organization. V.A. Let and V.V. Suppose that the list is properly supplemented by the type of threats that are associated with intentional errors that occur outside the business.



(Pic.1) Mining application in accounting

The source of threat in this case may be, for example, a business partner or a developer of specialized software. In addition to the classification of threats to accounting information by the source of their occurrence, which is found in the works of scientists most often, scientists also identify the following signs of grouping hazards:

- by manifestation and consequences;
- by type; on purpose;
- by the nature of occurrence;
- information technology;
- by object of influence;
- by cause;
- by time; by probability.

In parallel with the definition and classification of cyber threats, as well as the identification of ways in which data security can be compromised in the enterprise, it is also important to outline the main prerequisites for the occurrence of such threats to accounting information [5]:

- 1) use of unlicensed or unverified software for accounting and reporting, neglect of its vulnerabilities;
- 2) use of weak tools for authentication of users of accounting information;
- 3) neglect of the rules of protection of work computers or other devices from which access and work with credentials take place;
- 4) use of working devices for non-working purposes;
- 5) lack of basic knowledge of cybersecurity of accountants;
- 6) incorrect prioritization and lack of proper support from the management system of the enterprise;
- 7) neglect of the rules of storage of accounting data and their periodic redundancy;
- 8) ignoring the existing risks and negative experiences of other market participants;
- 9) the absence of an appropriate specialist in the protection of accounting information at the enterprise;
- 10) a long list of persons who have access to data, the lack of delimitation of user rights;
- 11) complex tax and business environment of the enterprise.

World experience shows that the biggest problems in the use of effective means of combating cyber threats today are the difficulties of their implementation and integration, lack of relevant specialists (low level of awareness of cybersecurity), financial resources, effective market solutions, support from the enterprise management system, continuous improvement ways to perform malicious actions, etc. To these we will add the limitations typical of the domestic business environment: imperfect legislation in the field of cybersecurity, political risks, corruption and protectionism. It should be noted that the largest funds for cybersecurity today are allocated by companies from Mexico (15.9% of the IT budget), Brazil (15.9%) and South Africa (14.9%).

L. Kolobov and I. Kolesnikov divide measures to protect confidential information into legal, physical, technical and psychological, O.A. Yevtushevskaya - for physical, hardware, software and cryptographic, A.P. Wild allocates organizational and technical, organizational and regime measures for the organization of protection and security of accounting data and personnel work. Similar to the latter approach is followed by S.A. Viter and I.I. Svitlyshyn, which distinguish organizational measures, technical measures and personnel work. According to these authors, the system of these measures must meet the criteria of software support, protection of information confidentiality, personal responsibility, secrecy, complexity, effective control of access to credentials. V.A. Starling to the elements of protection of accounting information includes legal, technical, software and organizational. In this case, "the ratio of elements and their content provide the individuality of the information protection system of the enterprise and guarantee its reliability." A slightly different view - in I.L. Grabchuk, who distinguishes between the means of protection of accounting information in electronic form means of logical and physical security [6].

Following the world trends, the accounting of more and more domestic enterprises is subject to automation and digitalization using such modern tools and technologies as blockchain, cloud and fog technologies, artificial intelligence, Internet of Things, mobile computing, machine learning and more. Each of these technologies, in addition to the general list of threats listed above, is characterized by specific risks to accounting information, which are a consequence of the nature and characteristics of the operation of a technology. For example, when using mobile devices for accounting, the specific risks will be: poor awareness and culture of using devices, their loss and theft; inability of network engineers to quickly eliminate vulnerabilities; purchase of a mobile device with pre-installed malware (every 36th mobile device is exposed to such a threat; problems of interaction with other programs. If we are talking about the Internet of Things, then the problems will be the identification of suspicious traffic, ensuring compliance with current security controls updating a large number of devices connected to the Internet, lack of properly qualified personnel, tracking access to data.

Cloud technologies for accounting and reporting are also not completely safe. Specific threats to accounting information here may be the inability to use previous versions of software, high dependence on the quality of service provision by providers, uncertainty about privacy and ownership of data in the cloud (lack of appropriate legal protection of information rights in the cloud) sources of threats. Speaking of blockchain technology, which predicts a great future in accounting and auditing, specific threats to information due to the peculiarities of this technology are the low level of privacy and confidentiality of enterprise data, lack of legally approved person responsible for maintaining a distributed database of operations, overload storage devices as a consequence of the inevitable growth of its volume [7].

### **Conclusion and prospects for further research**

In today's world of advanced technologies, the introduction of the latter in the accounting process will not surprise anyone. In this case, the accounting information that is formed in this process - a special resource that requires careful protection, because its safe use depends on the information security of the entire enterprise. The results of the study show that today in the world cyber threats are exposed to a large number of enterprises, regardless of their size and type of activity. In recent years, cyberattacks have also become more frequent in Ukraine, which are due, among other things, to national economic characteristics, such as lack of proper legal framework, large share of enterprises using unlicensed accounting software products, neglect of automated workplace protection rules, lack of accounting specialists knowledge of the basics of cybersecurity. To minimize the negative impact of cyber threats, a comprehensive system of general and specific measures of organizational, technical, personnel and legal nature is proposed. At the same time, the criteria for evaluating the success of the implementation of these measures is the direction of our further research.

### **References**

1. Alani M. M. Elements of Cloud Computing Security. A Survey of Key Practicalities. Switzerland : Springer, 2016. 55 p.
2. Kolobov L. Trade secret and the protection of trade secrets. / L. Kolobov, I. Kolesnikov // Civil law and process. 2016. No 5. S. 8–13.
3. Bawaneh S. S. Information security for organizations and accounting information systems. A Jordan banking sector case. International Review of Management and Business Research. 2014. Vol. 3. Issue 2. P. 1174–1188.
4. Von Solms R., van Niekerk J. From information security to cyber security. Computers & Security. 2013. Vol. 38. P. 97–102 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404813000801?via%3Dihub>
5. Wind SA Protection of accounting information and cybersecurity of the enterprise / S.A. Wind, II Svitlyshyn // Economy and Society. 2017. Vip. 11. S. 497–502.
6. National cyber security strategy and 2013–2014 action plan / Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communications; Republic of Turkey. URL: [https://sherloc.unodc.org/res/cld/lessons-learned/national\\_cyber\\_security\\_strategy\\_and\\_2013-2014\\_action\\_plan\\_html/National\\_Cyber\\_Security\\_Strategy\\_and\\_2013-2014\\_Action\\_Plan.pdf](https://sherloc.unodc.org/res/cld/lessons-learned/national_cyber_security_strategy_and_2013-2014_action_plan_html/National_Cyber_Security_Strategy_and_2013-2014_Action_Plan.pdf)
7. ISO / IEC 27001: 2013. Information Technology. Protection methods. Information security management systems. Requirements / per. from English. A. Gorbunov. URL: [https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-mek-27001-2013\(rus\).pdf](https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-mek-27001-2013(rus).pdf)

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-26>

УДК: 004.89

**Мороз Борис Іванович**, д.т.н., професор

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

**Кабак Леонід Віталійович**, к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0001-6267-1772>

**Ширін Артем Леонідович**, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-0026-2767>

**Овчаренко Світлана Олександрівна**, студентка.

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

## ВИКОРИСТАННЯ DATA MINING В ІНФОРМАЦІЙНИХ БІБЛІОТЕЧНИХ СИСТЕМАХ

**Мороз Б. І., Кабак Л. В., Ширін А. Л., Овчаренко С. А. Використання Data Mining в інформаційних бібліотечних системах.** В даний час для аналізу даних використовуються алгоритми та інструменти для аналізу даних, які називаються Data Mining. Data Mining успішно використовується в різних галузях промисловості. У статті розглядається можливість впровадження цієї технології в бібліотечні системи, оскільки аналіз даних можна використовувати для отримання різних прогнозів. Сучасні технології надходять і до бібліотек. Для запобігання дефіциту книг, та запобігання переповнення бібліотеки застарілими книгами ми можемо використовувати інформаційну систему з функціями аналізу даних з інтеграцією інструментів аналізу даних у системи управління ризиками, які можуть допомогти отримати корисну інформацію з бази даних з метою прийняття рішення про списання книг або переміщення в сховище.

**Ключові слова:** База даних Oracle, аналіз даних, аналіз даних, виявлення аномалій, бібліотека, кластерний аналіз, кореляційний аналіз, система управління ризиками.

**Мороз Б. И., Кабак Л.В., Ширин А. Л., Овчаренко С. А. Использование Data Mining в информационных библиотечных системах.** В настоящее время для анализа данных используются алгоритмы и инструменты для анализа данных, которые называются Data Mining. Data Mining успешно используется в различных отраслях промышленности. В статье рассматривается возможность внедрения этой технологии в библиотечные системы, поскольку анализ данных можно использовать для получения различных прогнозов. Современные технологии используются и в библиотеках. Для предотвращения дефицита книг и предотвращения переполнения библиотеки устаревшими книгами мы можем использовать информационную систему с функциями анализа данных с интеграцией инструментов анализа данных в системы управления рисками, которые могут помочь получить полезную информацию из базы данных с целью принятия решения о списании книг или перемещение в хранилище.

**Ключевые слова:** База данных Oracle, анализ данных, анализ данных, выявления аномалий, библиотека, кластерный анализ, корреляционный анализ, система управления рисками.

**Moroz B., Kabak L., Shyrin, A., Ovcharenko S. Using of the Data Mining technics in Library Systems.** Algorithms and tools for data analysis called Data Mining are currently used for data analysis. Data Mining is successfully used in various industries. The paper considers the possibility of introducing this technology in library systems because data mining can be used to obtain various forecasts. Modern technologies comes to libraries too. To prevent book shortages, and to prevent the library from overflowing with obsolete books, we can use an information system with data analysis functions with the integration of data analysis tools into risk management systems, which can help to obtain other useful information from the data for the purpose of making a decision to write off books or move to repository.

**Keywords:** Oracle database, data mining, data analysis, anomaly detection, library, cluster analysis, correlation analysis, risk management system.

### Постановка наукової проблеми.

Відтепер інформаційних технологій стає все більше. Тому більше людей відходять від старого бачення ведення паперової документації, і переходять на використання електронних інформаційних систем. Це дає змогу заощаджувати час та робити деякі справи не виходячи з дому. Майже кожна людина у світі полюбає читати книги, проте щоразу купувати книги в домашню бібліотеку досить дорого та не дуже екологічно, тому на допомогу приходять громадські бібліотеки. Розглянемо старе бачення бібліотеки, нам було потрібно прийти отримати читацький квиток, переглянути паперову картотеку щоб дізнатися, чи є потрібна нам книга у наявності, для замовлення взяття книги додому бібліотекар записував нас у книгу замовлень і віддавав нам книгу - це все займало купу часу. З появою мережі Інтернет передавати та отримувати інформацію стало швидше і простіше, тому щоб зробити роботу бібліотеки швидшою і простішою постає потреба у створенні додатку, що дозволив би частину зі справ, що роблять читачі і бібліотекарі виконувати онлайн, а саме: зручно відслідковувати статус замовлень, наявність книжок та статус користувачів, переглядати список, змінювати асортимент бібліотеки та фільтрувати користувачів. У кожного веб-додатку є якась база даних для збереження, обробки і накопичення інформації, аналізуючи раніше зібрану інформацію можна отримувати корисні висновки і прогнози та використовувати їх для розвитку місця введення інформаційної системи або передбачення негативних явищ і їх запобігання. Для цього і застосовується інтелектуальний аналіз

даних. Нині для аналізу даних використовуються алгоритми та інструменти для аналізу даних які називаються Data Mining. Data Mining успішно використовується у різноманітних галузях. В роботі розглядається можливість запровадження цієї технології у бібліотечних системах адже інтелектуальний аналіз даних можна використовувати для отримання різного роду прогнозів. Наприклад дану технологію можна інтегрувати до системи аналізу кошків споживачів, щоб оптимально використовувати ресурси книжок які зберігаються у бібліотеці, та використовуючи технологію побудови регресії та прогнозування виявити книжки та підручники, які більш затребувані та прогнозувати їх закупівлю на майбутнє. І це не єдиний можливий варіант використання технології інтелектуального аналізу даних у бібліотеці. Багато організацій та підприємств вже використовують цю технологію і успішно використовують можливості інтелектуального аналізу даних для досягнення необхідних результатів. Метою роботи є розробка та створення: моделі інформаційної системи бібліотеки з використанням Data Mining, та додаток «Library», що буде здійснювати занесення та перегляд інформації, проводити аналіз внесених даних за допомогою сучасної технології Oracle Data Mining, дозволяти генерувати звіти, створювати текстові файли, з використанням мови Java та технологій Thymeleaf, jsp, jstl, css.

#### Аналіз досліджень.

Нині в інформаційних системах все частіше використовують технології інтелектуального аналізу даних з метою виявлення моделей та тенденцій. Прикладами таких продуктів є: Oracle Data Mining, Microsoft SQL Server Integration Services, RapidMiner Studio, STATISTICA і багато інших [1], [2]. Технологія Data Mining вперше була запропонована Piatetsky-Shapiro G в 1989 році і використовується для визначення безлічі алгоритмів аналізу даних.

Інтелектуальний аналіз даних є важливим кроком у отриманні знань і процесів з баз даних. За допомогою технологій інтелектуального аналізу даних можливо створити корисні зразки або моделі з даних [3]. Інтелектуальний аналіз даних відноситься до загального процесу виявлення корисних знань з даних. Data Mining відноситься до виявлення нових зразків із безлічі даних у базах даних, орієнтуючись на алгоритми для отримання корисних знань [3].

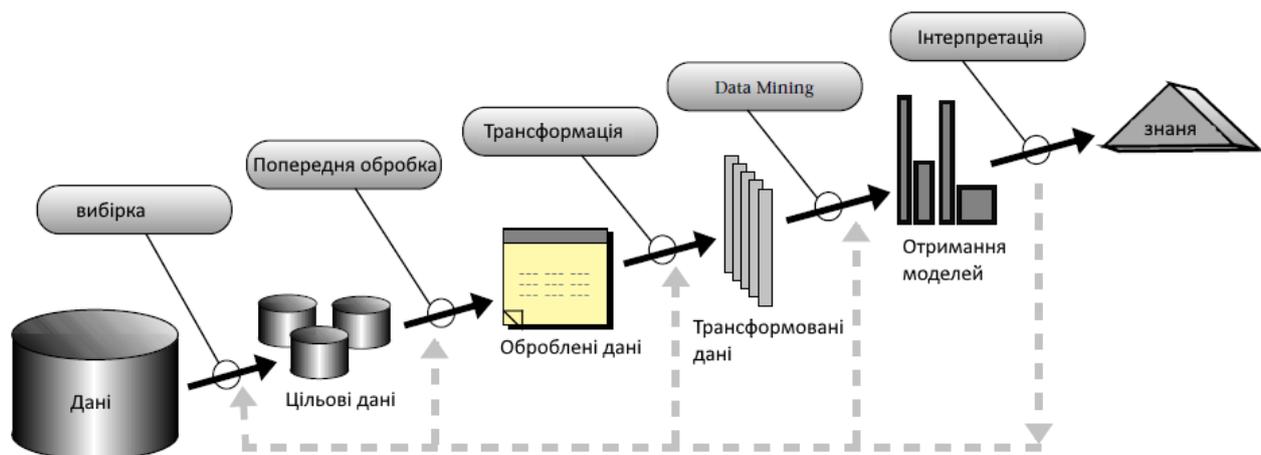


Рис. 1 Процес отримання знань [3]

Процес отримання знань складається з наступних етапів. С початку проводиться вибірка даних. На цьому етапі відбираються данні з бази даних, що в подальшому будуть проаналізовані. Далі проводиться попередня обробка. На цьому етапі проводиться видалення шуму та непослідовних даних; поєднання декількох джерел даних. Наступний етап це трансформація даних. На цьому етапі проводиться перетворення даних у відповідні форми для здійснення обміну даними. На далі використовується алгоритм Data Mining. На цьому етапі поводится вибір алгоритму для дослідження даних, який відповідає потребам предметної області. В процесі роботи алгоритмів Data Mining будуть побудовані моделі даних відповідно до обраних алгоритмів. Останній етап інтелектуального аналізу даних це Інтерпретація та Оцінка. На цьому етапі проводиться Інтерпретація отриманих моделей даних у знання шляхом видалення надмірних або неактуальних примірників. Після цього проводиться представлення корисних моделей даних на терміни, що зрозумілі для людини. У роботах [8,9] було розглянуто можливість використання обчислювальних підходів Data Mining для аналізу освітніх даних та для вивчення освітніх питань. У роботі [8] були розглянуті найбільш актуальні дослідження, проведені в галузі навчання.

Дослідженням технологій використання технологій Data Mining займались також вітчизняні вчені. У навчальних посібниках [10,11] були розглянуті і досліджені актуальні проблеми Data Mining. Виклад матеріалу у цих посібниках було зосереджено на задачах класифікації, кластеризації та побудови асоціативних правил.

**Мета статті.** На підставі дослідженого та проаналізованого матеріалу наукових досліджень було запропоновано використання технології Data Mining в предметній області «Бібліотека». Та подальшої її інтеграції до систем аналізу кошику споживача та розглянути можливість застосування даної технології в інформаційній системі бібліотеки. Основна мета статті полягає в розгляді та запропоновані можливі варіанти використання алгоритмів Data Mining в предметній області «Бібліотека». Для реалізації цієї задачі в статті викладено побудову інформаційної системи «Бібліотеки» та побудована інформаційна модель системи аналізу даних за допомогою технології Data Mining.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Основна ідея технології Data Mining полягає у виявленні в великих наборах даних прихованих закономірностей, залежностей і взаємозв'язків, корисних при прийнятті рішень на різних рівнях управління. У результаті роботи алгоритмів Data Mining будуть отримані закономірності, які повинні представлятися у вигляді інтелектуальних, або дескриптивних моделей різного типу, що дозволяють проводити класифікацію ситуацій або об'єктів, прогнозувати їх поведінку, виявляти групи подібних об'єктів і т.п. Істотно, що моделі будуються автоматично на основі аналізу наявних даних про об'єкти, спостереженнях і ситуаціях за допомогою спеціальних алгоритмів.

Методи Data Mining застосовуються в різних областях для вирішення таких практичних завдань, як виявлення можливої некредитоспроможності клієнтів, управління відтоків клієнтів, боротьба з шахрайством, наприклад, виявлення підозрілих операцій з кредитними картками, аналіз споживчого кошика, підвищення ефективності маркетингових заходів, персоналізоване просування продуктів і послуг, виявлення причин збоїв обладнання і так далі.

В сучасних СУБД вже вбудовані технології Data Mining. Вони складаються з процедур, що реалізують різні алгоритми побудови моделей регресії, класифікації кластеризації. Починаючи з версії Oracle 12c підтримується наступні алгоритми, які відображені на Рис. 2.

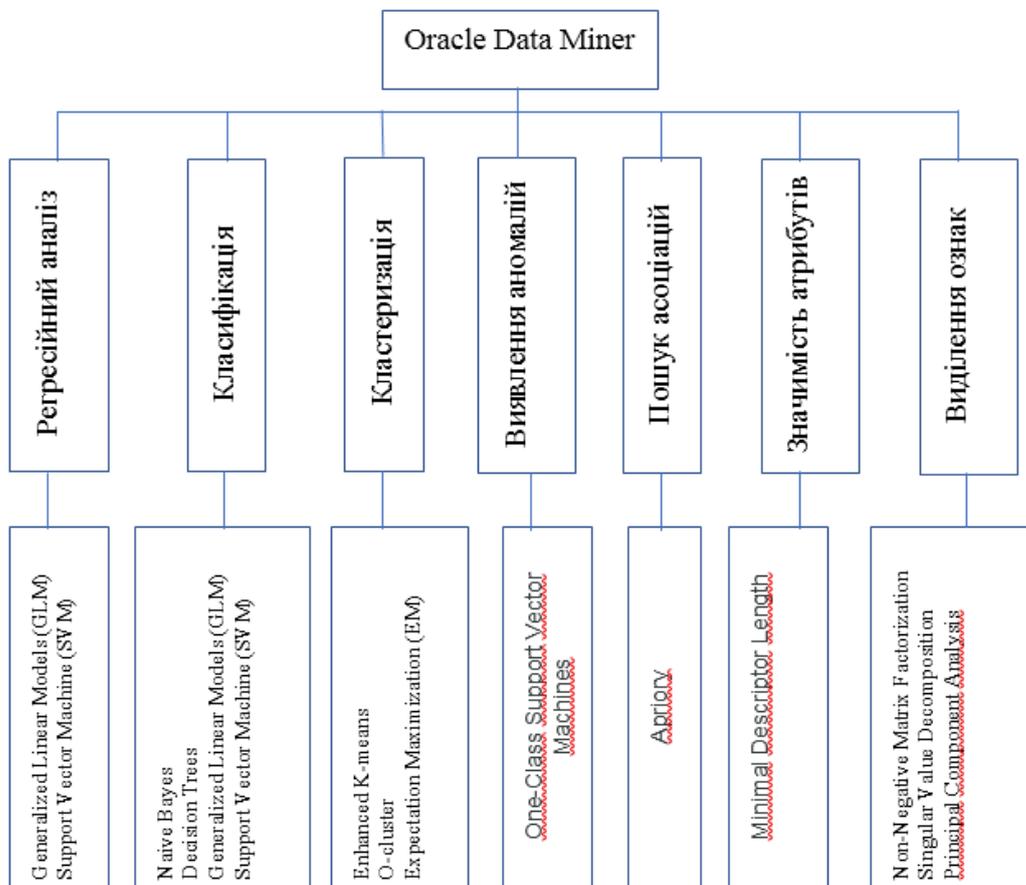


Рис. 2 Алгоритми Oracle Data Mining

Ці алгоритми можна використовувати в різних предметних галузях. Наприклад, правила асоціації можна застосувати подібним чином, як їх застосовують для аналізу ринкової корзини в супермаркетах для бібліотеки, щоб дізнатись які з книжок користуються більшим попитом. Аналізуючи раніше замовлені книги, можна побудувати асоціацію і дізнатись, які книги будуть замовлені в майбутньому і з якою вірогідністю, цю інформацію можна використовувати для замовлення більшої кількості екземплярів. Класифікацію можна використовувати для віднесення нової книги до одного з встановлених жанрів. Регресію можна використати для аналізу в часі замовлених і не повернутих книг. Кластеризація може бути використана для групування книг замовлених однією людиною.

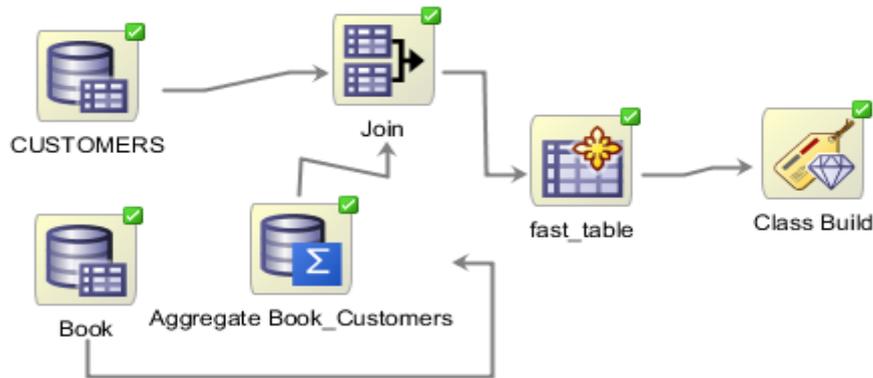


Рис. 3 Кластеризація здійснення замовлень книг

Для визначення порушень у роботі інформаційної системи бібліотеки запропоновано використовувати технологію «Виявлення аномалій». Цільовими користувачами запропонованої системи будуть працівники бібліотеки та читачі. Розроблювана система може зменшити обсяг паперової роботи, а також допомогти виявити порушення, та покращити рівень роботи і обслуговування, використовуючи сучасні технології інтелектуального аналізу даних.

Використовуючи графічний інтерфейс Oracle Data Miner було створено модель інтелектуального аналізу даних операцій замовлення книг, зображену на рис. 4.

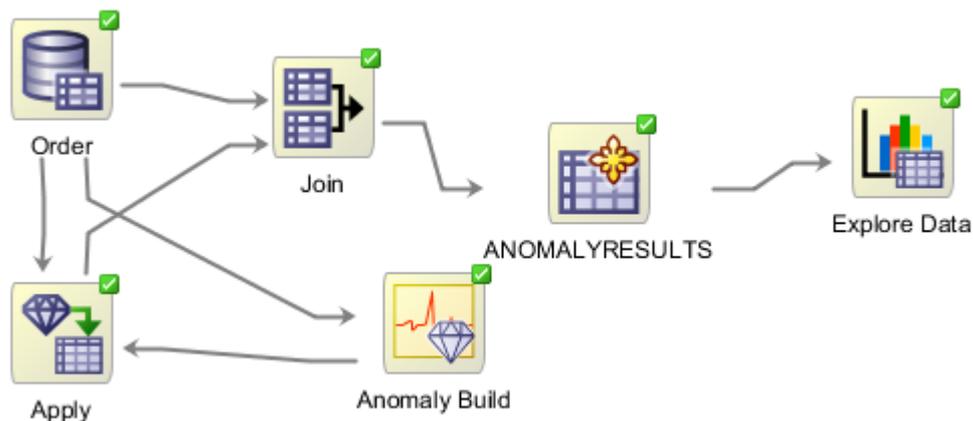


Рис. 4 Пошук аномалей при замовленні книжок

Джерелом даних є таблиця про користування книжками LIBRARY. Цільовий атрибут аналізу orderId та amount - ідентифікатор та обсяг замовлення. Після того як аналіз аномалій буде виконано, дані аналізу будуть накладатися на дані в таблиці Orders і в кінцевому результаті отримується таблиця, де наведена інформація про операції, які операції є аномальними, процентна ймовірність того чи іншого висновку.

Виявити аномальні записи не так і складно, найскладнішою і важливішою задачею під час аналізу аномалій є встановлення чиннику аномалій. Виконавши аналіз даних в результатуючій таблиці було встановлено що аномалію викликають атрибути, які стосуються взятих і не повернених книг. Для отримання таблиці, яку можна використовувати для подальшого прийняття рішень проводиться необхідна фільтрація даних. Так можна обрати лише аномальні записи, після чого зменшити їх кількість за процентним показником, який вказує наскільки аномалія є вірогідною в записі, далі можна обрати необхідну інформацію пов'язану з аномальними записами, наприклад контактні дані того хто не повернув багато книг таблицю з організованими таким чином даними можна використовувати надалі в обробці для виявлення ризиків та прийняття необхідних заходів. Також можна проводити аналіз про закупівлю бібліотекою книжок які не користуються попитом.

Методологія моделювання інформаційних систем IDEF0 може використовуватись для любого типу предметних областей. В роботі модель IDEF0 використовується для моделювання діяльності бібліотеки. На рисунку 5 наведена декомпована модель автоматизованої інформаційно-пошукової системи бібліотеки в нотації IDEF0. Як ми бачимо з рисунку 5 основну діяльність бібліотеки можливо поділити на 6 блоків:

- Оформлення книжок, які надходять до бібліотеки;
- Ведення обліку книжок і попиту;
- Ведення карток читачів;
- Видача книжок читачам;
- Приймання книжок у читачів;
- Проведення списання книжок та переміщення книжок у книго сховище.

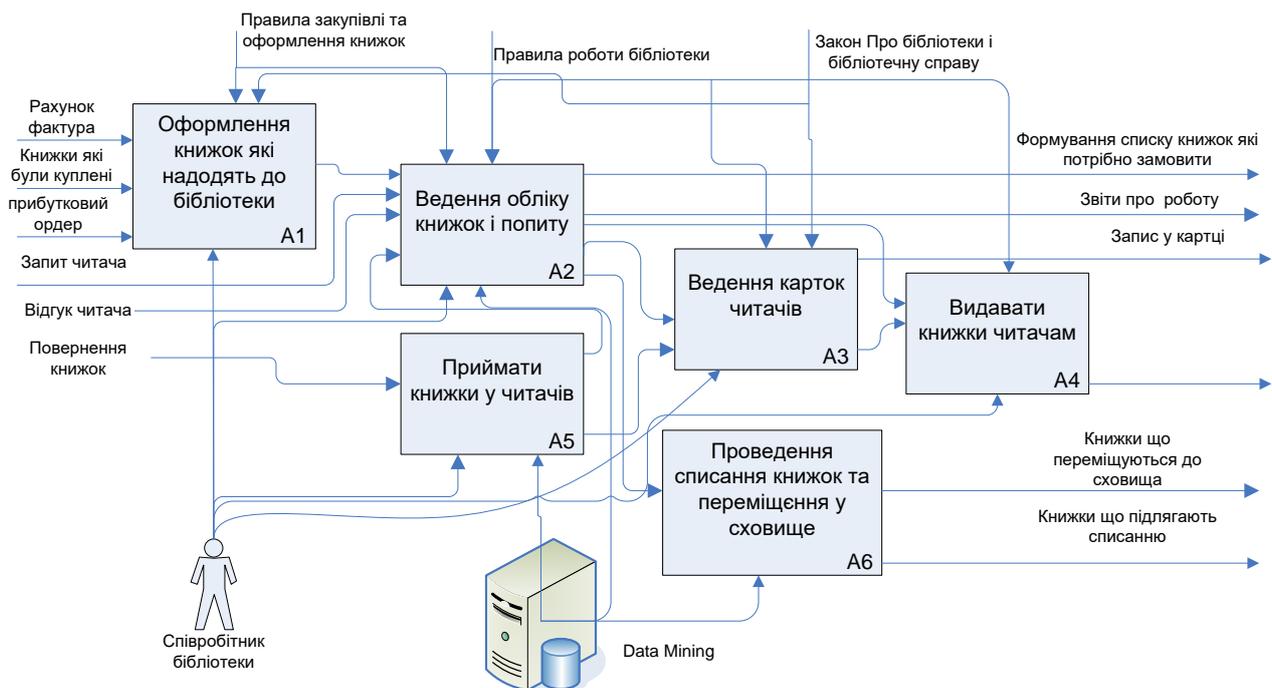


Рис. 5 Декомпована модель діяльності бібліотеки

Бібліотечний фонд формується на підставі запитів кафедр (книжки що необхідні для навчання), запитів студентів, запитів співробітників ВУЗа. На підставі цих запитів формується бібліотечний фонд. Запропонована автоматизована інформаційна система проводить аналіз існуючих у бібліотеці книжок, на основі попиту на книжки за допомогою технології Data Mining, та надає поради щодо списання книг, переміщення книг у сховище, та закупівлі книжок.

Бібліотека складається з декількох відділів. Кожен відділ має назву. В кожному відділі є зберігаються книжки з певними рубриками. Кожна книга має назву, авторів, рік видання, та кількість сторінок. Одна і та сама книжка може відноситись до декількох рубрик одного відділу. Книга може бути замовленою якщо вона є в наявності. З бібліотекою взаємодіють користувачі: адміністратори, бібліотекари та читачі. Бібліотекар може закрити доступ до книг читачам, що не повернули книги. Адміністратор може оновити перелік книг та змінити права бібліотекара. Для демонстрації

використання техніки Anomaly Detection було створено невелику базу даних з декількох таблиць, що зв'язані між собою, коли в центрі є головна таблиця з якою зв'язана решта, за допомогою механізму зовнішніх ключів.

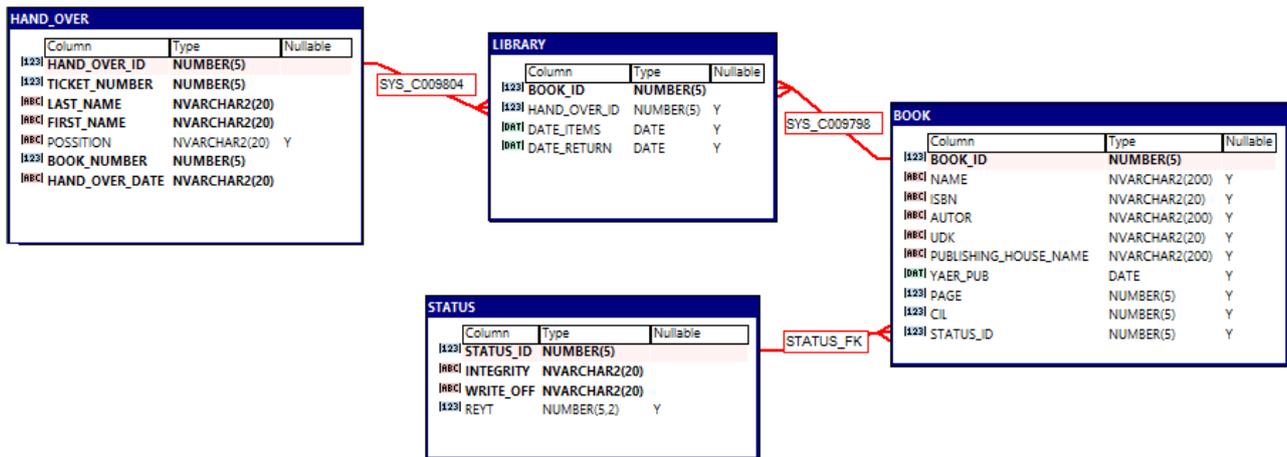


Рис. 6 – ER діаграма

Для роботи Data Mining було створено користувача Dataminer зі схемою DATAMINER. Дані на сервері було організовано наступним чином: одна схема LIBRARY слугує для накопичення даних бібліотеки зберігає описані на ER моделі вище таблиці і їх дані, друга схема DATAMINER слугує для маніпуляцій під час інтелектуального аналізу даних і збереження таблиць з результатами прогнозування. Модель використовує цільові дані, які зберігаються в одній схемі та зберігає отримані результати (прогнози), а також таблиці з проміжними даними в схемі DATAMINER. Дана архітектура забезпечує стабільну і безпечну роботу, без втрати цінних даних. В таблиці статус у стовпці Readability знаходиться такий показник, як читаність книжок який підраховується щорічно.

$$R=N/U \quad (1)$$

N це кількість разів певна книга була видана за рік;

U – кількість читачів зареєстрованих у бібліотеці.

З часом цінність книжок зменшується є книжки що були закуплені та не використовувались не жодного разу. Тому для підрахунку цінності книжок використовуємо формулу.

$$Цк= N/k \quad (2)$$

Де k це кількість книжок, яка зберігається у бібліотечному фонді. Зараз у бібліотеках знаходиться велика кількість книжок, які вже застаріли та не використовуються вже певний час. Тому для визначення книжок, які підлягають списанню та переміщенню у книгосховище пропонується використовувати лінійну регресію рис. 7. На осі Y відображається цінність книжок яка підраховується за формулою (2), на осі X відображається кількість книг у бібліотеці. Книги, які знаходяться нижче лінії підлягають списанню, чи переміщенню у книгосховище.

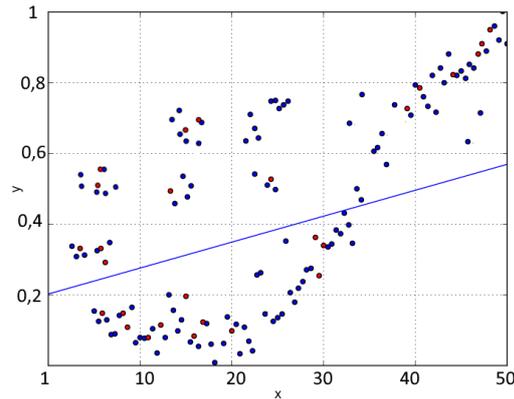


Рис. 7 Ленійна регресія

### Висновки та перспективи подальшого дослідження.

В ході виконання роботи було розроблено та створено: інформаційну модель. В перше запропоновано використання сучасних технологій Data Mining в бібліотечній діяльності для пошуку аномалій та визначення книжок для списання та переміщення в книгосховище.

Для створення бази даних, що буде зберігати всю необхідну інформацію про користувачів, книги та замовлення було обрано СКБД Oracle, її структура, особливості та можливості реалізації технології інтелектуального аналізу даних дають змогу гнучко працювати з SQL реляційною базою даних; було проаналізовано і досліджено останні тенденції розвитку інформаційних технологій, популярність використання засобів інтелектуального аналізу організаціями; тенденції щодо запровадження використання даної технології для вдосконалення роботи системи контролю ризиків.

Набула подальший розвиток можливість використання технології Data Mining для аналізу операцій замовлення та видачі книжок з метою оптимального навантаження системи. Результати даної роботи можуть бути використані для подальших досліджень і розробок, а також для запровадження використання технології Data Mining у бібліотечній діяльності.

### Список бібліографічного опису

1. Brendan Tierney Predictive Analytics Using Oracle Data Miner: Develop & Use Data Mining Models in Oracle Data Miner, SQL & PL/SQL: - Oracle Press, 2014. – 429 - ISBN: 978-0-07-182175-9
2. Data Mining software [Electronic resource] – Access mode: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-data-mining-software/>
3. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. //AI Magazine, 17(3), 1996, P. 37-54.
4. Ashish D. A Systematic Review on Educational Data Mining./ Ashish D. , Maizatul A. Ismail1 Tutut H. //IEEE Access ( Volume: 5 ) P. 15991 – 16005. Doi: 10.1109/ACCESS.2017.2654247.
5. Oracle Advanced Analytics Customer Success Stories [Electronic resource] – Access mode: <https://www.oracle.com/technetwork/database/options/advanced-analytics/odm/odm-customers-086483.html>
6. Free data mining software [Electronic resource] - Access mode: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-free-data-mining-software/#>
7. What is DM? [Electronic resource] – Access mode: <https://www.itweek.ru/idea/article/detail.php?ID=51482>
8. Romero C. Educational Data Mining: a Survey from 1995 to 2005. / Romero, C., Ventura, S. // Expert Systems with Applications. – 2007. – No 1. – Vol 33. – P. 135–146.
9. Baker R. The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future visions. / Baker R., Yacef K. // Journal of Educational Data Mining. – 2009. – Vol 1. – No 1.— Pp. 3–17.
10. Шумейко А. А., Сотник С. Л. Интеллектуальный анализ данных (Введение в Data Mining) : учеб. пособ. // Днепропетровск: Белая Е. А., 2012. – 212 с.
11. Марченко О.О., Россада Т.В. Актуальні проблеми Data Mining: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. // Київ. -2017. -150 с.

### References

1. Brendan Tierney Predictive Analytics Using Oracle Data Miner: Develop & Use Data Mining Models in Oracle Data Miner, SQL & PL/SQL: - Oracle Press, 2014. – 429 - ISBN: 978-0-07-182175-9
2. Data Mining software [Electronic resource] – Access mode: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-data-mining-software/>
3. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. //AI Magazine,

- 17(3), 1996, P. 37-54.
4. Ashish D. A Systematic Review on Educational Data Mining./ Ashish D. , Maizatul A. Ismail1 Tutut H. //IEEE Access ( Volume: 5 ) P. 15991 – 16005.Doi: 10.1109/ACCESS.2017.2654247.
  5. Oracle Advanced Analytics Customer Success Stories [Electronic resource] – Access mode: <https://www.oracle.com/technetwork/database/options/advanced-analytics/odm/odm-customers-086483.html>
  6. Free data mining software [Electronic resource] - Access mode: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-free-data-mining-software/#>
  7. What is DM? [Electronic resource] – Access mode: <https://www.itweek.ru/idea/article/detail.php?ID=51482>
  8. Romero C. Educational Data Mining: a Survey from 1995 to 2005. / Romero, C., Ventura, S. // Expert Systems with Applications. – 2007. – No 1. – Vol 33. – P. 135–146.
  9. Baker R. The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future visions. / Baker R., Yacef K. // Journal of Educational Data Mining. – 2009. – Vol 1. – No 1.— Pp. 3–17.
  10. Shumejko A. A., Sotnik S. L. Intel'ektual'nyj analiz danny'kh (Vvedenie v Data Mining) : ucheb. posob. // Dnepropetrovsk: Belaya E. A., 2012. – 212 s.
  11. Marchenko O.O., Rossada T.V. Aktual'ni` problemi Data Mining: Navchal`nij posi`bnik dlya studentiv`v fakul`tetu komp'yuternikh nauk ta ki`bernetiki. // Kiyiv. -2017. -150 s.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-27>

УДК 681.3.01

<sup>1</sup>Мороз Сергій Анатолійович, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>,

<sup>2</sup>Гузюк Георгій Олександрович, учень

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет,

<sup>2</sup>Волинський науковий ліцей-інтернат.

## АНАЛІЗ ПРОТОКОЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

**Мороз С.А., Гузюк Г.О. Аналіз протоколів передачі інформації для технології дистанційного управління засобами мережі Інтернет.** В статті розглянуті технології дистанційного управління різноманітним обладнанням за допомогою засобів мережі Інтернет. Зокрема проаналізовані різні протоколи передачі даних (інформації), які використовуються для технології управління, виявлені їх переваги та недоліки. Визначено, що одним з найбільш раціональним є протокол передачі даних MQTT.

**Ключові слова:** дистанційне управління, протоколи передачі даних, протокол MQTT, обмін повідомленнями.

**Мороз С.А., Гузюк Г.О. Анализ протоколов передачи информации для технологии дистанционного управления средствами сети Интернет.** В статье рассмотрены технологии дистанционного управления разнообразным оборудованием с помощью средств сети Интернет. В частности проанализированы различные протоколы передачи данных (информации), которые используются для технологии управления, выявлены их преимущества и недостатки. Определено, что одним из наиболее рациональным является протокол передачи данных MQTT.

**Ключевые слова:** дистанционное управление, протоколы передачи данных, протокол MQTT, обмен сообщениями.

**Moroz S., Huziuk H. Analysis of information transfer protocols for the technology of remote control by means of the Internet.** The article discusses technologies for remote control of various equipment using the Internet. In particular, various protocols of data (information) transmission that are used for control technology are analyzed, their advantages and disadvantages are revealed. It has been determined that one of the most rational is the MQTT data transfer protocol.

**Keywords:** remote control, data transfer protocols, MQTT protocol, messaging.

### Постановка наукової проблеми.

Ідея дистанційного керування і моніторингу різноманітного обладнання та систем через мережу Інтернет є важливою науково-технічною проблемою. Вирішенню цієї проблеми сприяє бурхливий розвиток електроніки, а саме поява нових датчиків та способів передачі керуючої інформації.

Можливість в будь-який момент часу отримати або відправити потрібну керуючу інформацію, не залежно від свого місця розташування, дає широкі можливості. Саме тому актуальною є проблема вибору раціонального протоколу передачі даних, який би забезпечував достатню швидкість передачі даних, не навантажував інтернет-канал, був зручним у використанні та запобігав втратам даних. Крім того, важливим чинником, який впливає на вибір протоколу передачі даних є тип обладнання, яким необхідно керувати.

Дистанційне керування реалізується різними способами:

1) Передача сигналу по проводах - використовується там, де немає можливості застосувати бездротову передачу (наприклад, через відсутність прямої видимості, наявності екранування, міркувань секретності тощо) або з міркувань вартості і перешкодозахищеності. Такий канал використовується, головним чином, для управління системами мобільних об'єктів, обладнанням виробничих об'єктів, лабораторій, або спеціальних об'єктів (військового і іншого призначення);

2) Радіо-дистанційне управління - використовується, головним чином, для управління рухомими об'єктами - радіокерованими спортивними моделями і іграшками, обладнанням для надзвичайних ситуацій (роботи і т. д.), безпілотними літальними апаратами (БПЛА), військовими мобільними об'єктами; або в ситуаціях, коли передавач і приймач не можуть перебувати в зоні прямої видимості (системи освітлення або опалення, підйомники гаражних дверей тощо);

3) Ультразвуковий канал - використовується рідко, для управління мобільними і стаціонарними об'єктами на порівняно невеликій відстані;

4) Інфрачервоний канал - використовується, як правило, для побутової електроніки. Інфрачервоне випромінювання сильно розсіюється, тому дальність дії обладнання, що використовує такий спосіб передачі даних обмежена кількома десятками метрів.

Радіо-дистанційне управління (RF-дистанційне керування) використовується для управління віддаленими об'єктами за допомогою різних радіосигналів, що передаються пристроєм дистанційного

керування. Більшість пультів дистанційного керування використовують власне кодування, передаючи від 8 до 100 або більше імпульсів, фіксований або змінний код.

Реалізація бездротових технологій дозволяє створювати мобільні системи. Дистанційне управління зазвичай складається з двох частин: передачі і прийому. Передавач розділений на дві частини: радіочастотний пульт дистанційного керування і модуль передавача. При цьому мобільним може блок на стороні оператора і (або) на стороні об'єкта управління. Це дозволяє використовувати модуль передавача в якості компонента в більшому додатку.

Для забезпечення великої дальності потрібні значні потужності радіопередавачів. Без дозволу можна працювати на малих потужностях в певних діапазонах частот.

Як різновид радіоканального варто відзначити WiFi обладнання, яке застосовується для створення IoT-обладнання, що застосовуються в системах "Розумний будинок".

### **Аналіз останніх досліджень.**

Мережевим протоколом називають пакет правил і приписів, що здійснює обмін інформацією між кількома пристроями, які є включені в кабельну або бездротову мережу. Найпоширенішою класифікацією мережевих протоколів, є OSI (Open System Interconnection) [1] - модель Взаємодії Відкритих Систем. Відповідно до неї, протоколи поділяються на 7 рівнів за призначенням. Від фізичного рівня, що відповідає за створення і визначення сигналів, до прикладного, який призначений для передачі інформації додатками (API). Найпоширенішим протоколом є протокол TCP / IP. Це протокол нижнього рівня, що по суті є платформою зв'язку в Internet. TCP або Transmission Control Protocol - розбиває передані дані на частини і нумерує їх. IP або ж Internet Protocol передає всі частини одержувачу. Потім, за допомогою TCP, виконується перевірка, чи всі компоненти отримані. При отриманні всіх частин, протокол TCP розподіляє їх в необхідному порядку і монтує в єдине ціле.

Розглянемо детальніше протоколи які часто використовуються глобальній мережі.

« HTTP - широко поширений протокол передачі даних, спочатку призначений для передачі гіпертекстових документів (тобто документів, які можуть містити посилання, що дозволяють організувати перехід до інших документів). Аббревіатура HTTP розшифровується як HyperText Transfer Protocol, «протокол передачі гіпертексту». Відповідно до специфікації OSI, HTTP є протоколом прикладного (верхнього, 7-го) рівня. Актуальна на даний момент версія протоколу, HTTP 1.1, описана в специфікації RFC 2616. Протокол HTTP припускає використання клієнт-серверної структури передачі даних. Клієнтську програму формує запит і відправляє його на сервер, після чого серверне програмне забезпечення обробляє цей запит, формує відповідь і передає його назад клієнтові. Після цього клієнтську програму може продовжити відправляти інші запити, які будуть оброблені аналогічним чином. Завдання, яке традиційно вирішується за допомогою протоколу HTTP - обмін даними між призначеним для користувача додатком, що здійснює доступ до веб-ресурсів (зазвичай це веб-браузер) і веб-сервером. На даний момент саме завдяки протоколу HTTP забезпечується робота Всесвітньої павутини » [2]. Недоліком даного протоколу є висока затримка сигналу та складність створення зворотних запитів.

Для обміну даними багато сучасних дронів, що збираються користувачами особисто, або комерційні і навіть промислові пристрої, використовують протокол MAVLink. MAVLink (англ. Micro Air Vehicle Link) — протокол створений для комунікації безпілотного апарату із наземною станцією. MAVLink розроблений у вигляді бібліотеки маршалінгу повідомлень, яка складається виключно з файлів-заголовків. MAVLink був уперше випущений 2009 року Лоренцом Майером. « Протокол описує інформаційну взаємодію між системами, такими як MAV і GCS (Ground control station) - станція наземного управління, а також їх складовими частинами - компонентами. Базовою сутністю MAVLink є пакет, який має такий вигляд: Перший байт пакету (STX) - це символ початку повідомлення: 0xFD для версії v2.0, 0xFE для версії v1.0, 0x55 для версії v0.9. LEN - довжина корисного навантаження (повідомлення). SEQ - містить лічильник пакета (0-255), який допоможе нам виявити втрату повідомлення. SYS (System ID) - ідентифікатор системи, яка відправляє повідомлення, а COMP (Component ID) - ідентифікатор компонента, який відправляє повідомлення. MSG (Message ID) - тип повідомлення, від нього залежить, які дані будуть лежати в корисного навантаження пакета. PAYLOAD - корисне навантаження пакета, повідомлення, розміром від 0 до 255 байт. Два останні байта пакету - СКА і СКВ, нижній і верхній байт, відповідно, містять контрольну суму пакета. Бібліотека MAVLink дозволяє кодувати і розкодувати пакети згідно з протоколом, але вона не регламентує, якими апаратними та програмними засобами дані будуть відправлені - це можуть бути TCP / UDP повідомлення, обмін через послідовний порт або інший спосіб, який забезпечує

двосторонній обмін. Бібліотека обробляє вхідні дані побайтово, додаючи їх в буфер і сама збирає з них пакет. Кожна система або компонент, може одночасно обмінюватися даними з різних джерел, тоді для кожного джерела призначається спеціальний ідентифікатор, який називають channel (канал). MAVLink містить буфер на кожний канал » [3]. Недоліком даного протоколу є повна відсутність підтримки його розробниками

UDP (англ. User Datagram Protocol) - один з мережевих протоколів для Інтернету в стеку TCP/IP. «Відмінності даного протоколу з протоколом передачі даних TCP в тому, що він працює без встановлення з'єднання. UDP — один з найпростіших протоколів транспортного рівня OSI, який обмінюється повідомленнями, не гарантуючи їхньої доставки. Використовуючи UDP, відповідальність за обробку помилок і повторної передачі даних лежить на протоколі рівнем вище. Проте UDP є доцільним та ефективним для серверів, котрі надсилають невеликі за обсягом відповіді великій кількості клієнтів. Назва UDP-конверту містить у собі чотири поля, з яких два є опціональними. «Порт відправника» і «контрольна сума» — це 16-бітні поля, які ідентифікують відправляючий та отримуючий процеси. «Порт відправника» є необов'язковим, через те що, UDP працює без встановлення з'єднання та відправник даних може не потребувати відповіді. В такій ситуації «порт відправника» мусить бути рівним нулю. Номери портів зазвичай є зарезервованими за службами » [4].

Поле «Розмір» є обов'язковим, бо воно визначає довжину усього пакету в байтах, включно із полем «Дані». Мінімальне значення даного поля рівне восьми байтам.

Остаточне поле теми UDP-конверту довжиною 16 біт складається з контрольної суми теми і поля даних. «Контрольна сума» також є необов'язковим полем, але на практиці його використовується майже у всіх випадках.

Програми, котрі використовують UDP у ролі транспортного протоколу, повинні бути готові до помилок та втрат деяких даних і їх повторної передачі. Певні програми, наприклад TFTP, використовують додаткові програмні механізми для підвищення надійності передачі. Проте у більшості випадків для таких програм надійність не є вимогою і може завадити уповільненням зв'язку. Прикладами програм, які часто використовують UDP є потокове відео та VoIP (голос поперх IP). Коли ж програма потребує досить високого рівня надійності, то вона може використовувати протокол TCP або код, надлишковість якого допоможе знаходити помилки при передачі даних.

Через те, що у UDP відсутні будь-які контрольні механізми запобігання перенавантаженням, мережеві механізми мусять мати засоби для зменшення ефекту потенційних перевантажень від завеликого, неконтрольованого потоку UDP-трафіку. Тобто, через те, що UDP-відправники не можуть виявляти перевантаженість, єдиним інструментом для призупинки надмірного UDP-трафіку залишаються такі мережеві елементи, як роутери, які використовують «черги конвертів» та «відкидання конвертів». DCCP (Datagram Congestion Control Protocol, протокол, який використовується для контролю навантаженості датаграм) створений як часткове вирішення цієї проблеми, він може контролювати навантаження на кінцевих вузлах високошвидкісних потоків UDP-трафіку, наприклад, потокового відео або VoIP. Недоліками даного протоколу в тому, що оскільки послідовність і підтвердження під час передачі даних відсутні, UDP вважається ненадійною і небезпечною. Пошкоджені пакети видаляються, але не запитуються для повторної передачі, після того як вони загублені.

WebSocket — протокол, який призначений для обміну інформацією між веб-сервером та браузером в режимі реального часу. Він забезпечує двонаправлений повнодуплексний канал зв'язку через один TCP-сокет[5]. WebSocket створено для застосування у веб-серверах та веб-браузерах, але може також використовуватись будь-яким застосунком, який працює за клієнт-серверною архітектурою. Прикладний програмний інтерфейс WebSocket був стандартизований W3C, крім того протокол WebSocket стандартизований IETF як RFC 6455. Для встановлення WebSocket-з'єднання, клієнт мусить надіслати handshake-запит — так званий запит для встановлення довіри, своєрідне, «цифрове рукоштовування». Клієнт також надсилає свій відкритий ключ Sec-WebSocket-Key для шифрування його повідомлень. Відкритий ключ в розділі параметрів HTTP-запиту кодується в форматі base64. У разі встановлення з'єднання, клієнтові надходить відповідь надіслана сервером. Сервер, через коректне заповнення параметра Sec-WebSocket-Accept надає підтвердження, що він дійсно має право встановлювати WebSocket-з'єднання. Недоліками даного протоколу є те, що він є несумісний з деякими браузерами, немає захисту від проблем зі з'єднанням, гарантії доставки всіх повідомлень в потрібному порядку та потреба постійно тримати з'єднання відкритим.

### **Виклад основного матеріалу.**

В результаті аналізу інформаційних джерел для технології дистанційного управління різним обладнанням раціональним є протокол передачі даних MQTT.

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) — це спрощений мережевий протокол, який працює на прикладному рівні поверх TCP / IP. Використовується для обміну повідомленнями між пристроями за принципом публікач – підписник – публікач, клієнт, який передає повідомлення, називається видавцем (publisher); клієнт, який отримує повідомлення - підписником (subscriber) (рис. 1.). У центрі знаходиться MQTT-брокер – центральний вузол MQTT, що забезпечує взаємодію клієнтів. Обмін даними між клієнтами відбувається тільки через брокера. В якості брокера може виступати серверне програмне забезпечення або контролер. В обов'язки його функціонування входить отримання даних від клієнтів, обробка і збереження даних, доставка даних клієнтам, і контроль за доставкою повідомлень.

MQTT-клієнти не мають безпосереднього зв'язку один з одним, і не взаємодіють безпосередньо. Брокер може отримувати дані з різних джерел, проводити над ними маніпуляції, наприклад, розраховувати середнє значення від декількох датчиків, і вже оброблені дані повертати підписнику.

При цьому, асинхронність протоколу MQTT передбачає, що підписник та публікач можуть бути онлайн в різний час, втрачати пакети, і бути недоступні. Брокер подбає про те, щоб зберегти в пам'яті останні дані, отримані від публікача, і забезпечити їх доставку до підписника.

Пристрої MQTT використовують певні типи повідомлень для взаємодії з брокером, зокрема:

- Connect - встановити з'єднання з брокером;
- Disconnect - розірвати з'єднання з брокером;
- Publish - опублікувати дані в топик на брокера;
- Subscribe - підписатися на топик на брокера;
- Unsubscribe - відписатися від топика.



Рис .1. Схема взаємодії між підписником, публікачем і брокером

База даних брокера окремо містить таблицю з усіма отриманими пакетами з індексацією по топиках цих пакетів, котрі мають можливість хешуватись.[6] Отримавши пакет, брокер надсилає його усім клієнтам в мережі згідно їх підписці. Щоб пристрій щось отримав від брокера він мусить бути підписаним на топик. Топіки складаються з UTF8-символів, і мають деревоподібну структуру, схожу на файлову систему в UNIX. Це зручний механізм, що дозволяє представити дані у зрозумілому вигляді. Топіки виникають динамічно за фактом підписника або за фактом приходу пакету з даними топиком. Таким чином топіки є зручним механізмом організації зв'язків різних видів: один до багатьох, багато до одного і багато до багатьох. Якщо у пакета немає підписників, він відкидається. В разі, коли підписника немає на зв'язку, то пакет або відразу стирається в базі брокера, або чекає на підключення абонентів вказаний в конфігурації час. Варіант поведінки визначається атрибутом QoS пакету. MQTT не залежить від формату даних. Корисне навантаження (payload) може містити будь-який тип даних, тому і видавці, і підписники повинні розуміти і узгоджувати формат даних. У корисне навантаження можна надсилати текстові повідомлення, дані зображення, звукові дані, зашифровані дані, двійкові дані, об'єкти JSON або практично будь-яку іншу структуру. Однак текстові і двійкові дані JSON є найбільш поширеними типами даних корисного навантаження.

Для контролю доступу в MQTT передбачена аутентифікація клієнтів, на відміну від протоколу Modbus, який не має такої функції. Для контролю доступу використовуються такі поля: ClientId - (обов'язкове поле) унікальний ідентифікатор клієнта. Повинен бути унікальним для кожного клієнта. Поточна версія стандарту MQTT 3.1.1 дозволяє використовувати порожнє поле ClientId, якщо не потрібно збереження стану підключення. Username - (опціональне поле) логін для аутентифікації, в форматі UTF-8. Може бути не унікальним. Наприклад, група клієнтів може авторизуватися з одним і тим же логіном / паролем. Password - (опціональне поле) може надсилатися тільки разом з полем Username, при цьому Username може передаватися без поля Password. Максимум 65535 байт. Важливо

знати, що ім'я та пароль передаються у відкритому вигляді, тому, якщо дані передаються по публічних мереж, необхідно використовувати SSL для шифрування підключення.

Гнучкість протоколу MQTT дозволяє клієнту передавати дані, заздалегідь не визначені на брокера. Тобто немає необхідності попередньо створювати потрібні топіки, в які зможе записати дані Publisher. Використовуючи дані, отримані з особистого кабінету можливо вручну скласти запит для публікації даних в необхідний топик та читання з нього.

Максимально допустимий розмір пакета в MQTT становить 256 Мб, що дозволяє отримати надзвичайно велику кількість даних. Наприклад, IBM Watson може обробляти дані розміром до 128 Кб, а Google підтримує 256 Кб. З іншого погляду, опубліковане повідомлення може включати корисне навантаження нульової довжини. Поле корисного навантаження є не обов'язковим. Необхідно звірити відповідність розмірів корисного навантаження з обраним хмарним провайдером. Недотримання цієї вимоги може призвести до помилок і відмови у доступі до хмарного брокера.

Для забезпечення безпеки в протоколі MQTT реалізовані наступні методи захисту:

- аутентифікація клієнтів. Пакет CONNECT може містити в собі поля USERNAME і PASSWORD.

При реалізації брокера можна використовувати ці поля для аутентифікації клієнта;

- контроль доступу клієнтів через Client ID;
- підключення до брокера через TLS / SSL.

На даний момент MQTT є ефективним і одним із найбільш популярних протоколів передачі даних між окремими пристроями в рамках систем IoT. Він має декілька переваг відносно інших протоколів передачі даних[7]:

- працює за NAT (Network Address Translation) - клієнти можуть перебувати за NAT, тільки сервер (брокер) повинен мати реальний IP. Дозволяє не використовувати VPN і прокидання портів;
- динамічна конфігурація - не вимагає попередньо узгодження полів і форматів даних, може конфігуруватися «при потребі»;
- підтримує QoS - можливість управляти пріоритетом повідомлень і гарантувати доставку повідомлення адресату.;
- мізерне споживання трафіку;
- асинхронний - дозволяє обслуговувати велику кількість пристроїв, і не залежить від мережевих затримок;
- повна відсутність втрат даних;
- зручна адресація - поля даних мають текстові назви, зрозумілі для користувача. Не потрібно запам'ятовувати цифрові адреси та бітові зсуви.

Всі ці переваги дають можливість управління та моніторингу в режимі реального часу. Але MQTT потребує наявності свого особистого сервера, який відіграє роль посередника між усіма клієнтами мережі. Тут є два варіанти: використовувати сторонні сервіси по підписці, або створювати свій сервер. Існує багато хмарних провайдерів, які надають послуги MQTT-брокера, наприклад Microsoft Azure IoT Hub, Amazon AWS IoT, Cloudmqtt.com і інші.

Описана система управління побудована з двох основних частин: сервера MQTT і клієнтів, яких може бути безліч.

## Висновки.

MQTT - сучасний протокол, позбавлений багатьох недоліків попередників. Його гнучкість дозволяє додавати клієнтські пристрої без налаштувань брокера, що суттєво економить час. Поріг входження для розуміння і настройки протоколу досить низький, а наявність бібліотек для великої кількості мов програмування дозволяє вибрати будь-який стек технологій для розробки. Гарантія доставки повідомлень істотно відрізняє MQTT від його попередників, і дозволяє не витрачати час на зайву розробку власних механізмів контролю цілісності на мережевому рівні.

## Список бібліографічного опису

1. Мережева модель OSI [Електронний ресурс] // Вільна енциклопедія «Вікіпедія» – Режим доступу до ресурсу: URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%B2%D0%B0\\_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C\\_OSI](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C_OSI).
2. Простым языком об HTTP [Електронний ресурс] // Информационная система «Хабр» – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://habr.com/ru/post/215117/>.
3. MAVLink [Електронний ресурс] // Вільна енциклопедія «Вікіпедія» – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/MAVLink>.
4. UDP [Електронний ресурс] // Свободная энциклопедия «Википедия» – Режим доступу до ресурсу: URL:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/UDP>.

5. WebSocket [Електронний ресурс] // Вільна енциклопедія «Вікіпедія» – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://clck.ru/SmteF>
6. Как общаются машины — протокол MQTT [Електронний ресурс] // Информационная система «Хабр» – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://bit.ly/39rIDSB>.
7. Климаш М. М. Технологии беспроводного зв'язку / М. М. Климаш, В. О. Пелишок, П. М. Михайленич. – Львів: НВБД УАД, 2007. – 818 с.
8. Погорілий С. Д. Комп'ютерні мережі. Апаратні засоби та протоколи передачі даних / С. Д. Погорілий, Д. М. Калита. – Київ: ВПЦ "Київський ун-т", 2007. – 455 с.

#### References

1. OSI Network Model [Electronic resource] // Free encyclopedia "Wikipedia" - Resource access mode: URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0% B5% D0% B6% D0% B5% D0% B2% D0% B0\\_% D0% BC% D0% BE% D0% B4% D0% B5% D0% BB% D1% 8C\\_OSI](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0% B5% D0% B6% D0% B5% D0% B2% D0% B0_% D0% BC% D0% BE% D0% B4% D0% B5% D0% BB% D1% 8C_OSI).
2. In simple language about HTTP [Electronic resource] // Information system "Habr" - Access mode to the resource: URL: <https://habr.com/ru/post/215117/>.
3. MAVLink [Electronic resource] // Free encyclopedia "Wikipedia" - Mode of access to the resource: URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/MAVLink>.
4. UDP [Electronic resource] // Free encyclopedia "Wikipedia" - Access mode to the resource: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/UDP>
5. WebSocket [Electronic resource] // Free encyclopedia "Wikipedia" - Resource access mode: URL: <https://clck.ru/SmteF>.
6. How machines communicate - MQTT protocol [Electronic resource] // Information system "Habr" - Mode of access to the resource: URL: <https://bit.ly/39rIDSB>.
7. Klimash M.M. Wireless communication technologies / M.M. Klimash, V.O. Pelishok, P.M. Mykhaylenych. - Lviv: NVED UAD, 2007. - 818 p.
8. Pogoriliy SD Computer networks. Hardware and data transmission protocols / SD Pogoriliy, DM Kalita. - Kyiv: VPTs "Kyiv University", 2007. - 455 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-28>

УДК 004.67

**Муляр Вадим Петрович**, к. пед. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4774-3947>

**Яцюк Світлана Миколаївна**, к. пед. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8369-6060>

Волинський національний університет імені Лесі Українки

## ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ В GOOGLE SHEETS ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ SPARKLINE

**Муляр В. П., Яцюк С. М. Візуалізація даних в Google Sheets із використанням функції SPARKLINE.** У статті розкрито особливості візуалізації даних за допомогою функції SPARKLINE. Проведено аналіз різноманітних засобів візуалізації даних. Показано, що сервіс Google Sheets легко інтегрується з різноманітними сервісами та джерелами даних. Він містить набір інструментів для створення звітів та візуалізацій. На конкретних прикладах розглянуто різноманітні аспекти побудови мінідіаграм різних типів в Google Sheets із використанням функції SPARKLINE.

**Ключові слова:** Google Sheets, SPARKLINE, візуалізація даних, діаграми, мінідіаграми, електронні таблиці.

**Муляр В. П., Яцюк С. М. Визуализация данных в Google Sheets с использованием функции SPARKLINE.** В статье раскрыты особенности визуализации данных с помощью функции SPARKLINE. Проведен анализ различных средств визуализации данных. Показано, что сервис Google Sheets легко интегрируется с различными сервисами и источниками данных. Он содержит набор инструментов для создания отчетов и визуализаций. На конкретных примерах рассмотрены различные аспекты построения мини-диаграмм различных типов в Google Sheets с использованием функции SPARKLINE.

**Ключевые слова:** Google Sheets, SPARKLINE, визуализация данных, диаграммы, миниатюрные диаграммы, электронные таблицы.

**Vadim Muliar, Svitlana Yatsiuk. Data Visualization in Google Sheets Using the SPARKLINE Function.** The article reveals the features of data visualization using the SPARKLINE function. The analysis of various means of data visualization is carried out. Google Sheets has been shown to integrate easily with a variety of services and data sources. It contains a set of tools for creating reports and visualizations. The specific examples cover various aspects of building mini-charts of different types in Google Sheets using the SPARKLINE function.

**Keywords:** Google Sheets, SPARKLINE, data visualization, charts, mini charts, spreadsheets.

**Постановка наукової проблеми.** Одним із ефективних способів засвоєння інформації є візуалізація. Це подання числової і текстової інформації у вигляді графіків, діаграм, структурних схем, таблиць, малюнків, карт і т. д. Візуалізація даних дозволяє акцентувати увагу людини на різних її аспектах, уможливує здійснення аналізу великих наборів даних зі складною структурою, сприяє зменшенню інформаційного перевантаження людини і утримання її уваги, забезпечує однозначність і ясність виведених даних, сприяє виділенню взаємозв'язків і відношень, що містяться в інформації.

Деякі засоби візуалізації інформації включено до сучасних електронних таблиць. Вони не охоплюють всього різноманіття технік, але для простих задач і оперативного прототипування цілком годяться. За їх допомогою можна будувати лінійні, стовпчасті, кругові, променеві, бульбашкові, кільцеві, деревовидні діаграми, гістограми, діаграми спагеті, географічні діаграми, японські свічки, 3d-карти і т. д. До цих засобів належать і мініатюрні діаграми, що містяться в одній клітинці. Вони є чудовим, швидким способом візуалізації даних, який не потребує побудови складної повномасштабної діаграми.

**Аналіз досліджень.** В роботі [4] розкрито питання побудови Sparklines у Microsoft Excel та Google Sheets. Створенню мінідіаграм в Google Sheets та їх налаштуванню присвячено дослідження Бена Коллінза [3]. Приклади використання функції SPARKLINE в Google Sheets наведено в роботах [7], [1]. Дослідження показують, що використання мінідіаграм як елементу візуалізації інформації може бути корисним для відображення тренду при роботі з великими масивами даних.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є дослідження особливостей візуалізації даних в Google Sheets із використанням функції SPARKLINE.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.** Для побудови якісних візуалізацій зазвичай використовують спеціалізовані сервіси та інструменти. Зокрема, Data Studio дозволяє підключати свої джерела, візуалізувати дані і, що найзручніше, легко ділитися звітами з колегами по аналогії з іншими продуктами Google [10]. За допомогою онлайн-сервісу RAWGraphs можна легко будувати досить екзотичні діаграми на кшталт bump chart, alluvial chart, streamgraph тощо [5]. Дуже простим у використанні є інструмент Chartbuilder. Він отримує дані у JSON або копіюванням (роздільник – табулятор). На їх основі Chartbuilder будує прості XY графіки та експортує у PNG, SVG і JSON [2]. Платформою для публікації і візуалізації даних є Silk [6]. Створені на ній візуалізації є загальнодоступними і ними можна поділитися в соціальних мережах за допомогою посилання або

вставити на свій сайт за допомогою коду. Для створення інтерактивних комбінованих візуалізацій без необхідності програмувати чи малювати можна скористатись Tableau Public [8]. Це десктопна програма для Windows та MacOS, яка має безкоштовну версію.

Поряд з тим, найпопулярнішим інструментом для створення звітів і візуалізацій є сервіс Google Sheets. Він має досить простий і зрозумілий інтерфейс, безкоштовний, гнучкий (можна використовувати динамічні параметри, зведені таблиці і т. д.), легко інтегрується з різноманітними джерелами даних, дозволяє ділитися звітами за допомогою посилання. Google Sheets дозволяє завантажувати дані безпосередньо з Google Analytics і будувати звіти вже на агрегованих даних. Є можливість управляти кольором і вибирати форматування комірок. Набір графіків і звітів, які є в Google Sheets, аналогічний набору звітів в Google Data Studio [9].

Окрім того, сервіс містить допоміжний елемент в роботі з таблицями – мінідіаграми. Підібравши відповідний її тип, можна аналізувати інформацію за допомогою ємних і компактних візуалізацій.

Розглянемо особливості створення мінідіаграм в Google Sheets та приклади їх використання.

Для створення мініатюрної діаграми, що міститься в одній клітині, слід використати функцію SPARKLINE.

Нижче наведено приклади використання цієї функції.

```
SPARKLINE(A1:F1)
```

```
SPARKLINE(A2:E2;{"charttype"\"bar\";\"max\"40})
```

```
SPARKLINE(A2:E2;A4:B5)
```

```
SPARKLINE(A1:A5; {\"charttype\"column\"; \"axis\"true; \"axiscolor\"red\"})
```

Синтаксис функції

SPARKLINE(data, [options]),

де

data – діапазон або масив, що містить дані для побудови діаграми;

options [необов'язково] – діапазон або масив додаткових параметрів і пов'язаних з ними значень, які використовуються для налаштування діаграми.

Діапазони options повинні займати дві комірки. У першій комірці міститься назва параметра, а в другій – його значення.

Параметр charttype визначає тип діаграми. Він може набувати таких значень:

line (за замовчуванням) для лінійного графіка;

bar для гістограми;

column для стовпчастої діаграми;

winloss для стовпчастої діаграми, яка передбачає всього два результати (позитивний або негативний).

Для лінійних графіків можна задати:

xmin – мінімальне значення по горизонтальній осі;

xmax – максимальне значення по горизонтальній осі;

ymin – мінімальне значення по вертикальній осі;

ymax – максимальне значення по вертикальній осі;

color – колір лінії;

empty – значення порожніх клітинок (можливі варіанти: zero – нуль, ignore – ігнорувати);

nan (нечислові дані) – значення комірок з нечисловими даними (можливі варіанти: convert – конвертувати, ignore – ігнорувати);

rtl (справа наліво) – визначає, чи відображати дані на діаграмі справа наліво (можливі варіанти: true – так, false – ні).

linewidth – товщину лінії в діаграмі. Чим більше значення, тим товстіша лінія.

Для стовпчастої діаграми і діаграми з позитивним або негативним результатом можна задати:

color – колір стовпців діаграми;

lowcolor – колір для мінімального значення на графіку;

highcolor – колір для максимального значення на графіку;

firstcolor – колір першого стовпчика;

lastcolor – колір останнього стовпчика;

negcolor – колір всіх стовпців з негативними значеннями;

empty (відсутні дані) – значення порожніх клітинок (можливі варіанти: zero – нуль, ignore – ігнорувати);

nan (нечислові дані) – значення комірок з нечисловими даними (можливі варіанти: convert – конвертувати, ignore – ігнорувати);

axis – визначає, чи повинна відображатися вісь (true – так, false – ні);

axiscolor – колір осі (якщо вона відображається);

umín – мінімальну висоту стовпчика (не застосовується для діаграм з позитивним або негативним результатом);

umax – максимальну висоту стовпчика (не застосовується для діаграм з позитивним або негативним результатом);

rtl (справа наліво) – визначає, чи відобразити дані на діаграмі справа наліво (можливі варіанти: true – так, false – ні).

Для гістограм можна задати такі значення:

max – максимальне значення по горизонтальній осі;

color1 – перший колір стовпців;

color2 – другий колір стовпців;

empty (немає даних) – значення порожніх клітинок (можливі варіанти: zero – нуль, ignore – ігнорувати);

nan (нечислові дані) – значення комірок з нечисловими даними (можливі варіанти: convert – конвертувати, ignore – ігнорувати);

rtl (справа наліво) – визначає, чи відобразити дані на діаграмі справа наліво (можливі варіанти: true – так, false – ні).

Окрім того, кольори можна записати, використовуючи їх назви (наприклад, «green») або шістнадцятковий код (наприклад, "#3D3D3D").

Для того, щоб змінити колір лінійної діаграми, потрібно змінити колір шрифту комірки.

Розглянемо приклади використання функції SPARKLINE в Google Sheets [1].

*Гістограма. Дані однієї серії*

Гістограму зазвичай використовують для порівняння значень кожної комірки в стовпці (рис. 1).

Для того, щоб панель не займала цілий стовпець встановлюють параметр max.

*Основна гістограма*

=sparkline(B5;{"charttype"\bar";"max"\100})

Працівник	Продуктивність, %	Порівняльний аналіз
Степан	74	
Іван	18	
Данило	80	

Рис. 1. Таблиця з основною гістограмою

*Гістограма зі зворотним напрямком із максимальним аргументом і кольором*

rtl (справа наліво) змінює напрямок стовпців. Щоб встановити межу ширини на найбільше значення в стовпці даних потрібно використати функцію max для значення max зі стовпцем даних як діапазон (рис. 2).

=sparkline(B5;{"charttype"\bar";"color1"\teal";"rtl"\true;"max"\max(B\$5:B)})

Менеджер	Продаж	Порівняльний аналіз
Максим	30	
Степан	30	
Кирило	30	
Іван	10	
Іванна	50	

Рис. 2. Таблиця з гістограмою зі зворотним напрямком

*Гістограма. Дані серії з накопиченням*

Складена гістограма "Versus". Вона дозволяє порівнювати декілька стовпців з кожним рядком як частин цілого (рис. 3).

Для створення візуально привабливих гістограм слід встановити шістнадцятковий код кольору. За значенням max для ширини смуги не буде встановлено ширину комірки.

=sparkline(C5:D5;{"charttype"\bar";"color1"\EB4967";"color2"\73A4D3"})

Штат		Джо Байден	Дональд Трамп
Каліфорнія		63,5	34,3
Техас		46,5	52,1
Флорида		47,9	51,2
Орегон		56,5	40,4

Рис. 3. Таблиця зі складеною гістограмою "Versus"

Складена гістограма з шістнадцятковим кодом кольору. Комірки Квартал 1 та Квартал 2 для рядка 2015 року не мають числових значень (рис. 4). Якщо пап "ігнорувати", ці значення будуть виключені з діаграми.

Параметр "Макс" визначається найбільшим значенням стовпця "Загалом".

=sparkline(C5:F5;{"charttype"\"bar\";\"color1\" \"A7DBD8\";\"color2\" \"69D2E7\";\"max\" \max(G\$5:G\$8);\"nan\" \"ignore\"})

Рік		Квартал 1	Квартал 2	Квартал 3	Квартал 4	Загалом
2015				61	61	122
2017		53	43	56	67	219
2018		45	78	89	12	224
2019		34	67	87	23	211

Рис. 4. Таблиця зі складеною гістограмою з шістнадцятковим кодом кольору

Лінійні діаграми. Дані однієї серії (Y)

Стандартна лінійна діаграма та ефекти утіп. Лінійний графік відображає динаміку по одному або декількох показниках. Його зручно використовувати, щоб порівняти, як змінюються з часом різні набори даних (рис. 5).

Ця діаграма використовує спеціальний колір та ширину лінії. Вона також демонструє, як змінити колір фону діаграми, змінивши колір фону клітинки. Обидві діаграми відображають однакові дані, але оскільки в одній значення параметру утіп дорівнює 0, то вона виглядає по іншому.

=SPARKLINE(B5:G5;{"charttype"\"line\"; \"color\" \"indigo\"; \"linewidth\" 2})

	10	12	56	90	51	-10
	9	15	45	-20	35	60

Рис. 5. Таблиця з стандартною лінійною діаграмою

Лінійна діаграма з умовним забарвленням. Колір встановлюється в формулі з використанням функції if. Ця формула порівнює перше і останнє значення серії, і, якщо останнє значення в серії більше першого значення, параметр кольору рядка встановлюється зеленим, в протилежному випадку – червоним (рис. 6).

=SPARKLINE(B5:G5;{\"color\" \"if(B5>G5;\"green\";\"red\");\"ymax\" 100;\"linewidth\" 2})

	12	56	46	-10	55	64
	55	45	78	9	89	23

Рис. 6. Таблиця з лінійною діаграмою з умовним забарвленням

Лінійні діаграми. Дані подвійної серії (X та Y)

*Лінійна діаграма з умовним забарвленням.* Вона призначена для відображення даних часових рядів, якщо значення змінюються через непослідовні інтервали часу. Функція slope використовується для задання кольору для лінії. Якщо значення slope більше 0, рядок зелений, інакше – червоний.

Окрім того, утах і хтах набувають значень, що перевищують будь-яке значення даних. Це створює запас навколо лінійної діаграми (рис. 7).

=SPARKLINE(C5:H6;{"color"\if(slope(C5:H5;C6:H6)>0;"green";"red"); "linewidth"\2; "ymax"\25; "xmax"\15})

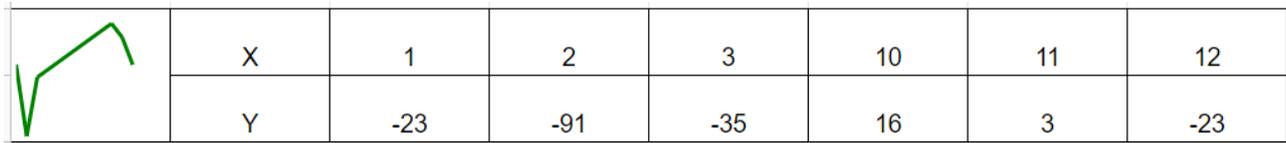


Рис. 7. Таблиця з лінійною діаграмою з умовним забарвленням

*Лінійна діаграма: малювання ліній.* Рядки будуть слідувати координатам X і Y, навіть якщо вони не є послідовними (рис. 8).

=SPARKLINE(B5:M6;{"color"\red"; "linewidth"\8})

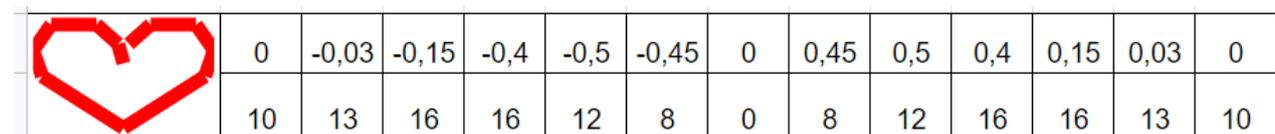


Рис. 8. Таблиця з лінійною діаграмою малювання ліній

*Графіки виграшу / програшу*

*Спеціальні кольори та кольорові осі.* Вона призначена для відображення двійкових даних, таких як виграші та програші (рис. 9).

Кольори допомагають привернути увагу до даних швидше, ніж просто форми.

=SPARKLINE(B\$5:G\$5;{"charttype"\winloss";"color"\teal;"negcolor"\grey;"axis"\true;"axiscolor"\black"})

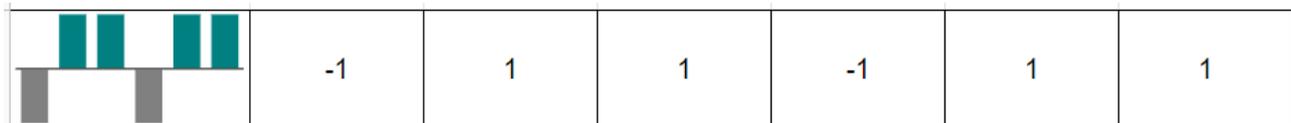


Рис. 9. Таблиця з графіком виграш/програш

*Спеціальні кольори.* Firstcolor і lastcolor дозволяють використовувати забарвлення стовпців (рис. 10).

=SPARKLINE(B\$5:G\$5;{"charttype"\winloss";"color"\grey;"axis"\true;"axiscolor"\black";"firstcolor"\green;"lastcolor"\yellow"})

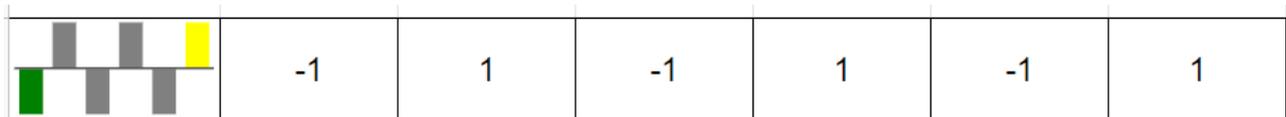


Рис. 10. Таблиця з графіком виграш/програш зі спеціальними кольорами

*Спеціальні кольори та кольорові осі.* Параметри nan та порожні визначають, як обробляються нечислові чи порожні дані (рис. 11).

У цьому випадку перша клітинка порожня, а п'ята комірka – текст. Обидві комірki ігноруються.

=SPARKLINE(B\$5:G\$5;{"charttype"\winloss";"color"\grey;"axis"\true;"axiscolor"\black";"nan"\ignore;"empty"\ignore"})

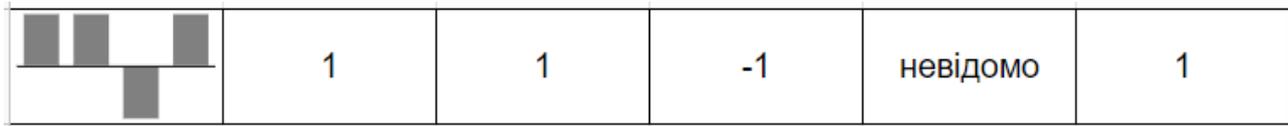


Рис. 11. Таблиця з графіком виграш/програш зі спеціальними кольорами

*Стовпчасті діаграми: справа з негативними значеннями*

Вони призначені для порівняння значень ряду один з одним.

Є два способи відображення стовпців діаграми в залежності від наявності від'ємних значень.

Перший – встановити інше значення кольору стовпців, а другий – не відображати їх взагалі, встановивши значення  $y_{min}$  у 0 (рис. 12).

`=SPARKLINE(B$5:G$5;{"charttype"\"column";"color"\"teal";"negcolor"\"purple"})`

`=SPARKLINE(B$6:G$6;{"charttype"\"column";"color"\"teal";"ymin"0})`

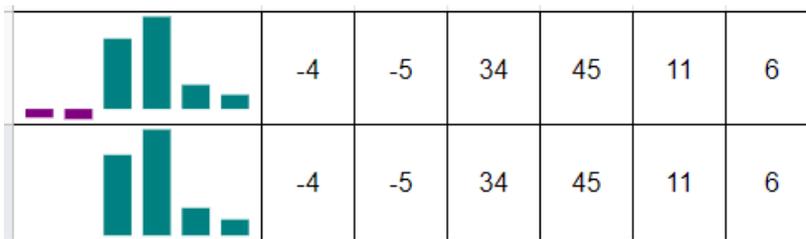


Рис. 12. Таблиця зі стовпчастою діаграмою

*Стовпчасті діаграми: кольори акценту високих та низьких значень*

Параметри `highcolor` and `lowcolor` дозволяють легко визначити високі та низькі значення в серії даних (рис. 13).

`=SPARKLINE(B$5:G$5;{"charttype"\"column";"color"\"teal";"negcolor"\"purple";"lowcolor"\"fuchsia";"highcolor"\"aqua"})`

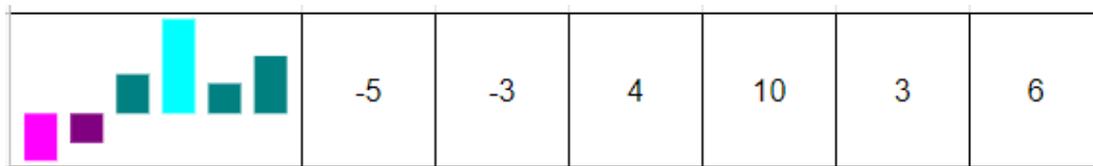


Рис. 13. Таблиця зі стовпчастою діаграмою

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** У роботі досліджено особливості візуалізації даних в Google Sheets із використанням функції SPARKLINE. Проведено аналіз засобів, які застосовують для створення якісних візуалізацій. Показано, що найпопулярнішим серед них є Google Sheets. Цей засіб легко інтегрується з різноманітними джерелами даних та сервісами веб-аналітики. Він містить набір інструментів для створення звітів та візуалізації даних. Використання функції SPARKLINE дозволяє створювати мініатюрні діаграми в одній клітинці. На конкретних прикладах показано, що побудова мінідіаграм різних типів дає можливість візуально аналізувати великі набори даних. При цьому немає потреби у побудові складної повномасштабної діаграми.

Перспективним є розгляд прикладних задач, які передбачають поєднання SPARKLINE з іншими функціями Google Sheets.

#### Список бібліографічного опису

- 22 Google Sheets Tips & Tricks. URL: <https://www.direct365.co.uk/blog/22-google-sheets-tips-tricks/>
- Chartbuilder 3.0.5. URL: <https://quartz.github.io/Chartbuilder/>
- Everything you ever wanted to know about Sparklines in Google Sheets. URL: <https://www.benlcollins.com/spreadsheets/sparklines-in-google-sheets/>
- How to create Sparklines in Microsoft Excel and Google Sheets. URL: <https://www.how2shout.com/how-to/how-to-create-sparklines-in-microsoft-excel-and-google-sheets.html>
- Rawgraphs. URL: <https://rawgraphs.io/>
- Silk – создание полноценного сайта с визуализацией данных. URL: <https://te-st.ru/entries/silk/>
- Sparkline Google Sheets Examples. URL: <https://howtoexamples.com/google-sheets/conditional-sparklines/>
- Tableau Public URL: <https://public.tableau.com/en-us/s/>

9. Типы диаграмм и графиков в Google Таблицах. URL: [https://support.google.com/docs/answer/190718?hl=ru&ref\\_topic=1361474](https://support.google.com/docs/answer/190718?hl=ru&ref_topic=1361474)
10. Центр даних. URL: <https://datastudio.google.com/u/0/navigation/reporting>

#### References

1. 22 Google Sheets Tips & Tricks. URL: <https://www.direct365.co.uk/blog/22-google-sheets-tips-tricks/>
2. Chartbuilder 3.0.5. URL: <https://quartz.github.io/Chartbuilder/>
3. Everything you ever wanted to know about Sparklines in Google Sheets. URL: <https://www.benlcollins.com/spreadsheets/sparklines-in-google-sheets/>
4. How to create Sparklines in Microsoft Excel and Google Sheets. URL: <https://www.how2shout.com/how-to/how-to-create-sparklines-in-microsoft-excel-and-google-sheets.html>
5. Rawgraphs. URL: <https://rawgraphs.io/>
6. Silk – создание полнотемного сайта с визуализацией данных. URL: <https://te-st.ru/entries/silk/>
7. Sparkline Google Sheets Examples. URL: <https://howtoexamples.com/google-sheets/conditional-sparklines/>
8. Tableau Public URL: <https://public.tableau.com/en-us/>
9. Tipyi diagramm i grafikov v Google Tablitsah. URL: [https://support.google.com/docs/answer/190718?hl=ru&ref\\_topic=1361474](https://support.google.com/docs/answer/190718?hl=ru&ref_topic=1361474)
10. Centr danykh. URL: <https://datastudio.google.com/u/0/navigation/reporting>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-29>

УДК 004.7

Сіваковська Олена Миколаївна, к.т.н.,

<https://orcid.org/0000-0002-9300-0039>

Ящук Андрій Анатолійович, к.т.н.,

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

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

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

Ліщина Наталія Миколаївна, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-5200-536X>

Ліщина Валерій Олександрович, к.т.н., доцент.

<https://orcid.org/0000-0002-2371-3850>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна.

## МОНІТОРИНГ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ НА БАЗІ LINUX-МАШИН

**Сіваковська О. М., Ящук А. А., Андрушак І. Є., Ліщина Н. М., Ліщина В. О.** Моніторинг та дослідження мережі на базі Linux-машин. Здійснено аналіз проблематики моніторингу мереж. Обґрунтовано переваги та недоліки наявних UNIX-подібних операційних систем. Означено етапи створення мережі на базі Linux-машин. Розглянуто основні компоненти для побудови системи моніторингу та мережі на базі Linux-машин.

**Ключові слова:** системи, моніторинг, мережі, операційні системи, Linux, управління, маршрутизатори.

**Сиваковская Е. Н., Ящук А. А., Андрушак И. Е., Лищина Н. Н., Лищина В. А.** Мониторинг и исследования сети на базе Linux-машин. Осуществлен анализ проблематики мониторинга сетей. Обоснованно преимущества и недостатки имеющийся в UNIX-подобных операционных систем. Отмечено этапы создания сети на базе Linux-машин. Рассмотрены основные компоненты для построение системы мониторинга и сети на базе Linux-машин.

**Ключевые слова:** системы, мониторинг, сети, операционные системы, Linux, управление, маршрутизаторы.

**Olena Sivakovska, Andrii Yashchuk, Igor Andrushchak, Natalia Lishchyna, Valerii Lishchyna.** Network monitoring and research based on Linux machines. The analysis of network monitoring issues is carried out. The advantages and disadvantages of existing UNIX-like operating systems are substantiated. The stages of creating the network based on Linux machines are marked. The main components for creating the monitoring system and network based on Linux machines are considered.

**Keywords:** systems, monitoring, networks, operating systems, Linux, management, routers.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку цивілізації все важливішу роль відіграють електронні обчислювальні машини. При цьому, навіть найпотужніші суперкомп'ютери залишалися б неефективними центрами обробки інформації, якби не виникла ідея об'єднати комп'ютери у локальні мережі. Наступним етапом стало їх об'єднання у глобальну мережу Інтернет, результатом якої стало виникнення пошукової системи, зберігання інформації, а також практично миттєвого зв'язку.

На жаль будь-які апаратні засоби, в тому числі і мережеві, мають властивість виходити з ладу і це лише одна із багатьох можливих проблем, які можуть виникнути під час експлуатації мережі. В таких умовах для вирішення гіпотетичного пошкодження далеко не на останньому місці стоїть оперативність локалізації несправності. І лише після цього можна розпочинати діагностику та усунення проблеми. Автоматизовані системи моніторингу здатні допомогти забезпечити необхідний рівень оперативності.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питанням моніторингу та дослідження мереж займається дуже багато корпорацій. Зокрема, корпорація Майкрософт щорічно інвестує більше 1 млрд. доларів США в наукові дослідження і розробку рішень для забезпечення кібербезпеки та моніторингу мереж. Також проблематикою методів і алгоритмів моніторингу мереж займається к.т.н., доцент кафедри математичного забезпечення і застосування ЕОМ Санкт-Петербурзького державного електротехнічного університету «ЛЕТІ» ім В.І. Ульянова (Леніна) (СПбГЕТУ) Лавров А. О. Метою його дослідження є розробка методу і алгоритмів моніторингу ОС, заснованих на аналізі тимчасових закономірностей в роботі стека протоколів TCP / IP, і побудова системи моніторингу мережі на їх основі.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** У широкому сенсі моніторинг — спеціально організоване, систематичне спостереження за станом об'єктів, явищ, процесів з метою їх оцінки, контролю або прогнозу [1]. Моніторингом називають систематичний збір і обробку інформації, яка використовується для поліпшення процесу прийняття рішення. З іншого боку – для інформування громадськості як інструмент зворотного зв'язку в цілях здійснення проектів, оцінки програм або вироблення політики.

Терміном «моніторинг мережі» визначають роботу системи, яка виконує постійне спостереження за комп'ютерною мережею у пошуках повільних або несправних систем і яка при виявленні збоїв –

повідомляє про них мережевого адміністратора. Ці завдання є підмножиною завдань управління мережею [2].

Комп'ютерна мережа або мережа передачі даних являє собою цифрову телекомунікаційну мережу, яка дозволяє вузлам розподіляти ресурси. У таких мережах обчислювальні пристрої здійснюють обмін даними один з одним, використовуючи з'єднання (передавання даних) між вузлами. Ці дані посилаються на кабельні носії ( до них відносимо провід або оптичні кабелі) або бездротові носії (для прикладу, Wi-Fi).

Не зважаючи на вищесказане, комп'ютерна мережа є вразливою до поломок окремих апаратних чи програмних компонентів. Для забезпечення надійності мережі застосовується резервування ресурсів, впереважності – апаратних.

В даному випадку може з'явитися певна «технічна суперечка», що пов'язана із бажанням досягнення високого рівня відмовостійкості шляхом спрямування трафіку через резервний канал (це може відбутися у разі відмови, наприклад, каналу зв'язку), а також бажанням досягнення щонайбільшого рівня утилізації. Тобто, здійснюється використання усіх ресурсів системи для виконання свого призначення, і, таким чином, досягнення максимальної фінансової вигоди. Із даного висновку випливає, що забезпеченням надійності мережі прирівнюється до фінансової вигоди, що приносять сервіси, побудовані на мережевій основі. Але насправді відмова мережі призведе до недоступності сервісів, що надто вплине на грошовий аспект.

Із вище вказаного, можна зробити висновок, що заходи щодо забезпечення відмовостійкості мережі сприяють отриманню зиску із роботи сервісів. Звідси актуальним постає питання удосконалення засобів та методів виявлення проблем та подальшого їх усунення.

Мережевий моніторинг – це використання системи, яка постійно здійснює контроль над комп'ютерною мережею для визначення повільних або несправних компонентів і повідомляє адміністратора мережі (за допомогою електронної пошти, SMS або інших сигналів) у разі виходу з ладу або виникненні інших проблем. Моніторинг мережі є частиною управління мережею. До найбільш поширених мережевих моніторів можна віднести наступні [3]:

1) мережевий монітор PRTG (графічний пристрій трафіку Paessler до версії 7) – це агентивне програмне забезпечення моніторингу мережі від Paessler AG. Він має властивість відслідковувати та класифікувати системні вимоги (наприклад, використання пропускну здатності або час безвідмовної роботи), а також збирати статистику з різних вузлів (наприклад, перемикачів, маршрутизаторів, серверів та інших пристроїв та програм);

2) Zabbix – це програмне забезпечення для моніторингу з відкритим кодом для різних компонентів ІТ, включаючи мережі, сервери, віртуальні машини (VM) та хмарні сервіси. Це ПЗ забезпечує показники моніторингу використання мережі, завантаження ЦП і споживання дискового простору. Конфігурацію Zabbix моніторингу можна виконати, використовуючи шаблони на основі XML, які містять елементи для моніторингу;

3) Pandora FMS – це ПЗ для моніторингу комп'ютерних мереж. Pandora FMS дозволяє візуально відслідковувати стан та роботу декількох параметрів з різних операційних систем, серверів, програм та систем обладнання (наприклад, брандмауери, проксі, бази даних, веб-сервери або маршрутизатори).

Оглянувши програмні продукти, що наведені вище, можна означити їх широкий функціонал та відповідні до нього системні вимоги та вимоги до апаратної частини. Можливість будувати графіки та збереження даних на пристроях, забезпечення постійної пам'яті, перегляд завантаженості каналів зв'язку, що безумовно важливо для великих фірм. Аналіз опису даних програмних засобів для моніторингу мережі дав зробити висновок про їх орієнтування саме на великі підприємства, а не на малий бізнес. Для мереж такого рівня немає необхідності в цілодобовому моніторингу трафіку, перевірці доступності тисячі і більше вузлів мережі в кожен момент часу. Однак, мережі фірм малого бізнесу також потребують механізмів, що забезпечать їх надійність. Це стосується не лише системи моніторингу, а й мережі в цілому. Будь-який малий бізнес має на меті розвивати та примножувати свої потужності і, як наслідок, прибутки. А отже, такі мережі мають легко піддаватися масштабуванню, але при цьому залишатися працездатними. Тому виникає проблема створення та налаштування системи моніторингу мережі для малого бізнесу. В нашому дослідженні обґрунтуємо системи моніторингу мережі, побудованої на базі Linux-машин.

Для побудови системи моніторингу та мережі на базі Linux-машин необхідні наступні компоненти: операційна система маршрутизаторів, система віртуалізації операційної системи, система віртуалізації мережевих компонентів, мова програмування для опису сценарію, утиліта для регулярного запуску сценарію, система сповіщення.

Безумовно, що маршрутизатор (роутер) – один із найважливіших мережевих пристроїв. Саме тому особливу увагу необхідно приділити операційній системі, яка буде займатися маршрутизацією пакетів. На даний момент серед доступних варіантів можна виділити: RouterOS фірми MikroTik, Cisco IOS (Internetwork Operating System) фірми Cisco Systems, JUNOS фірми Juniper Networks. Ці операційні системи для маршрутизаторів добре зарекомендували себе на ринку. Однак в них існують суттєві недоліки при використанні у невеликих мережах. До таких можна віднести: висока вартість, можливість працювати лише на апаратних платформах тієї ж фірми-виробника та відсутність можливості кастомізації операційної системи під власні потреби. Враховуючи дані недоліки, вважаємо за потрібне розглянути альтернативи.

FreeBSD – UNIX-подібна операційна система, витоки якої тягнуться від AT & T UNIX, через Berkeley Software Distribution (BSD) гілку операційних систем 386BSD і 4.4BSD. Працює на Intel x86 (IA-32), сумісний з ПК системами (включно з Microsoft Xbox, а також DEC Alpha, Sun, Itanium (IA-64), AMD64, PowerPC і NEC PC-98 архітектурами. FreeBSD добре зарекомендувала себе як система для побудови інтернет-серверів. Вона надає достатньо надійні мережеві сервіси та ефективного управління пам'яттю [4].

GNU / Linux - загальна назва UNIX-подібних операційних систем на базі аналогічного ядра. Це один з найвизначніших прикладів розробки вільного та відкритого (з відкритим кодом) програмного забезпечення. На відміну від власних операційних систем (на кшталт Microsoft Windows і MacOS X), їх вихідні коди доступні всім для використання, зміни та розповсюдження абсолютно вільно (в тому числі безкоштовно) [5]. Лінукс орієнтовано на досить велику кількість апаратних платформ. Цю операційну систему можна досить успішно використовувати як на основних і суперкомп'ютерах, так і на багатьох інших пристроях (наприклад, пристроях автоматички, смартфонах, планшетах, маршрутизаторах комп'ютерних мереж (роутерах), ПК, системи керування телевізорами та ігровими консолями тощо). Велика кількість спеціалізованих дистрибутивів Linux дозволяє застосовувати широкі можливості вибору програмного забезпечення. З вище сказаного можна зробити висновок, що Linux і FreeBSD мають приблизно одні і ті ж переваги та недоліки, але зупинемо вибір на Linux, оскільки саме ця операційна система має більше прихильників. Це насправді не означає, що FreeBSD гірша система, але при виникненні будь-якої проблеми, буде значно простіше знайти її вирішення, оскільки користувачі із дуже великою вірогідністю уже мали справу із такого типу проблемою.

Перед початком створення системи моніторингу, необхідно організувати мережеву лабораторію. Для цієї мети на основну інсталювану операційну систему Ubuntu 18.10 буде встановлено систему віртуалізації для підготовки та попереднього налаштування головного шаблону операційної системи маршрутизаторів. Спочатку потрібно завантажити файл інсталяції програми (рис.1).

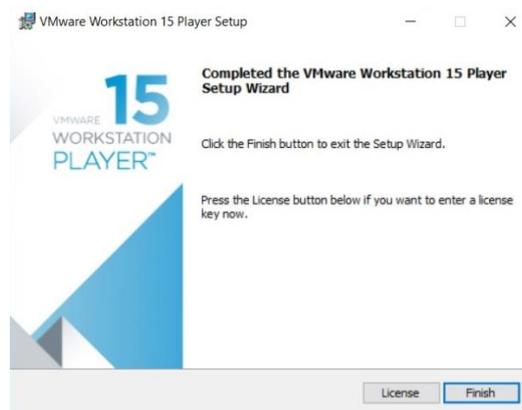


Рисунок 1 – Закінчення інсталяції VMware Player

На основній машині тепер встановлено систему віртуалізації, з допомогою якої можна в гостьовому режимі встановити операційну систему для маршрутизаторів. Для цього потрібно запустити процес інсталяції операційної системи. Наступним кроком стане заповнення попередніх даних користувача.

Важливий момент полягає в тому, що після встановлення, VMware Player додає віртуальні мережеві інтерфейси `vmnet0`, `vmnet1`, `vmnet8` (рис. 2). Кожен із інтерфейсів відповідає трьом основним типам інтерфейсів `bridge`, `host-only` та `NAT` відповідно.

```
schistos@moosmachine:~$ ip -br a
lo                UNKNOWN    127.0.0.1/8  ::1/128
enp2s0           DOWN
wlp3s0           UP         192.168.0.107/24 fe80::d105:d29:e8ac:74cd/64
vmnet1           UNKNOWN    172.16.49.1/24 fe80::250:56ff:fec0:1/64
vmnet8           UNKNOWN    172.16.22.1/24 fe80::250:56ff:fec0:8/64
```

Рисунок 2 – Віртуальні інтерфейси

Наступний крок – це попередні налаштування Ubuntu server 18.04. Вказується звичайна інсталяція Ubuntu, хмарні технології для даного проекту не потрібні.

Налаштування мережевого інтерфейсу – ще один етап у створення системи моніторингу.

Наступний етап – вибір Проху-сервера, але оскільки в цьому випадку підключення «пряме», IP-адреса Проху-сервера не потрібна. Поле залишаємо пустим. Для проекту особлива розмітка віртуального жорсткого диску не потрібна, тому буде використовуватися весь віртуальний жорсткий диск з автоматичною розміткою основних розділів. Далі здійснюємо прийняття схеми розмітки віртуального жорсткого диску. Після усіх проведених налаштувань, необхідно надати дозвіл на інсталяцію операційної системи. Коли процес встановлення розпочато, – можна паралельно з ним Ubuntu-серверу дати можливість створити користувача та вказати пароль для аутентифікації користувача. Після закінчення процесу інсталяції операційної системи та перезавантаження віртуальної машини, можна встановлювати додаткове програмне забезпечення.

Спершу необхідно оновити дані репозиторіїв та доступні пакети, встановити утиліти для роботи DHCP-сервера, DNS-сервера, VPN. Після встановлення усіх необхідних утиліт для роботи мережі – віддається команда на вимкнення Ubuntu server.

Наступний етап – інсталяція системи віртуалізації мережі EVE-NG. Після налаштування мережевого інтерфейсу EVE-NG здійснюємо імпорт збереженого раніше віртуального жорсткого диску Ubuntu server на EVE-NG-сервер. Окрім імпорту віртуального жорсткого диску необхідно створити новий зразок для маршрутизаторів. Для цієї мети потрібно створити файл конфігурації в директорії.

Після виконання приведених вище дій, для використання будуть доступні маршрутизатори з операційною системою Ubuntu server 18.04.

Наступним етапом стане побудова схеми мережі. Мережа буде складатися з трьох частин, а саме двох локальних мереж та мережі провайдера (рис. 3).

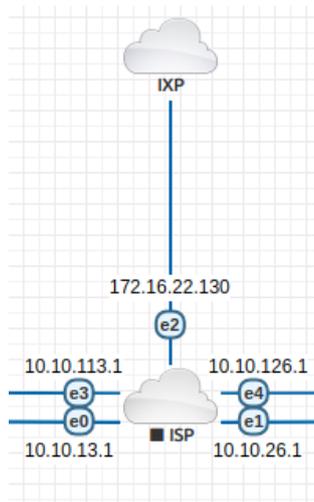


Рисунок 3 – Схема мережі провайдера

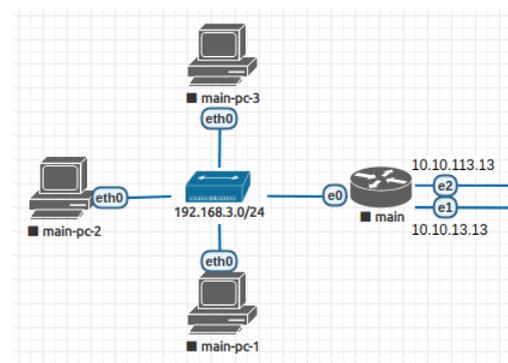


Рисунок 4 – Схема локальної мережі Main

Дана мережа складається із маршрутизатора ISP із підтримкою п'яти інтерфейсів та точки обміну інтернет-трафіком IXP (точки з'єднання мереж різних провайдерів). Технічно, IXP в даному випадку – це головний інтерфейс сервера EVE-NG, який, в свою чергу, підключений до мережевого інтерфейсу машини-хоста. Таким чином всі мережеві пристрої в даній мережевій лабораторії мають доступ до мережі Інтернет.

Перша із двох локальних мереж Main містить в собі три ПК, один комутатор та один маршрутизатор (рис. 4).

Аналогічним чином побудована друга локальна обчислювальна мережа Phialial. Як підсумок, глобальна мережа матиме такий вигляд (рис. 5).

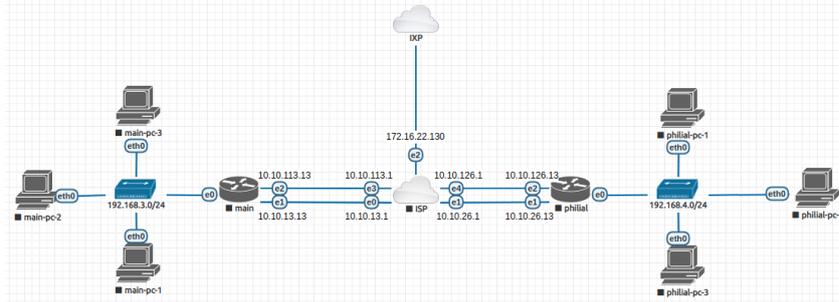


Рисунок 5 – Загальна схема мережі

Наступний етап проектування мережі – налаштування маршрутизаторів, яке буде відбуватися за наступним порядком: налаштування інтерфейсів; налаштування DHCP-сервера в сторону локальної мережі; налаштування DNS-серверу; налаштування NAT; налаштування VPN.

Після усіх налаштувань, які детально описувати не будемо, матимемо уже спроектовану функціонуючу мережу, у якій передбачено дві локальні мережі, які через мережу провайдера з'єднані з допомогою VPN-тунелювання. Маршрутизатори Main та Phialial підключені до мережі провайдера двома каналами, що збільшує надійність та відмовостійкість обох мереж. На обох маршрутизаторах щохвилини запускається сценарій, що перевіряє доступність критично важливих вузлів мережі та у випадку недоступності майже миттєво надсилає повідомлення у спеціально створений для цього чат. Таким чином, отримана мережа характеризується достатньо високим рівнем надійності, при відносно малих затратах ресурсів, що відводяться на систему моніторингу.

Дослідження результативності спроектованої системи доцільно проводити при наявності аналогічної комп'ютерної мережі із базовими налаштуваннями. Таким чином можна буде отримати результати, на основі яких буде здійснено висновок щодо ефективності побудованої системи у порівнянні із типовими аналогами.

Необхідними умовами для впровадження системи моніторингу мережі, побудованої на базі Linux-машин будуть: пристрої, які необхідно об'єднати в локальну мережу, наприклад, персональні робочі станції; комутатор для фізичного об'єднання кожної окремої локальної мережі; маршрутизатор для встановлення зв'язку з мережею Інтернет кожного окремого філіалу підприємства; програмні продукти для забезпечення необхідного базового функціоналу маршрутизаторів.

Кількість мережевих комутаторів потрібно обирати із кількості пристроїв, що необхідно об'єднати. Для функціонування представленої схеми мережі потрібно використовувати два комутатора – один для мережі Main та ще один для мережі Phialial. Як приклад буде розглянути наступний комутатор TP-LINK TL-SF 1005D із параметрами, що приведені в таблиці 1. Даний комутатор має можливість підключення п'яти локальних пристроїв, включно із маршрутизатором. Ethernet-порти мають можливість працювати із пропускнуою здатністю в 100 мегабіт на секунду в режимі повного дуплексу. Із мінімальною ціною складає цілком доступний комутатор для даної мети.

Таблиця 1 – Характеристики комутатора TP-LINK TL-SF 1005D

Тип	Комутатор локальної мережі (Switch)
Швидкість передачі даних	100 Мб/с
Стандарти	Auto MDI/MDIX
Роз'єми	RJ45 (авто-MDI/MDIX)
Протоколи	IEEE802.3, 802.3u, 802.3x, CSMA/CD, TCP/IP
Довжина	22 мм
Ширина	103,5 мм
Висота	70 мм
Кількість портів	5
Ціна	209 грн

Для апаратної частини маршрутизатора можна використати практично будь-яку комплектацію, але щоб при цьому апаратна частина відповідала мінімальним вимогам, приведеним в таблиці 2.

Таблиця 2 – Мінімальні апаратні вимоги Ubuntu server

Тип	Процесор	Оперативна пам'ять	Розмір жорсткого диску	
			Базове встановлення	Повне встановлення
Server	300 МГц	128 Мбайт	500 Мбайт	1 ГБайт

Також важливим фактором є наявність трьох мережевих інтерфейсів. За певних умов операційну систему можна встановити як прошивку для уже існуючого маршрутизатора з метою отримання доступу до більш широкого функціоналу.

Усі програмні продукти, що приведені в проектуванні мережі поширюються безплатно, тому їх отримання не пов'язане із фінансовими проблемами.

Із приведених даних можна зробити висновок, що впровадження даного проекту не має чітких рамок реалізації, що дає можливість вільного підбору апаратних компонентів, оскільки програмна частина не прив'язана до конкретної архітектури чи фізичних приладів. Завдяки чому, спроектована мережа легко масштабується та здатна до оптимізації під різноманітні потреби. А система моніторингу, що практично не навантажує операційну систему забезпечує оперативне сповіщення про мережеві неполадки, таким чином збільшуючи загальний рівень надійності та відмовостійкості мережі.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Комп'ютерна мережа, що побудована на базі операційної системи Linux легко піддається масштабуванню та оптимізації під існуючі апаратні можливості підприємства із мінімальним добром комплектуючих пристроїв.

Такий різновид систем є хорошим рішенням для встановлення у місцях, що не мають чіткої структури та схильні до частих змін та перебудов, оскільки система легко адаптується під актуальні потреби та легко переноситься на практично будь-яку апаратну частину. Такі показники дозволяють виконувати модернізацію та адаптацію під конкретну задачу. Система моніторингу, що не навантажує ні апаратну частину, ні операційну систему, не заважає проводити дані дії, забезпечуючи при цьому оперативне сповіщення про неполадки, що суттєво полегшує проведення діагностики та подальшого усунення проблеми, таким чином збільшуючи загальний рівень надійності та відмовостійкості комп'ютерної мережі.

#### Список бібліографічного опису

1. Б. Стогній, М. Сопель (2013) Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу. Техн. Електродинаміка. №1, URL : [http://previous.techined.org.ua/2013\\_1/st9.pdf](http://previous.techined.org.ua/2013_1/st9.pdf) (дата звернення: 10.03.2021). АСМ.
2. М. Гузій, О. Станіславова, М. Кадет (2012) Аналіз технологій моніторингу кмп'ютерних мереж. Наукові технології. №4 (16), URL : <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/viewFile/5091/5353#:~:text=%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BC%20%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96%20%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%82%D1%8C%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%83.%D1%94%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D1%8E%20%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D1%8C%20%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D1%8E> (дата звернення: 10.03.2021). АСМ.
3. Networking monitoring tools (2021) National Acceleratory Laboratory SLAC, URL: <https://www.slac.stanford.edu/xorg/nmtf/nmtf-tools.html> (дата звернення: 10.03.2021). АСМ.
4. Ю. Тарнавський, М. Кузьменко (2018) Організація комп'ютерних мереж: підручник для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 122 «Комп'ютерні науки», Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 259 с. АСМ.
5. Linux (2020) Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії, URL : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Linux#:~:text=%D0%9B%D1%96%CC%81%D0%BD%D1%83%D0%BA%D1%81%20%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB.,%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BD%D0%B E%D0%B3%D0%BE%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD %D0%BD%D1%8F%20\(software\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Linux#:~:text=%D0%9B%D1%96%CC%81%D0%BD%D1%83%D0%BA%D1%81%20%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB.,%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BD%D0%B E%D0%B3%D0%BE%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD %D0%BD%D1%8F%20(software)) (дата звернення: 11.03.2021). АСМ.

#### References

1. B. Stogniy, M. Sopol (2013) Power Monitoring in Electricity. Concepts of Monitoring. Tech. Electrodynamics. N 1, available at: [http://previous.techined.org.ua/2013\\_1/st9.pdf](http://previous.techined.org.ua/2013_1/st9.pdf) (accessed 10.03.2021). АСМ.
2. M. Guziy, O. Stanislavova, M. Cadet (2012) Analysis of Monitoring Technologies of Computer Networks. Science-intensive Technologies N 4 (16), available at: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/viewFile/5091/5353#:~:text=%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BC%20%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96%20%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%82%D1%8C%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%83.%D1%94%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D1%8E%20%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D1%8C%20%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D1%8E>

[%B3%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96%20%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%82%D1%8C%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%83.%D1%94%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D1%8E%20%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D1%8C%20%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D1%8E](#) (accessed 10.03.2021). ACM.

3. Networking monitoring tools (2021) National Acceleratory Laboratory SLAC, available at: <https://www.slac.stanford.edu/xorg/nmtf/nmtf-tools.html> (accessed 10.03.2021). ACM.

4. Yu. Tarnavsky, M. Kuzmenko (2018) Organization of Computer Networks: Textbook for Students Specialty 121 Software Engineering and 122 Computer Sciences, Kyiv: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 259 pp. ACM.

5. Linux (2020) Materials from Wikipedia – the free encyclopedia, available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Linux#:~:text=%D0%9B%D1%96%CC%81%D0%BD%D1%83%D0%BA%D1%81%20\(%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB,\)%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20\(software\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Linux#:~:text=%D0%9B%D1%96%CC%81%D0%BD%D1%83%D0%BA%D1%81%20(%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB,)%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20(software)) (accessed 11.03.2021). ACM.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-30>

УДК 658.8:004.73

**Старовойтенко Олексій Володимирович**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

## ДОТРИМАННЯ ВИМОГ ПЛАТФОРМИ ІОТ ЗА ДОПОМОГОЮ ХМАРНИХ РІШЕНЬ

**Старовойтенко О. В. Дотримання вимог платформи IoT за допомогою хмарних рішень.** Інтернет речей (IoT) надає широкий спектр програм, що забезпечують підвищену обізнаність та контроль за фізичним середовищем. Поточні системи, як правило, локально сприймають і опрацьовують фізичні явища, а потім переносяться на хмарну інфраструктуру pub / sub (публікації / підписки) для розподілу даних датчиків та контролю серед кінцевих користувачів та зовнішніх служб. Незважаючи на популярність рішень pub / sub досі незрозуміло, які функції проміжне програмне забезпечення повинно мати, щоб успішно відповідати конкретним вимогам домену IoT. Питання як велика кількість підключених пристроїв, які лише епізодично надсилають невеликі повідомлення датчиків, впливають на пропускну здатність. У цій роботі ми розглядаємо дані обмеження, аналізуючи основні вимоги платформ IoT та оцінюючи, які з цих функцій підтримуються відомими opensource (відкритими рішеннями) pub / sub. Далі ми проведемо оцінку продуктивності в загальнодоступній хмарі, використовуючи чотири популярні реалізації pub / sub: RabbitMQ (AMQP), Mosquitto (MQTT), Ejabberd (XMPP) та ZeroMQ. Ми дослідимо максимальну стійку пропускну здатність та затримку в справжніх умовах навантаження, використовуючи дані від реальних датчиків. Хоча основні функції подібні, аналізовані системи pub / sub відрізняються своїми можливостями фільтрації, семантичними гарантіями та кодуванням. Наша оцінка показує, що ці відмінності можуть мати помітний вплив на пропускну здатність та затримку хмарних платформ IoT.

**Ключові слова:** AMQP, pub/sub, ZeroMQ, MQTT, XMPP

**Старовойтенко А. В. Соблюдение требований платформы IoT с помощью облачных решений.** Интернет вещей (IoT) предоставляет широкий спектр программ, обеспечивающих повышенную осведомленность и контроль за физической средой. Текущие системы, как правило, локально воспринимают и обрабатывают физические явления, а затем переносятся на облачную инфраструктуру pub / sub (публикации / подписки) для распределения данных датчиков и контроля среди конечных пользователей и внешних служб. Несмотря на популярность решений pub / sub до сих пор непонятно, какие функции промежуточное программное обеспечение должно иметь, чтобы успешно отвечать конкретным требованиям домена IoT. Вопросы как большое количество подключенных устройств, лишь эпизодически присылают небольшие сообщения датчиков, влияют на пропускную способность. В этой работе мы рассматриваем данные ограничения, анализируя основные требования платформ IoT и оценивая, какие из этих функций поддерживаются известными opensource (открытыми решениями) pub / sub. Далее мы проведем оценку производительности в общедоступной облаке, используя четыре популярных реализации pub / sub: RabbitMQ (AMQP), Mosquitto (MQTT), Ejabberd (XMPP) и ZeroMQ. Мы исследуем максимальную устойчивую пропускную способность и задержку в настоящих условиях нагрузки, используя данные от реальных датчиков. Хотя основные функции подобные, рассматриваемые системы pub / sub отличаются своими возможностями фильтрации, семантическими гарантиями и кодированием. Наша оценка показывает, что эти различия могут иметь заметное влияние на пропускную способность и задержку облачных платформ IoT.

**Ключевые слова:** AMQP, pub / sub, ZeroMQ, MQTT, XMPP

**Starovoitenko O. V. Compliance with the IoT Platform Requirements through Cloud Solutions.** The Internet of Things (IoT) provides a wide range of programs promoting increased awareness and control of the physical environment. Current systems typically perceive and process physical phenomena locally and then transfer to the pub/sub cloud infrastructure to distribute sensor data and control by end users and external services. Despite the popularity of pub/sub solutions, it is still unclear what features middleware must have to successfully meet the specific requirements of the IoT domain. The question is how a large number of connected devices that only occasionally send small sensor messages affect bandwidth. In this paper, we consider these limitations by analysing the basic requirements of IoT platforms and evaluating which of these functions are supported by the well-known open source pub/sub solutions. Next, we will evaluate performance in the public cloud using four popular pub/sub implementations: RabbitMQ (AMQP), Mosquitto (MQTT), Ejabberd (XMPP) and ZeroMQ. We will investigate the maximum stable bandwidth and delay in real load conditions, using data from real sensors. Although the main functions are similar, the analysed pub/sub systems differ in their filtering capabilities, semantic guarantees and encoding. Our assessment shows that these differences can have a significant impact on the bandwidth and latency of IoT cloud platforms.

**Key words :** AMQP, pub/sub, ZeroMQ, MQTT, XMPP.

**Постановка проблеми.** Майбутня мережа фізичних об'єктів, Інтернет речей (IoT) забезпечує зондування навколишнього середовища в режимі реального часу і надає можливість здійснювати автономну взаємодію як реакцію на зміни у фізичному світі. Парадигма призвела до появи різних «розумних» додатків, наприклад розумне місто, розумне підприємство та розумний дім, які, як очікується, збільшать кількість підключених пристроїв до мільярдів [9].

Завдяки своїй величезній обробній потужності, швидкій мережі та надійному сховищу, хмарні обчислення можуть забезпечити інфраструктуру для забезпечення, управління великою кількістю сенсорних пристроїв. Модель гнучкого розподілу ресурсів на вимогу та витрат на оплату за час

роботи може забезпечити еластичне узгодження зростаючих вимог до комунікацій, обчислень та зберігання, пов'язаних із програмами IoT[13].

На відміну від класичних бездротових сенсорних мереж (WSN), які пристосовані і використовуються одним додатком, додаткова цінність IoT полягає в загальному використанні апаратного забезпечення датчиків неоднорідними програмами. Пристрої з обмеженими даними зчитують датчики лише один раз, і вони будуть розподілені між кількома зацікавленими програмами та службами. Масштабований рівень обміну повідомленнями на основі хмари може бути використаний для вирішення складного аспекту узгодження потоків даних сенсора та зацікавлених програм або служб та відповідного розподілу даних.

Структура обміну повідомленнями «pub / sub» дає змогу вибірково розповсюджувати повідомлення і стала добре усталеною моделлю розповсюдження даних, наприклад для даних фондового ринку або погоди. Незважаючи на популярність pub / sub рішень у відповідних застосунках, все ще відсутні дані про особливості, як pub / sub система повинна відповідати конкретним вимогам IoT, ступінь цих функцій, що надаються існуючими рішеннями. У цій роботі ми робимо три основні внески у вирішення цих проблем:

1. Ми формуємо набір вимог до систем pub / sub для хмарних IoT та аналізуємо, які доступні відкриті рішення відповідають цим вимогам;
2. Ми визначаємо три класи трафіку IoT на основі реалістичних випадків використання;
3. Ми проводимо хмарну оцінку продуктивності в загальних реалістичних умовах, використовуючи справжні файли трасування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на популярність рішень pub / sub досі незрозуміло, які функції проміжне програмне забезпечення повинно мати, щоб успішно відповідати конкретним вимогам домену IoT. Питання як велика кількість підключених пристроїв, які лише епізодично надсилають невеликі повідомлення датчиків, впливають на пропускну здатність в нашому дослідженні ми орієнтувались на наукові праці наступних науковців Cha, M., Rodriguez, P., Moon, S., Crowcroft, J., Curry, E., Eugster, P. T., Felber, P. A., Guerraoui, R., Kermarrec, A. M., Hunkeler, U., Truong, H. L., Stanford-Clark, A., Locke, D., Menzel, T., Karowski, N., Happ, D., Handziski, V., Wolisz, A., Millard, P., Saint-Andre, P., Meijer, R., Saint-Andre, P.

**Метою дослідження** є дослідити стійку пропускну здатність та затримку в справжніх умовах навантаження, використовуючи дані від реальних датчиків та розкрити відмінності можуть мати помітний вплив на пропускну здатність та затримку хмарних платформ IoT.

## Виклад основного матеріалу дослідження.

### 1. Pub / sub в контексті IoT

Сьогодні декілька відомих академічних та комерційних платформ IoT мають спільну хмарну архітектуру, подібну до тієї, що зображена на рис. 1 [13]. Пристрої підключені до шлюзів, які передають дані датчиків на хмарний рівень за допомогою посередника повідомлень. Додаткові послуги, напр. зберігання, аналіз або агрегування даних, а програми, що стоять перед користувачами, підключаються до посередника, щоб отримати доступ до даних. Ми бачимо тенденцію використовувати посередника повідомлень, використовуючи шаблон pub / sub для розповсюдження даних серед кількох зацікавлених програм [22]. Система pub / sub - це проміжне програмне забезпечення, орієнтоване на повідомлення (MoM) [10], що забезпечує розподілений, асинхронний обмін даними між джерелом повідомлень (видавець) та споживачами повідомлень (передплатник). Проміжне програмне забезпечення pub / sub пропонує три основні типи роз'єднання [12], що є придатним для широкомасштабних розгортань IoT:

1. Джерела повідомлень та споживачі роз'єднуються в часі, тобто їх не потрібно підключати одночасно;
2. Повідомлення адресовані не явно конкретному споживачеві, а символічній адресі (каналу, темі);
3. Повідомлення є асинхронними, не блокуючими.

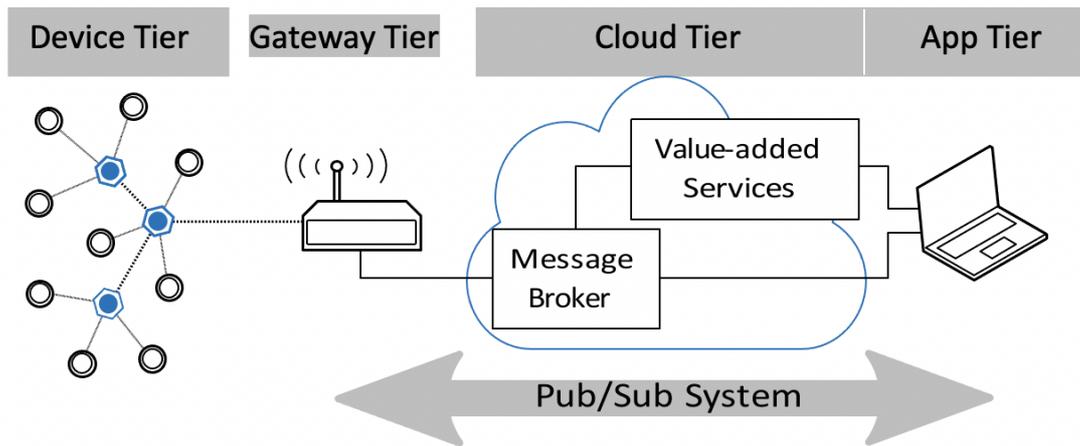


Рис. 1 Агрегування повідомлень в системі pub/sub

Основним елементом систем pub / sub є відповідність між видавцями та передплатниками, яка може базуватися на різних типах фільтрації, переважно за темою чи вмістом. Фільтрування зазвичай здійснюється декількома спеціалізованими посередниками повідомлень. У схемі, заснованій на темах, символічні адреси каналів - це теми, зазвичай у формі рядків, тобто виробники публікують, а споживачі підписуються на теми. Повідомлення доставляються лише відповідним абонентам. Теми можуть бути організовані ієрархічно, тобто тема може бути підтемою іншої теми. Тоді підписки на батьківську тему зазвичай також відповідають усім підтемам. Тематична фільтрація - це статична схема, що пропонує лише обмежену виразність. На противагу цьому, у схемі, що базується на вмісті, абоненти не мають статичного збігу на основі тем, а на основі вмісту окремих повідомлень, наприклад якщо значення досягає певного порогу, визначеного передплатником.

Подібним підходом до великомасштабних даних датчиків є обробка потоків. На відміну від повідомлень на основі pub / sub, програми обробки потоків виступають як складні безперервні запити щодо вхідних потоків даних, що генерують потоки результатів. Особливість потоків обробки потоків полягає в перетворенні вхідного потоку, тоді як pub / sub фокусується на розподілі даних. Незважаючи на те, що ми розглядаємо потокову обробку як перспективний підхід до обробки та аналізу великих потоків даних, ми стверджуємо, що обробка потоку сама по собі не дасть змоги загально використовувати апаратне забезпечення датчиків у кількох додатках, що є однією з ключових властивостей бачення IoT.

Незважаючи на те, що pub / sub є добре встановленим та вивченим шаблоном обміну повідомленнями, використання pub / sub в хмарних налаштуваннях IoT все ще не досліджено в деталях. Існує безліч існуючих рішень без надійних даних про те, яке рішення найкраще відповідає конкретним вимогам IoT. У наступному розділі ми починаємо вирішувати ці проблеми, визначаючи довідкові сценарії для хмарних розгортань IoT.

## 2.1 Довідкові сценарії

Перш ніж виводити набір вимог до загальних програм IoT, спочатку ми вводимо підмножину можливих сценаріїв, визначивши в якості прикладів три еталонні сценарії в контексті розумних міст:

### 2.1.1 Соціальна служба погоди

Першим варіантом використання, який ми передбачаємо, є соціальна метеорологічна служба, де власники сенсорних пристроїв підключаються і діляться своїми наявними датчиками з громадськістю. Прикладом є система опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) в офісній будівлі, яка періодично вимірює температуру та вологість. Система може або публічно надавати власні дані, або використовувати показання з інших подібних систем, або контролювати прогноз погоди, щоб покращити час нагрівання чи охолодження, заощаджуючи енергію та покращуючи комфорт.

### 2.1.2 Розумний спільний доступ до автомобіля

Другий варіант використання - це система спільного використання автомобілів. Поява підключених автомобілів призвело до появи спільного використання. Спільне використання автомобілів зменшує кількість необхідних місць для паркування та, в свою чергу, зменшує кількість трафіку. У майбутньому фізичні особи можуть почати здавати свої машини в оренду подібним чином: приватні машини можуть періодично запропоновані в оренду, надаючи додаткову інформацію, таку як положення, рівень палива чи стан.

### 2.1.3 Моніторинг дорожнього руху

Щоб зменшити обсяг руху, іншим варіантом є відстеження дорожнього руху. Камери фотографують умови дорожнього руху та відправляють їх у хмару. Хмарний сервіс аналізує їх та оцінює стан дорожнього руху. Зацікавлені водії або навігаційні підрозділи можуть використовувати цю інформацію, щоб спланувати свій маршрут.

## 2.2 Вимоги до pub / sub в хмарному IoT

У цьому розділі викладено конкретні вимоги щодо Інтернету речей, які впливають на вибір відповідного проміжного програмного забезпечення pub / sub. Ми починаємо з функціональних вимог, які походять від загальних програм IoT і проілюстровані наведеними вище довідковими сценаріями:

1. Шаблон обміну повідомленнями: Усі випадки використання вимагають моніторингу показань датчиків.
2. Фільтрування: Зацікавлені сторони зазвичай хочуть отримати лише підмножину всієї інформації, наприклад датчики погоди в тому самому районі. Можливості фільтрації проміжного програмного забезпечення визначають виразність підписок, які може видавати клієнтська програма.
3. Семантика QoS: хоча втрата повідомлень даних датчика може бути допустимою в деяких налаштуваннях, інші системи можуть вимагати гарантованої доставки повідомлень, наприклад розумний автомобіль може видавати тривожні повідомлення у випадку крадіжки.
4. Топологія: У контексті хмарно-орієнтованого IoT кожен проміжний пакет pub / sub повинен підтримувати централізовану топологію, де брокер пересилає повідомлення на основі запитуваних фільтрів.
5. Формат повідомлення: Через неоднорідність апаратного забезпечення датчиків, як проілюстровано у вибраних випадках використання, складно передбачити, які саме будуть подані дані датчиків формату.

Ці вимоги будуть використані в наступному розділі для виведення таксономії систем pub / sub. На додаток до вищезазначених вимог, існують дві важливі нефункціональні вимоги до хмарної системи pub / sub:

1. Через велику кількість очікуваних пристроїв система повинна бути масштабованою;
2. Оскільки дані можуть бути терміновими, обмін повідомленнями повинен мати низьку затримку. Ми досліджуємо ці вимоги окремо під час оцінки результатів роботи в Розділі 3.

### 2.3 Таксономія pub / sub

Спираючись на загальні вимоги до платформ IoT, у цьому розділі ми представляємо підмножину протоколів pub / sub та надамо класифікацію відповідно до визначених вимог. Ми обмежуємось протоколами з відкритою доступною специфікацією протоколу з реалізаціями з відкритим кодом, які широко використовуються. Ми обираємо протоколи AMQP, MQTT, XMPP та ZeroMQ для подальшої оцінки. Далі ми коротко описуємо ці протоколи:

AMQP: Розширений протокол черги повідомлень (AMQP) [2] розроблений як відкрита заміна власних протоколів обміну повідомленнями у галузі фінансових послуг. AMQP використовується в популярних реалізаціях, таких як RabbitMQ[22], ApacheActiveMQ [4] та ApacheApollo [5]. Версія AMQP 0-9-1 - це відкрита та безкоштовна специфікація як протоколу дротового рівня, так і моделі брокера. AMQP 1.0 нещодавно став Організацією з удосконалення стандартних стандартних інформаційних стандартів (OASIS), але включає в основному новий провідний протокол і лише

абстрактні вимоги до посередника. Більшість функціональних можливостей визначаються брокером та його поведінкою, яка не є частиною AMQP 1.0. Тому ми зосереджуємося на версії 0-91, яка визначає найбільш широко застосовувану модель брокера.

**MQTT:** Телеметричний транспорт черги повідомлень (MQTT) [18] - це чистий протокол pub / sub для обмежених пристроїв та мереж з низькою пропускну здатністю, високою затримкою та ненадійністю, розроблених IBM та стандартизованих OASIS. Він має різні реалізації з відкритим кодом, такі як ApacheActiveMQ [4] та клієнтська бібліотека Eclipseaho[11] Існує спроба перенести MQTT на датчики вузлів у зменшеному варіанті MQTT -S [16]. MQTT та MQTT-S відкрито публікуються з безкоштовними ліцензіями.

**XMPP:** Розширюваний протокол обміну повідомленнями та присутності (XMPP) [18] бере свій початок у протоколі обміну миттєвими повідомленнями Jabber, мотивованому різноманітністю власних протоколів чату. XMPP базується на потоковій передачі XML. Основний протокол стандартизований у декількох RFC IETF та розширений протоколами розширення XMPP (XEP), включаючи обмін повідомленнями pub / sub[16]. XMPP - це протокол, який стоїть за сервером обміну миттєвими повідомленнями Ejabberd[16] та сервером Openfire[17].

**ZeroMQ:** ZeroMQ[15] - це бібліотека обміну повідомленнями, що пропонує API сокета з більш досконалими шаблонами обміну повідомленнями, ніж сокетиБерклі. Підтримувані шаблони включають запит / відповідь та pub / sub. Протоколом дротового рівня є ZeroMQMessageTransportProtocol (ZMTP), щодоступний за загальною публічною ліцензією GNU. ZeroMQ - це бібліотека обміну повідомленнями, що дозволяє додавати нові функції до основного протоколу. Для порівняння бібліотеки з іншими системами ми розглядаємо лише функції, включені в офіційну документацію.

В решті цього розділу ми наводимо класифікацію pub / sub протоколів щодо вимог платформи IoT на основі хмарних технологій, яка наведена в табл 1.

		AMQP	MQTT	XMPP	ZeroMQ
Messaging Pattern	Pub/Sub	X	X	X <sup>1</sup>	X
	Point-to-point	X		X	X
Filtering	Topic-based	X	X	X <sup>1</sup>	X
	Content-based				
QoS Semantics	At-most-once	X	X	X	X
	At-least-once	X	X		
	Exactly-once	X	X		
	Last value caching	X <sup>2</sup>	X	X	X
Topology	Decentralized				X
	Centralized	X	X	X	X
	Hybrid			X <sup>1</sup>	
Message Format	Payload agnostic	X	X	X	X
	Binary Encoding	X	X		X

Таблиця 1

Класифікація відкритих pub / sub протоколів проміжного програмного забезпечення

Ми використовуємо шаблони pub / sub та запит / відповідь для моніторингу сенсорного пристрою. Хоча AMQP і ZeroMQ підтримують обидва шаблони, MQTT - це чистий протокол pub / sub. Запит / відповідь все ще можливий, але він повинен використовувати спеціальні теми, щодо яких

пристроїв чи служб підписуються на запити. XMPP спочатку є протоколом чату для прямого обміну повідомленнями, який був розширений XEP-0060 для підтримки публікацій / додаткових повідомлень [16].

Розглянуті рішення надають лише тематичні pub / sub з ієрархічними темами. AMQP та MQTT підтримують узагальнюючі символи на кожному рівні теми, тоді як ZeroMQ підтримує лише відповідність префіксів.

Ми зосереджуємося на хмарних платформах IoT із централізованою топологією. Це означає, що спеціалізовані розподілені брокери в центральній точці здійснюють узгодження та доставку повідомлень. Усі розглянуті протоколи підтримують таку топологію. В умовах очікуваної кількості пристроїв буде вигідно зменшити навантаження на центральних брокерів. XMPP використовує розподілену мережу серверів XMPP як посередників. Також можливо встановити позасмугові однорангові з'єднання за допомогою XEP-0065, що відповідає гібридній топології. ZeroMQ можна використовувати без центрального брокера як P2P. Крім того, його сокетирub / sub можуть бути використані для формування ієрархії брокерів, які вибірково пересилають публікації та підписки, дозволяючи горизонтальне масштабування.

Усі протоколи, як правило, є агностичними щодо формату повідомлення. AMQP, MQTT та ZeroMQ використовують двійкове кодування, дозволяючи будь-який формат, тоді як XMPP використовує XML, який також може транспортувати інші формати, але зазвичай ціною меншої ефективності пропускну здатності та збільшення накладних витрат на аналіз. AMQP додатково пропонує систему типів, яка відображає передані типи даних у загальні типи даних багатьох мов та платформ.

### 3 Хмарна оцінка продуктивності

Хоча аналізовані системи pub / sub пропонують однакові основні функції, вони відрізняються семантикою QoS, кодуванням та виразністю фільтрів, що може мати незначний вплив на продуктивність. Щоб проаналізувати нефункціональні вимоги до масштабованості та низької затримки, ми оцінюємо системи в реальних умовах. Одним із основних аспектів цих реалістичних умов є розгортання в хмарі. Іншим аспектом є реалістичне відтворення реальних джерел трафіку за допомогою великої кількості пристроїв.

#### 3.1 Показники ефективності

Ми вибираємо показники продуктивності відповідно до нефункціональних вимог до масштабованості та низької затримки. Оскільки хмарні платформи IoT, можливо, в майбутньому повинні будуть підтримувати мільярди пристроїв [13], важливо, щоб система могла масштабуватися горизонтально. Зазвичай це робиться за допомогою кластера брокерів. Однією з можливостей буде шардинг на основі тем. Однак для роботи всієї системи найважливіше, щоб один брокер міг обробляти якомога більше датчиків і, отже, повідомлень датчиків, тобто він пропонує найбільшу пропускну здатність повідомлень на даній фізичній або віртуальній машині. Тому ми вивчаємо пропускну здатність одного брокера, яку ми визначаємо як кількість повідомлень в секунду, яку може обробити брокер.

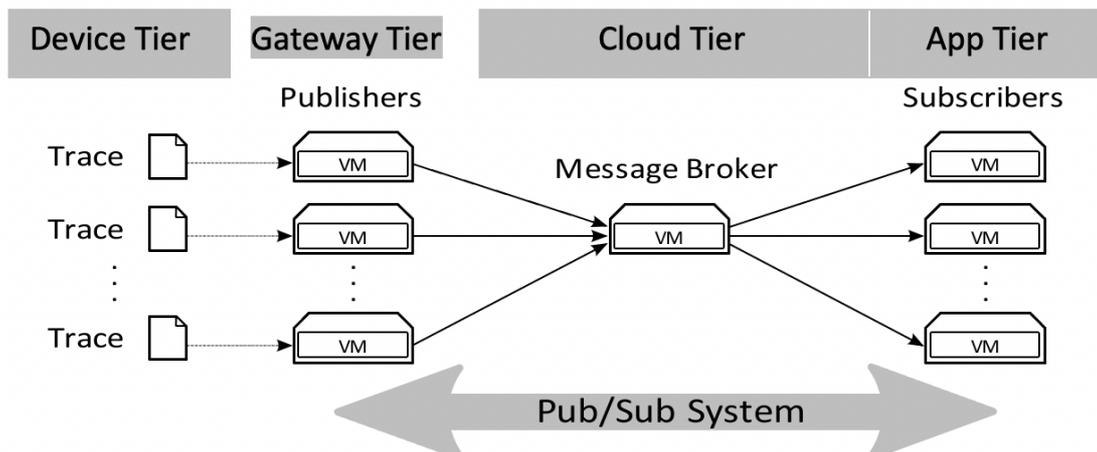


Рис. 2 Налаштування експерименту: реальні дані датчиків збираються та відтворюються в екземплярах хмари з файлів трасування; брокер розподіляє ці дані між процесами підписки, які також моделюються за допомогою хмарних віртуальних машин.

Protocol	Broker	Version	Release date	Language
AMQP	RabbitMQ	3.4.4	2015-02-11	Erlang
MQTT	mosquitto	1.4	2015-02-18	C
XMQP	ejabberd	15.02	2015-02-17	Erlang
ZeroMQ	X PUB/XSUB	-	-	C

Табл. 2 Огляд вивчених систем pub / sub

Іншою важливою вимогою є низька затримка між вимірюванням значень датчика та доставкою до зацікавлених застосунків. У цьому дослідженні ми не зосереджуємося на загальній затримці, а лише на тій частині затримки, яку запроваджує система pub / sub. Таким чином, ми вивчаємо кінцеву затримку між шлюзами та зацікавлені програми, тобто між видавцями та передплатниками.

### 3.2 Загальні налаштування вимірювань

Далі ми представляємо налаштування вимірювань, які ми використовуємо для оцінки вибраних систем за допомогою представлених показників. Наші вимірювання спрямовані на максимально реалістичну оцінку роботи брокера обміну повідомленнями на основі хмар. Огляд нашої системи наведено на рис. 2. Оскільки брокер, як очікується, буде працювати на хмарній віртуальній машині, ми розгортаємо брокер на екземплярі в AmazonElasticComputeCloud (Amazon EC2) [1], який є одним із провідних хмарних провайдерів.

Оскільки ми не можемо розгорнути апаратне забезпечення сенсорів, що взаємодіє з брокером повідомлень, ми дотримуємося подібного підходу, як Rege та ін. [17] та відтворювати джерела трафіку на екземплярах хмар. Рівень пристрою змодельований файлами трасування, зібраними із сенсорних пристроїв реального світу. Детальніше - у наступному розділі. Файли трасування використовуються для копіювання поведінки синхронізації та розмірів повідомлень трафіку, що спостерігаються на шлюзах IoT. Шлюзи, які виконують роль видавців у системі pub / sub, а також застосунки, що підписуються, копіюються на хмарних віртуальних машинах.

Щоб уникнути відтворення одних і тих самих файлів трасування на різних шлюзах і потенційно зміщення результатів, розподіл розмірів повідомлень та часу між повідомленнями обчислюється для кожних 15-хвилинних інтервалів і відтворюється. Це зберігає інформацію про різні розміри та швидкість повідомлень протягом дня, які зазвичай співвідносяться у розумному місті, але уникає нереальних упереджень, спричинених штучним високим співвідношенням.

Ми оцінюємо протоколи, використовуючи популярні реалізації представників. Наш вибір брокерів наведено в табл. 2. Брокер ZeroMQ використовує сокети XPUB і XSUB, як зазначено в документації ZeroMQ, і написаний на мові програмування C. Брокери Erlang використовують високопродуктивний Erlang (HiPE). Оскільки ми не враховуємо безпеку, шифрування вимкнено. Брокерські та публікаційні та передплатні процеси розгортаються на екземплярах EC2, що працюють у поточному 64-бітній версії довгострокової підтримки Ubuntu (14.04) (ami-234ecc54). Апаратне забезпечення узагальнено в табл. 3. Брокери працюють на одному екземплярі m4.large з двома ядрами, як правило, Intel Xeon E5-2676 v3 з 32 ГБ оперативної пам'яті. Виробники та споживачі повідомлень розміщені на екземплярах m3.medium з одним ядром та 3,75 ГБ оперативної пам'яті. Ми використовуємо 10 екземплярів шлюзу, в яких розміщується до 60 віртуальних шлюзів публікації та до 60 процесів підписки кожен. Під час експериментів контролюється навантаження центрального процесора на кожен екземпляр, тому вузькі місця на стороні клієнта не будуть розцінюватися як погана робота брокера.

Для генерації трафіку та тиражування процесів підписки ми використовуємо клієнт, написаний мовою програмування C. Застосунок публікує та підписується за допомогою єдиного інтерфейсу, який відображається на інтерфейсах окремих систем pub / sub за допомогою спеціальних плагінів.

Компонент генерації трафіку та ведення журналу залишається незмінним у кожному експерименті. Щоб уникнути побічних ефектів дискового вводу-виводу, ми буферизуємо всі результати в пам'яті, перш ніж записувати їх на диск. Ми використовуємо непостійні повідомлення з максимальною кількістю семантичних показників із фіксованим коефіцієнтом розсилки 1, тобто кожен видавець має одного передплатника.

У цій роботі ми вдаємося до використання чітко визначеного коефіцієнта розмивання як першого кроку, але працюємо над вдосконаленими моделями абонентів для подальшої роботи. По-друге, наша система спрощує вимірювання пропускну здатності та затримки, оскільки ми можемо розгортати видавців та підписників теми на одній і тій же хмарній віртуальній машині, уникаючи необхідності точної синхронізації між процесами.

Ми оцінюємо кожен протокол, використовуючи три сценарії робочого навантаження, аналогічні нашим еталонним сценаріям, які ми визначаємо нижче.

### 3.3 Сценарії навантаження

Ми узагальнюємо три еталонні сценарії в Розділі 2.1 для трьох основних класів датчиків, що виробляють чіткі схеми руху:

#### 3.3.1 Прості датчики

Датчики погоди - це приклад того, що ми визначаємо як простий датчик, який відбирає по одній величині за раз, як правило, незалежний від інших датчиків і компактне двійкове представлення.

Тестовий стенд бездротового внутрішнього датчика (TWIST) [14] з 90 вузлами датчиків TelosRev. B [18], оснащений датчиком вологості та температури Sensirion SHT11, датчиком видимого світла Hamamatsu S1087 (від 320 нм до 730 нм), що вимірює фотосинтетично активне випромінювання (PAR) ) і Hamamatsu S1087-01 (від 320 нм до 1100 нм), видимий для ІЧ-датчика світла, що вимірює загальну сонячну радіацію (TSR). Ми збираємо зразки згаданих вище датчиків на кожному вузлі датчика щосекунди, використовуючи програму TinyOS, яка відправляє дані в одному пакеті до послідовного інтерфейсу, який виставляється через порт UniversalSerialBus (USB). Процес збору використовує можливості тестового стенду TWIST: кожен вузол датчика підключений до одного супервузла, який пересилає послідовні пакети на сервер TWIST, де записується файл трасування з усіма значеннями датчика. Створюється файл трасування із загальною кількістю даних за 72 години.

Ми використовуємо ці необроблені дані датчиків для створення сигналів датчиків для публікації. Ми вирішили надіслати повідомлення з оновленими даними датчика, лише якщо перевищені розумні порогові значення, тобто якщо датчик відбирає значення, близьке до значення, відібраного раніше, шлюз не передаватиме дані повторно. Ми вважаємо, що це розумна поведінка в бездротових сенсорних мережах, де енергії недостатньо. Огляд сформованого файлу трасування наведено на рис 3а, де показано один день зразкових даних. Кількість виданих повідомлень за секунду варіюється і досягає максимуму близько обіду. Оскільки повідомлення кодуються двійково, розмір повідомлення постійний на рівні 36 байт.

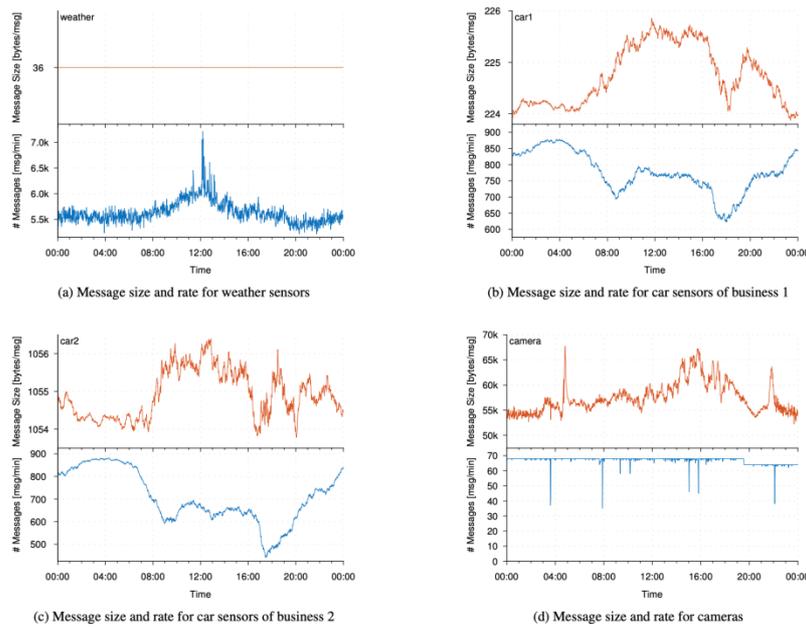


Рис. 3 Часові характеристики сенсорних файлів датчиків протягом одного конкретного дня вимірювання; вказано розмір повідомлення та швидкість повідомлень за хвилину.

### 3.3.2 Складні датчики

На відміну від простих показників, які пов'язані, але також мають значення самі по собі, датчики автомобіля в основному мають значення лише разом. Беручи до уваги приклад спільного використання автомобілів, лише рівень палива, наприклад, не дуже значущий для потенційних споживачів без положення автомобіля. Ми визначаємо такі датчики як складні датчики, що являє собою комбінацію декількох простих датчиків, де показання датчиків згруповані, щоб утворити цілісні показники, які підключені та передаються разом як одне повідомлення. Ці повідомлення зазвичай кодуються за допомогою JSON або XML.

Дані про транспортний засіб, як складний тип даних датчиків, походять із загальнодоступних веб-сайтів двох підприємств спільного користування автомобілями [6, 11]. Подібно до того, як браузер отримує доступ до даних, щоб скласти карту доступних автомобілів, ми щохвилини отримуємо доступ до загальнодоступних даних цих служб для Берліна і розподіляємо відповідь в індивідуальних звітах про стан для кожного автомобіля. Ми реєструємо розмір цих індивідуальних показань і використовуємо їх для відтворення еквівалентних повідомлень у наших вимірах, не зберігаючи жодних фактичних даних про машини. Файли трасування містять дані за тиждень для обох компаній, що надають послуги спільного використання автомобілів.

Індивідуальні звіти про стан автомобілів використовуються як повідомлення для публікації. Обґрунтування полягає в тому, що кожен автомобіль опублікує його наявність разом із додатковою інформацією про автомобіль, такою як стан чи стан. Один день даних наведено на рис. 3b та 3c для кожного бізнесу, що займається спільним використанням автомобілів. Зміна кількості доступних автомобілів відбувається за тією ж загальною схемою і є низькою близько 9:00 та між 17:00 і 20:00, коли багато пасажирів орендують машини. Хоча компанія, що займається спільним сполученням автомобілів, зазвичай отримує звіти про стан або з фіксованим інтервалом, або за певних подій, кількість приватних автомобілів, що надаються громадянами в оренду, мабуть, має подібну модель. Розмір повідомлення досить стабільний протягом дня, але суттєво відрізняється між двома компаніями.

### 3.3.3 Мультимедійні датчики

Прикладами камер як датчиків IoT є зображення камер спостереження або відеопотоки, а також спостереження за дорожнім рухом за допомогою камер. Зображення дорожньої камери можна аналізувати в режимі реального часу, щоб запропонувати альтернативні шляхи до розумних навігаційних систем. Ми визначаємо клас мультимедійних датчиків, які виробляють носії, такі як

аудіо, нерухомі зображення або відеоматеріали. Ці медіапотоки кодуються як двійкові фрагменти даних.

Як приклад медіа-даних ми використовуємо загальнодоступні камери дорожнього руху міста Берлін. Подібно до автомобілів, ми отримуємо доступ до зображень з камери з фіксованим інтервалом у 30 секунд і реєструємо розмір відповіді. Файли трасування містять дані за тиждень для 34 камер.

Окремі зображення використовуються як повідомлення для публікації. Приклади даних за день показані на рис. 3d. Середній розмір повідомлення збільшується до півдня, можливо, тому, що зображення з більшою кількістю світла матимуть більше деталей, які не будуть стискатися так добре, як темні зображення. Швидкість повідомлень є досить стабільною, як очікується, приблизно два зображення на хвилину на камеру. Деякі камери, як правило, не оновлюються надійно, тому ми ігноруємо всі точні копії, пояснюючи незначні коливання.

### 3.4 Вимірювання пропускної здатності

Ми використовуємо класи трафіку, введені раніше, для хмарної вимірювальної кампанії, що визначає типovu пропускну здатність та затримку систем pub / sub. Ми починаємо вимірювати пропускну здатність, застосовуючи все більше навантаження на брокера. Це досягається більшою кількістю пар видавців та передплатників. Для сценарію датчика погоди ми змінюємо кількість публікаційних шлюзів від 10 до 600, при цьому кожен шлюз генерує навантаження, еквівалентну 1000 датчикам, що відповідає загальній кількості до 600 000 емульованих датчиків. Для випадку спільного використання автомобілів ми використовуємо від 10 до 600 видавців, які генерують вантаж, еквівалентний до 9,6 мільйона окремих автомобілів. Ми варіюємо кількість камер від 40 до 600, де кожен видавець імітує лише одну камеру. Збільшення кількості пар видавців / передплатник є експоненціальним для точного вимірювання як дуже малих, так і дуже високих значень пропускної здатності. Експерименти складаються з генерування навантаження протягом 5 хвилин та вимірювання кількості повідомлень, які надходять до абонентів за цей час. Навантаження генерується відповідно до випадкової позиції в одному з файлів трасування. Кожна конфігурація параметрів застосовується загалом 8 разів.

На рис.4 показана виміряна пропускну здатність, коли брокер завантажений різними робочими навантаженнями, визначеними раніше. Насиченість пропускної здатності позначає індивідуальну максимальну стійку пропускну здатність протоколів за певного сценарію. Результати показані з 95% довірчим інтервалом.

На рис. 4а зображені результати для погодних датчиків. ZeroMQ має найвищу пропускну здатність - до 522 тис. повідомлень / с. Інші протоколи мають значно меншу пропускну здатність:

MQTT показує максимальну пропускну здатність, меншу за третину від пропускної здатності 134 тис. повідомлень / с. AMQP має максимальну пропускну здатність 30 тисяч повідомлень / с. Максимальний розмір XMPP в 1 тис. повідомлень / с приблизно на два порядки нижче, ніж пропускну здатність MQTT.

Рис. 4б показує результати для випадку використання автомобілів. ZeroMQ знову показує найвищу максимальну пропускну здатність до 83 тис. повідомлень / с. Примітно, що в цьому випадку використання, хоча і досі не досягає пропускної здатності ZeroMQ, розрив між протоколами зменшився: MQTT показує пропускну здатність 69 тис. повідомлень / с. AMQP має максимальну пропускну здатність 26 тис. повідомлень / с. До 2 тис. повідомлень / с пропускну здатність XMPP нижча за інші протоколи, але напрочуд вища, ніж для менших повідомлень.

На рис. 4в наведені результати щодо трафіку камери. У цьому випадку AMQP має найвищу пропускну здатність з максимальною швидкістю 186 тис. повідомлень / с. ZeroMQ також показує максимальну пропускну здатність до 186 тис. повідомлень / с, що трохи нижче AMQP лише після десяткової коми. MQTT показує максимальну пропускну здатність 164 тис. повідомлень / с. XMPP показує пропускну здатність до 92 повідомлень / с, але не може впоратися з навантаженням понад 300 повідомлень / с. Якщо для інших еталонних сценаріїв ZeroMQ був безперечним лідером, то для сценарію камери протоколи показують набагато більше подібних результатів.

Ми пояснюємо таку поведінку наступним чином: наш брокер ZeroMQ є лише дуже простим і підтримує лише відповідність префіксів. Через це пропускну здатність значно вища, ніж інші протоколи, особливо для менших повідомлень. MQTT та AMQP пропонують більш складну фільтрацію, збільшуючи час, витрачений на кожне рішення про фільтрацію. XMPP має найбільші

накладні витрати завдяки використаному кодуванню XML, яке доводиться аналізувати клієнтам і брокеру, що призводить до подальшої обробки накладних витрат. Щодо великих повідомлень, MQTT та AMQP стають більш конкурентоспроможними, оскільки час, витрачений на прийняття рішення про фільтрацію, не залежить від розміру повідомлення, а час копіювання в пам'яті, а також мережева передача повідомлень стають домінуючими факторами часу обробки.

### 3.5 Вимірювання затримки

Ми також досліджуємо затримку протоколів. Оскільки затримка у насиченому середовищі була б нереально високою, ми спостерігаємо розподіл латентності протягом одного дня в цьому окремому експерименті. Ми копіюємо 40 мереж датчиків погоди розміром 200 вузлів кожна, що моделює мережу датчиків середнього розміру, таку як тестовий стенд TWIST. Ми використовуємо 100 мереж спільного використання автомобілів, подібних до тих, що записані в Берліні. Нарешті, ми запускаємо одну мережу камер, подібну до тієї, що вимірюється у Берліні з 34 камерами.

Результати представлені на рисунку 5. Окремі графіки показують емпіричну функцію розподілу затримки, введеної системою pub / sub. Графіки ілюструють, який відсоток успішно переданих повідомлень відчуває наскрізну затримку між видавцем та передплатником.

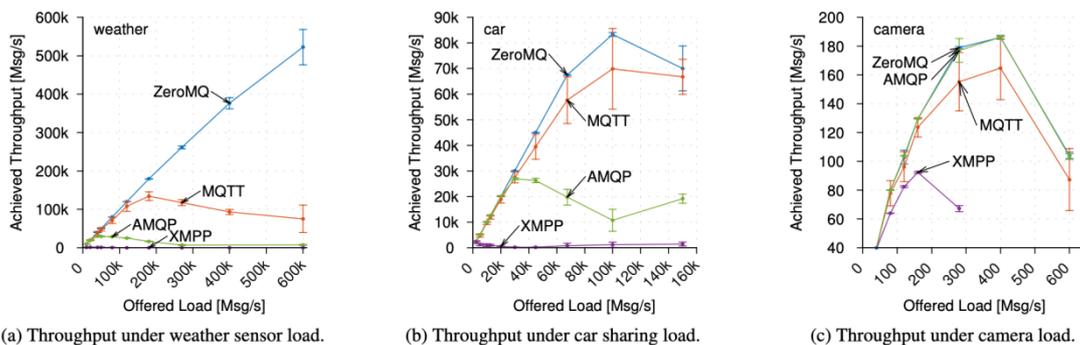


Рис. 4 Пропускна здатність, досягнута протоколами у трьох еталонних сценаріях.

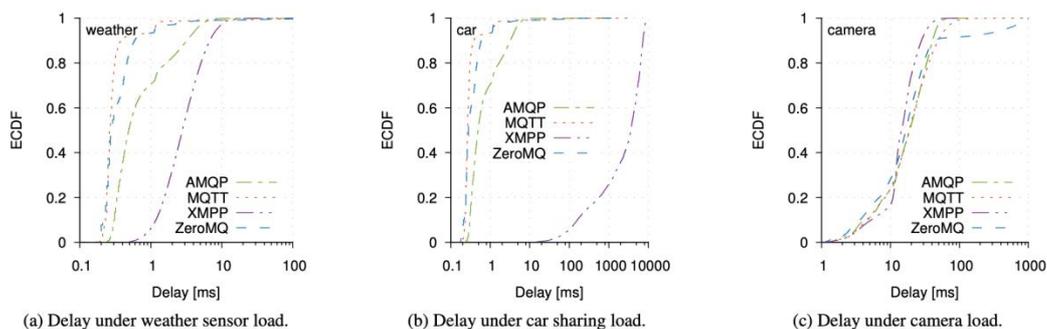


Рис. 5 Емпірична кумулятивна функція розподілу (ECDF) результуючої затримки при застосуванні різних навантажень.

Оскільки виміряна затримка має діапазон, який охоплює кілька порядків величини, ми використовуємо логарифмічну шкалу для кращого порівняння результатів.

Для сценарію датчика погоди результати на рис. 5а показують, що розподіл затримок MQTT та ZeroMQ досить подібний. Більше 90% повідомлень мають затримку менше 1 мс. AMQP показує трохи більшу затримку. Тим не менше, близько 70% вимірених значень затримки нижче 1 мс і 90% нижче 3 мс. XMPP вводить значно більшу затримку, але все-таки менше 3% повідомлень затримується більше ніж на 10 мс.

Отримані розподіли затримок, виміряні для навантаження на спільний рух автомобілів, показані на рис. 5б. Хоча повідомлень значно більше, розподіл затримок ZeroMQ, MQTT та AMQP дуже схожий на попередній сценарій. Використовуючи MQTT та ZeroMQ, більше 90% вимірених значень затримки нижче 1 мс. З AMQP приблизно 70% повідомлень мають затримку менше 1 мс і

приблизно 90% менше 3 мс. XMPP показує значно більші затримки до 10 с, що свідчить про ситуацію з перевантаженням.

Розподіл затримки для випадку використання камери наведено на рис. 5с. Загалом затримка всіх протоколів вища, ніж для датчиків з меншими розмірами повідомлень. Крім того, розподіл затримки не відрізняється настільки суттєво, як для менших розмірів повідомлень. Для всіх протоколів більше 90% затримки менше 100 мс. Хоча частіше досягається менша затримка, для ZeroMQ приблизно 10% затримки перевищує 100 мс, іноді досягаючи до 1 с.

Підсумовуючи, поведінка затримки та, отже, вибір систем pub / sub сильно залежить від різних розмірів повідомлень, що використовуються у кожному конкретному випадку використання. У той час як для невеликих повідомлень, MQTT і ZeroMQ виявляються меншими затримками, зі збільшенням розміру повідомлення розподіл затримки зближується. Додаткова затримка, введена за допомогою більш складних методів фільтрації, таких як AMQP, стає неістотною. Крім того, затримка, введена XML-кодуванням інформації заголовка в XMPP, не робить загальний час обробки значно вищим, ніж для інших протоколів у сценаріях, коли надсилаються великі повідомлення.

**Висновки.** У цій роботі ми провели аналіз вимог до pub / sub на хмарних платформах IoT, проаналізували основні особливості існуючих відкритих рішень та представили кількісну оцінку представників кожного протоколу за реального навантаження. Це демонструє, що, хоча жоден протокол не пропонує всіх функцій, бажаних у налаштуваннях Інтернету речей, між протоколами існують суттєві відмінності: Хоча XMPP є розширюваним відкритим протоколом, XMPP не може досягти продуктивності, що спостерігається з іншими проміжними програмами pub / sub в налаштуваннях IoT. Крім того, на стороні сервера кожен рядок даних повинна бути проаналізований для прийняття рішення про маршрутизацію. Це, мабуть, одна з причин, чому XMPP працює набагато гірше, ніж інші протоколи щодо пропускну здатності та затримки. AMQP - це повнофункціональне проміжне програмне забезпечення, орієнтоване на повідомлення, яке пропонує весь функціонал, необхідний для створення системи обміну повідомленнями з підтримкою IoT. Ефективність з точки зору пропускну здатності повідомлень та середньої затримки відстає від ZeroMQ та MQTT для навантажень з великою кількістю невеликих повідомлень. MQTT спеціально розроблений для транспортування даних, схожих на датчики, і фактично став стандартним у цій галузі. Брокер має достатньо високу пропускну здатність і низьку затримку. Найважливішою частиною, якої не вистачає в MQTT, є можливість безпосереднього контакту з підключеними клієнтами, оскільки MQTT - це суто протокол pub / sub. Наші вимірювання продуктивності свідчать про те, що ZeroMQ може досягти дуже високої пропускну здатності, зберігаючи низьку затримку, переважно незалежно від навантаження. Також привабливим є той факт, що брокер не є обов'язковим і можлива децентралізована система. Однак ZeroMQ не є повнофункціональною реалізацією брокера і менш виразною, ніж інші протоколи, оскільки підтримується лише відповідність префіксів. Отже, для розгортання ZeroMQ в налаштуваннях Інтернету речей можуть знадобитися та можуть бути додані ключові функції.

Тому наш висновок подвійний: ми рекомендуємо ZeroMQ там, де потрібне спеціально розроблене рішення, а зусилля щодо впровадження відсутніх функцій є прийнятними. Для налаштувань, де необхідне легкодоступне рішення, ми рекомендуємо MQTT або AMQP, залежно від очікуваних розмірів повідомлень, оскільки існує кілька програмних рішень з відкритим кодом, які можна використовувати нестандартно.

#### References.

1. Amazon: Elastic Compute Cloud (EC2). URL <http://aws.amazon.com/ec2>
2. AMQP Working Group: Advanced message queuing protocol (2010). version 0-9-1
3. Apache Software Foundation: ActiveMQ. URL <http://activemq.apache.org/>
4. Apache Software Foundation: Apollo. URL <http://activemq.apache.org/apollo/>
5. Apache Software Foundation: Apollo. URL <http://activemq.apache.org/apollo/>
6. Car2go: Berlin. <https://www.car2go.com/de/berlin/>
7. Carzaniga, A., Rosenblum, D.S., Wolf, A.L.: Achieving scalability and expressiveness in an internet-scale event notification service. In: Proceedings of the Nineteenth Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC '00), ст. 219–227. ACM, New York, NY, USA (2000). DOI 10.1145/343477.343622
8. Cha, M., Rodriguez, P., Moon, S., Crowcroft, J.: Onnext-generation telco-managed p2p tv architectures. Джерело: Proceedings of the 7th International Conference on Peer-to-peer Systems (IPTPS'08), ст. 5–5. USENIX Association (2008)
9. Chui, M., Löffler, M., Roberts, R.: The internet of things. McKinsey Quarterly 2, 1–9 (2010)
10. Curry, E.: Message-oriented middleware. In: Q.H. Mahmoud (ed.) Middleware for Communications, глава. 1, ст. 1–28. John Wiley & Sons (2005)

11. Eclipse Foundation: Paho. URL <https://eclipse.org/paho/>
12. Eugster, P.T., Felber, P.A., Guerraoui, R., Kermarrec, A.M.: The many faces of publish/subscribe. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 35(2), 114–131 (2003)
13. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M.: Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems* 29(7), 1645–1660 (2013)
14. Handziski, V., Koçke, A., Willig, A., Wolisz, A.: Twist: A scalable and reconfigurable testbed for wireless indoor experiments with sensor networks. In: *Proc. of the 2nd Int. Workshop on Multi-hop Ad Hoc Networks: From Theory to Reality (REALMAN '06)*, стр. 63–70. Florence, Italy (2006)
15. Hintjens, P.: *ZeroMQ: Messaging for Many Applications*. O'Reilly (2013)
16. Hunkeler, U., Truong, H.L., Stanford-Clark, A.: MQTT-S – A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks. Джерело: 3rd Int. Conf. on Communication Systems Software and Middleware
17. Ignite Realtime: Openfire Server. URL <http://www.igniterealtime.org/projects/openfire/>
18. Locke, D.: *MQ Telemetry Transport (MQTT) V3.1 Protocol Specification*. IBM developerWorks Technical Library (2010)
19. Menzel, T., Karowski, N., Happ, D., Handziski, V., Wolisz, A.: Social sensor cloud: An architecture meeting cloud-centric IoT platform requirements (2014). 9th KuVS NGSDP Expert Talk on Next Generation Service Delivery Platforms
20. Millard, P., Saint-Andre, P., Meijer, R.: XEP-0060: Publish-Subscribe (2010). URL <http://www.xmpp.org/extensions/xep-0060.html>. Version: 1.13
21. Moteiv Co.: Tmote sky datasheet. URL <http://www.crew-project.eu/sites/default/files/tmote-sky-datasheet.pdf>
22. Pivotal Software: RabbitMQ. URL <https://www.rabbitmq.com/>
23. ProcessOne: ejabberd XMPP Server. URL <https://www.process-one.net/en/ejabberd/>
24. Rege, M.R., Handziski, V., Wolisz, A.: CrowdMeter: an emulation platform for performance evaluation of crowd-sensing applications. Джерело: *Proc. of the 2013 ACM conf. on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*, стр. 1111–1122. Zurich, Switzerland (2013)
25. Saint-Andre, P.: Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core. RFC 6120 (Proposed Standard) (2011). URL <http://www.ietf.org/rfc/rfc6120.txt> Tran, P., Greenfield, P., Gorton, I.: Behavior and Performance of Message

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-31>

УДК 004.7:336.71

**Шваюк Андрій Віталійович**, студент

**Бортник Катерина Яківна**, к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0001-5282-099X>

**Гринюк Сергій Васильович**, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-0080-3167>

Луцький національний технічний університет

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТЕСТУВАННЯ НА ПРОНИКНЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗАХИСТУ БАНКІВСЬКИХ ДАНИХ КОРИСТУВАЧІВ

**Шваюк А.В., Бортник К.Я., Гринюк С.В.** Аналіз методів тестування на проникнення в ком'ютерні системи для оцінки якості захисту банківських даних користувачів. Матеріал статті містить огляд основних підходів до тестування на проникнення в комп'ютерні системи, перехоплення даних. В роботі викладено опис та аналіз стандартів тестування безпеки, описано план підготовки для тестування, виконання та підготовку результатів роботи.

**Ключові слова:** тестування на проникнення, тестування, захист банківських даних користувачів, проникнення ком'ютерні системи, методи тестування.

**Шваюк А.В., Бортник Е.Я., Гринюк С.В.** Анализ методов тестирования на проникновение в компьютерных системы для оценки качества защиты банковских данных пользователей. Материал статьи содержит обзор основных подходов к тестированию на проникновение в компьютерные системы, перехват данных. В работе изложено описание и анализ стандартов тестирования безопасности, описаны план подготовки для тестирования, выполнения и подготовку результатов работы.

**Ключевые слова:** тестирование на проникновение, тестирования, защиты банковских данных пользователей, проникновение в компьютерных системы, методы тестирования.

**A.V. Shvayuk, Bortnyk K.Ya., Hrinjuk S.V.** Analysis of computer system penetration testing methods for assessing the quality of user banking data protection. The article contains a review of the main approaches to computer system penetration testing, data interception. The paper describes and analyzes security testing standards, describes the preparation plan for testing, execution and preparation of the results of the work.

**Keywords:** penetration testing, testing, protection of bank user data, penetration into computer systems, testing methods.

**Постановка проблеми та аналіз досліджень.** На сучасних цифрових інформаційних об'єктах зберігання даних сьогодні сконцентрована велика кількість чутливої інформації користувачів. До таких об'єктів можна віднести бази даних банків та ІТ-проектів, що взаємодіють із такою роду інформацією. Враховуючи можливість отримання віддаленого доступу до цих даних, існує потреба в тестуванні систем на проникнення для мінімізації ризиків витоку інформації та потрапляння її до третіх осіб. Кожного дня зростає кількість сервісів, що надають послуги, доступ до інформаційних ресурсів (та іншого) користувачам, що вимагає здійснення оплати способом надання своїх банківських даних таким сервісам. В подальшому такі дані відправляються на спеціалізовані платіжні гетвеї у спосіб визначений ними. Надалі, якщо сервіс передбачає регулярність платежів або ж з інших причин, коли є необхідність використання таких даних, вони можуть зберігатися на серверах подібного сервісу. Усі ці фактори вказують на ризики витоку даних на кожному із вище описаних етапів взаємодії із сервісом. Існує перелік основних пунктів, згідно з якими проводиться робота із тестування на проникнення:

- Визначення вимог до тестування. Безпосередньому процесу пошуку вразливостей передують визначення цілей такої роботи із замовником роботи. Цілі виконавця та замовника повинні сходиться для ефективного результату роботи та можливості ефективного подальшого впровадження рішень для виправлення проблем, що були знайдені в процесі тестування.
- Дослідження об'єкту тестування. Вивчення наявної документації проекту, збір інформації, вивчення архітектури, ознайомлення із кодом проекту. Даний етап важливий для попереднього висновку по можливих слабких місцях. У процесі можна отримати відомості щодо кластерів багів, де найчастіше виникають «дірки».

- Планування процесу тестування. Тестувальник здійснює опис процесу, що буде виконуватись. Викладається попереднє бачення можливих вразливих місць системи, описується процес із зазначенням етапів і послідовності перевірки тестових випадків.
- Виконання роботи із пошуку вразливостей. Проводиться реалізація перевірок згідно тестплану та, використовуючі інші методики, зокрема ед-хок тестування, перевірка, що опирається на досвід виконавця.
- Оцінка безпеки системи, підготовка звіту за результатом роботи. Готується виклад знайдених прогалин у системі, детально описуються шляхи відтворення проблем та можуть надаватись рекомендації із покращень. Звіт включає в себе визначення ризиків із використання в подальшому наявних рішень та оцінку критичності проблем за відповідною градацією від критичних до мініорних.

**Метою статті** проаналізувати методи тестування на проникнення в комп'ютерні системи для оцінки якості захисту даних банківських даних користувачів та оцінити ефективність таких методів.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Тестування на проникнення повинно ставити своєю метою перевірку надійності захисту банківських даних користувачів у системах обробки, зберігання, використання інформації, яка є конфіденційною. Процес тестування має бути спланований, базуючись на перевірці усіх можливих користувацьких випадків, що можуть призвести до потрапляння їх банківських даних третім особам або ж способів заволодіння такими, за допомогою методологій проникнення в інформаційні системи.

Варто розглядати проблематику комплексно, враховуючи, що перевірку потрібно здійснювати на усіх вузлах, де є введення, вивід, обробка та зберігання даних. Змістивши фокус лише на вузли, де дані зберігаються чи обробляються, можна не запобігти витоку, наприклад, на фронтальній стороні користувача. Потрібно визначити основні джерела витоку інформації для коректного планування роботи із тестування. До таких джерел можна віднести погано організовану архітектуру баз даних, відсутність програмних алгоритмів захисту, середовище розгортання системи.

Розглянемо ряд основних можливих способів проникнення в систему або ж заволодіння чутливою інформацією.

1. Різноманітні ін'єкції. Також даний метод може називатись «впровадженням коду». Він передбачає поміщення своїх програмних блоків або ж скриптів у систему, яка піддається атаці. Код може бути поміщений завдяки прогалинам у валідації даних, які передаються в систему різними джерелами. Далі, якщо вдалось обійти алгоритм валідації, чужорідний код потрапляє інтерпритатору, який його виконує. В залежності в типу коду, може здійснюватись пошук чутливих даних у базі даних з подальшою їх відправкою на вузли атакуючого, зміна даних, підміна кінцевих точок запису даних (перехоплення).
2. Використання вразливостей аутентифікації. Банківські системи або сервіси можуть бути піддані спробі перехоплення та подальшого використання авторизаційних даних через неправильно спроектовану роботу із веб-сесіями. Даний спосіб може комплексно використовуватись із незахищеними точками інтернет-доступу, маршрутизаторами. Знаходячись в одній мережі із жертвою, використовуючи відкриту мережу, проблеми із захистом сесій, можна перехопити аутентифікаційні дані та в подальшому їх використати для авторизації в інтернет-банкінгу або внутрішній системі банку.
3. Вразливості API та некоректне зберігання чутливих даних. Після оцінки якості архітектури проекту, тестувальник може спробувати отримати доступ до даних через відсутність шифрування при передачі даних на API та подальшого зв'язку із сховищем.
4. Використання проблем із порушенням роботи прав доступу різнорівневих користувачів. Банківська система обов'язково включає різні права доступу для внутрішніх користувачів системи. У процесі тестування можуть виконуватись спроби використання посилань, доступних лише вищому в ієрархії користувачеві на низькорівневих ролях для перевірки закритості даних та відхиленню системою таких спроб. Також може виконуватись спроба ручної підміни ролі у запитах до системи для обходу аутентифікації користувача
5. Оцінка конфігурації безпеки системи. Етап включає перевірку конфігурації налаштувань системи, версій програмного забезпечення, що використовується на серверній стороні. Проводиться оцінка

актуальності задля мінімізації можливого використання відомих експлоїтів для проникнення в систему. Несвоєчасні оновлення залишають можливість обходу через HTTP запити та інше.

6. Тестування на використання відомих програмних компонентів із відомими вразливостями. Дослідження використовуваних бібліотек, фреймворків та сторонніх програмних рішень дозволяє протестувати систему через відкриті вразливості у цих частинах. Може ефективно використовуватись при відсутності додаткових самописних захистів.

Усі викладені методи можуть застосовувати в комплексі і мають на меті знайти найвразливіші місця в системі. Не менш важливим є перевірка інтерфейсу користувача системи, де відбувається введення чутливої інформації. Існують правила захисту, зокрема, полів введення інформації, коли після набору символів, текст приховується спеціальними графічними елементами. Якщо ж дані стандарти ігноруються, це може створити ризик перехоплення даних, якщо пристрій заражений вірусним програмним забезпеченням.

Це ж стосується виведення чутливої інформації у розділах управління, наприклад, банківськими картками. Кожне поле має бути захищене від перехоплення. Ціллю тестування є перевірка усіх можливих варіантів, коли дані можна викрити, використовуючи програмне забезпечення.

Розглянемо основні відомі методології тестування на проникнення. Стандартизація процесів значно спрощує роботу із планування. За основу можна обрати необхідний алгоритм дій із пентестування, викладений в документаціях, описаних нижче.

1. Методологія OSSTMM - The Open Source Security Testing Methodology Manual. Є досить формалізованим і добре структурованим документом для тестування мереж. Документ має так звану «Карту безпеки» - візуальний показник безпеки. На карті вказуються основні галузі безпеки, які включають в себе набори елементів, які повинні бути протестовані на відповідність методиці. У документі присутній підпункт «Методологія» / «Тестування технології інтернет-безпеки» / «Огляд мережі» / «Тестування брандмауера», де перерахована очікувана інформація, яку може отримати пентестувальник в результаті вдалої атаки або відсутності потрібної функції у засоби захисту. Також описуються конкретні коректні реакції мережі на атаки і їх наявність, наприклад, вимір часу відгуку на пакет або перевірка наявності втрат пакетів на маршруті до мети. Мінусами методики вважається формалізованість і відсутність додаткового опису до вимог.

2. Методологія NIST Special Publications 800-115 Technical Guide to Information Security Testing and Assessment. Створена і підтримується підрозділом NIST - CSRC, центром з комп'ютерної безпеки, який об'єднує фахівців федеральних служб, університетів, найбільших ІТ-компаній США. У розділі «Техніки оцінки вразливостей мети», як одна з технік описуються Тести на проникнення, а саме Фази і Логістика тестів. За даним документом тести на проникнення, в доповнення до стандартних їх можливостям, можна застосовувати для визначення:

- наскільки добре система переносить реально існуючі моделі атак;
- зразкового рівня складності, який необхідно подолати атакуючому;
- додаткових заходів протидії, які могли б послабити загрози на адресу системи;
- здатності захищати систему на виявлення атак і забезпечення відповідної реакції на них.

3. Методологія BSI - Study A Penetration Testing Model. Розроблено німецьким підрозділом «Federal Office for Information Security». У документі описується проведення коректних випробувань системи на міцність. Детально описуються тільки сама методологія тестів, але і необхідні вимоги, правові аспекти застосування методології та процедури, які необхідно виконати для успішного проведення тестів. Наводиться класифікація тестів на міцність і визначені її критерії. У додатках містяться опис ПО, яке можна використовувати для тестування об'єктів, описаних в методиці. Методика є досить докладною і намагається передбачити всі аспекти тестів на міцність, як технічні, організаційні, так і правові.

4. Методологія ISSAF - Information System Security Assessment Framework. Розроблено OISSG (Open Information Systems Security Group) для внутрішніх контрольних перевірок. Документ охоплює величезну кількість питань, пов'язаних з інформаційною безпекою. Присутні глави, що описують оцінку безпеки міжмережевих екранів, маршрутизаторів, антивірусних систем і багато іншого.

5. Методологія OWASP (Open Web Application Security Project) Testing Guide. OWASP (Open Web Application Security Project) - міжнародне відкрите співтовариство, яке орієнтоване на поліпшення безпеки програмного забезпечення. Кожен має право брати участь в OWASP, і всі їхні матеріали вільно розповсюджувати. OWASP Testing Guide має більш широку методологію в порівнянні з іншими, тому що дає вказівки не тільки по тестах на проникнення, але із аналізу веб-додатків в цілому (наприклад - вихідний код), оскільки ця методика фокусує свою увагу саме на виявленнях вразливостей веб-додатків.

6. Огляд методології PTES - Penetration Testing Execution Standard - Technical Guidelines. Стандарт, розроблений для об'єднання як бізнес вимог, так і можливостей служб безпеки, і масштабування тестів на проникнення. На першому підготовчому етапі детально розглядаються встановлюються канали комунікацій, правила взаємодії і контролю конкретні способи реагування і моніторингу інцидентів. Далі виділені наступні етапи:

- збір інформації;
- моделювання загроз;
- методи аналізу вразливостей;
- експлоїтація - забезпечення обходу контрзаходів і виявлення найкращого шляху атаки;
- пост-експлоїтація - аналіз інфраструктури, подальше проникнення в інфраструктуру, зачистка і живучість. Визначено структуру звітів, що складаються

**Висновки.** Усі наведені методології та сукупність стандартів перевірки на проникнення широко використовуються у сфері пентестування. Варто комплексно підходити до планування та детально вивчати кожен проект та систему в особливостях, притаманних їм. Захист фронтальної частини проекту на пряму залежить від використання рекомендацій побудови інтерфейсу стандартами безпеки для забезпечення конфіденційності даних та унеможливлення перехоплення їх засобами запису екрану чи іншим програмним забезпеченням. Розробка захисних механізмів, прокладок в API, використання свіжого конфігурування системи, коректна валідація даних дозволяє зберегти рівень безпеки системи на високому рівні.

#### Список бібліографічного опису

1. Бортник К.Я., Делявський М.В., Кузьмич О.І., Багнюк Н.В., Черняшук Н.Л. Основні загрози безпеці інформаційних систем. // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. – Вип. 41. – 2020. – С. 136-141.
2. Бортник К.Я., Ломінська Г.Ю. Технології аналізу наслідків кібератак // Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво" – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. – Вип. 30-31. – 2018. – С. 10-13.
3. What You Need to Know About OSSTMM [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kirkpatrickprice.com/blog/what-you-need-to-know-about-osstmm/>.
4. COMPUTER SECURITY RESOURCE CENTER [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://csrc.nist.gov/publications/>.
5. Penetration Testing Methodologies [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/v41/3-The\\_OWASP\\_Testing\\_Framework/1-Penetration\\_Testing\\_Methodologies](https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/v41/3-The_OWASP_Testing_Framework/1-Penetration_Testing_Methodologies).
6. OWASP Web Security Testing Guide [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/>.
7. PTES Technical Guidelines [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.pentest-standard.org/index.php/PTES\\_Technical\\_Guidelines](http://www.pentest-standard.org/index.php/PTES_Technical_Guidelines).

#### References

1. Bortnik K.Y., Delyavskiy M.V., Kuzmich O.I., Bagnyuk N.V., Chernyashchuk N.L. (2020) Basic threats to security of information systems. // Scientific journal "Computer-Interactive Technologies: Education, Science, and Production" (pp. 136-141). (Vol. 41) Lutsk: LSTU Publishing House [in Ukrainian].
2. Bortnik K.Y., Lominska G.Y. (2018) Technologii analizu analizy naslidkiv kiberatak // Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production" (pp.10-13). (Vols. 30-31). Lutsk: Publishing house LNTU [in Ukrainian].
3. What You Need to Know About OSSTMM [Electronic resource] - Mode of access to the resource: <https://kirkpatrickprice.com/blog/what-you-need-to-know-about-osstmm/>.
4. COMPUTER SECURITY RESOURCE CENTER [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://csrc.nist.gov/publications/>.
5. Penetration Testing Methodologies [Electronic resource] - Accessible from: [https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/v41/3-The\\_OWASP\\_Testing\\_Framework/1-Penetration\\_Testing\\_Methodologies](https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/v41/3-The_OWASP_Testing_Framework/1-Penetration_Testing_Methodologies).
6. OWASP Web Security Testing Guide [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/>.
7. PTES Technical Guidelines [Electronic resource] - Accessible from [http://www.pentest-standard.org/index.php/PTES\\_Technical\\_Guidelines](http://www.pentest-standard.org/index.php/PTES_Technical_Guidelines).

CONTENTS

<i>AUTOMATION AND MANAGEMENT</i>	
<b>Nalyvaichuk M. V., Sholokhov O.V.</b> Modeling and Information processing algorithms of satellite adaptive superconducting gravimeter.	<b>5</b>
<b>Arakelyan V. P.</b> A new approach to estimating power losses of an electric power system using Z- matrix.	<b>11</b>
<b>Beskostna K. P., Hryshanovych T. O., Hlynchuck L. Y., Bulatetsky V. V.</b> Development of Google Chrome browser extension for blocking graphic content.	<b>18</b>
<b>Bulavka S. S.</b> Improving the efficiency of the pre-launch thermostat system the air of spacecraft.	<b>34</b>
<b>Vereshchaha V., Adoniev E., Pavlenko O., Lysenko K.</b> Harmonization of point polynomials.	<b>31</b>
<b>Holovin M.B., Holovina N. A.</b> Usage of Fourier transforms for spectral analysis of sounds in the courses of computer physics and information security.	<b>37</b>
<b>Hubal H.M.</b> Mathematical modeling of biochemical processes rates in biological systems.	<b>43</b>
<b>Zaiats V.M., Majewski Jacek, Zaiats M.M.</b> System approach to building models for intelligent processing of data in eco-information systems.	<b>50</b>
<b>Kovivchak Ya., Dubuk V., Slusar V.</b> Development of an information system for power consumption management in a smart home.	<b>58</b>
<b>V.V. Lyshuk, M.M. Yeysiuk, Y.R. Selepyna, S.A. Moroz, S.P. Litkovets'.</b> Pulse-phase control in electrical devices.	<b>65</b>
<b>Lohvin Anton.</b> Deep machine learning for audio applications.	<b>72</b>
<b>Palka O., Stanko A., Shymchuk H., Herasymchuk O.</b> Preventing the spread of coronavirus infection in "smart cities".	<b>79</b>
<b>Soniak S.O.</b> Detection of network attacks using Entropy.	<b>89</b>
<b>Tereikovska L.</b> Method for filtering biometric parameters based on wavelet transforms.	<b>95</b>
<b>A.O. Trofimuk, L. V. Bulatetska, Y. S. Pavlenko, T. O. Hryshanovych.</b> Development of the interactive map using SPA technology.	<b>104</b>
<b>Chernyshov K. A., Maidaniuk Volodymyr Pavlovych, Arseniuk Ihor Rostyslavovych, Malinich I.</b> Analysis and classification of ventenium systems and their structural implementation.	<b>110</b>
<b>Chybiriak Ya. I., Baranova I. V., Nikolaenko K. A.</b> A method of end-to-end training in simulation modeling using FlexSim to find reserves for improving the efficiency of automated systems, offered for IT students.	<b>119</b>
<i>INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE</i>	

<p><b>Vavilenkova A.</b>                  Features of realization of a designing stage of a software product by Scrum-command in the Visual Studio software environment.</p>	<b>130</b>
<p><b>Ivanenko A.R., Marchenko O.I.</b>                  Translation the concatenation of TypeScript string expressions into Common Intermediate Language of .NET platform.</p>	<b>137</b>
<p><b>Kostiuchko S., Bahniuk N., Kuzmych O., Polishchuk M., Kyryliuk L.</b>                  Biometric identification by means of Python and Raspberry Pi.</p>	<b>142</b>
<p><b>Kostiuchko S., Kyryliuk L., Chernyashchuk N., Bortnyk K., Hrunjuk S.</b>                  Wireless access point with multilayer data protection algorithm.</p>	<b>147</b>
<p><b>Kukol A. Ye., Khomyak M.Ya. Hryshanovych T. O.</b>                  Development of game sudoku by using the PyCharm integrated development environment.</p>	<b>152</b>
<p><b>Lukianiuk Svitlana.</b>                  Principles of creation of the electronic data archive as a background for retrieval requests.</p>	<b>158</b>
<p><b>Martsenyuk V.P., Andrushchak I.Ye., Milian N.V.</b>                  Features of information technology distribution of radio waves by frequency bands.</p>	<b>164</b>
<p><b>Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Chudovets V.V., Koshelyuk V.A.</b>                  Aspects of protection of accounting data in the conditions of use of innovation and information technologies.</p>	<b>172</b>
<p><b>Moroz B., Kabak L., Shyrin, A. , Ovcharenko S.</b>                  Using of the Data Mining technics in Library Systems.</p>	<b>177</b>
<p><b>Moroz S., Huziuk H.</b>                  Analysis of information transfer protocols for the technology of remote control by means of the Internet.</p>	<b>185</b>
<p><b>Vadim Muliar, Svitlana Yatsiuk.</b>                  Data Visualization in Google Sheets Using the SPARKLINE Function.</p>	<b>191</b>
<p><b>Olena Sivakovska. Andrii Yashchuk, Igor Andrushchak, Natalia Lishchyna, Valerii Lishchyna.</b>                  Network monitoring and research based on Linux machines.</p>	<b>198</b>
<p><b>Starovoitenko O. V.</b>                  Compliance with the IoT Platform Requirements through Cloud Solutions.</p>	<b>205</b>
<p><b>A.V. Shvayuk, Bortnyk K.Ya., Hrinyuk S.V.</b>                  Analysis of computer system penetration testing methods for assessing the quality of user banking data protection.</p>	<b>218</b>

Міністерство освіти і науки  
Луцький національний технічний університет

## **Колектив авторів**

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

Науковий журнал

Підп. до друку 02.04.2021. Формат А4. Папір офс.  
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15.25 Обл. – вид. арк. 15.75  
Тираж 100 прим. Зам. № 287

Комп'ютерний набір та верстка:

К.В. Мельник,  
К.А. Свиридюк.

Друк РВВ Луцького НТУ  
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК №4123 від 28.07.2011 р.  
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, тел.: (0332) 74-61-02  
e-mail: rvv\_lntu@ukr.net