

*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.

№45 2021

*м. Луцьк
Видавництво Луцького національного технічного університету*

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

№45 2021р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
професор д.ф.-м.н., Пастернак Я.М.	(м. Луцьк)
Заступники головного редактора:	
проф., д.т.н. Андрушак І.Є.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Пех П.А.	(м. Луцьк)
Відповідальний секретар:	
мол.наук.співробітник Свиридюк К.А.	(м. Луцьк)
Члени редакційної колегії:	
проф, PhD. Milosz Marek	(Польща, м. Люблін)
проф, PhD. Alison McMillan	(Великобританія)
проф, PhD. Дехтяр Ю.Д.	(Литва, м. Рига)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Мороз Б.І.	(м. Дніпро)
проф., д.т.н. Степанов М.М.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Тарасенко В.П.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Віноградов М.А.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Мельник А.О.	(м. Львів)
проф., д.п.н., Черняшук Н.Л.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н Мельник К.В.	(м. Луцьк)
доц., к.ф.-м.н Мельник В.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Багнюк Н.В.	(м. Луцьк)
доц.,к.т.н. Здолбіцька Н.В.	(м. Луцьк)
доц.,к.т.н. Костючко С.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. 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**

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

**Рекомендовано до друку Вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол №5 засідання від 29.12.2021)**

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](#)
[Ulrichsweb.](#)

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

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Бублик А. Р. Дизайн веб-сторінки, як основа зручності читання, утримання та естетики сучасного веб-сайту.	5
Димова Г.О. Аналіз методів оцінки ефективності систем фізичного захисту.	12
Козубцова Л.М., Рудоміно-Дусятська І.А., Сновида В.Є. Обчислення показників ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки.	19
Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Козодій Н.В., Кареліна О.В., Загородна Н.В. Огляд математичних моделей в економіці на основі диференціальних рівнянь.	26
Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Використання автоматизованої системи GRAN-2D в освітньому процесі.	32
Троянчук Б.В., Федік Л.Ю. Використання САПР у проектуванні систем автоматизації.	39
Філь Н.Ю., Ільге І.Г. Моделі структурно-топологічного синтезу складу підприємства.	44
Харченко Н.С., Сердаковський В.С. Нейронна мережа для діагностики хвороби Паркінсона за зображенням спіралі Архімеда.	54
ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Гарбузенко О. В. П'ятикоп О. Є. Порівняння властивості засвоєння семантичних зв'язків між словами природної мови моделями методу Word2Vec у задачі аналізу настроїв.	59
Каганюк О. К., Черняшук Н.Л., Подоляк В. М., Багнюк Н.В., Свиридюк К.А. Дослідження статичних характеристик по розробці мобільного додатку.	66
Коровій О. С. Адаптація методу Distilling Knowledge в обробці природної мови для аналізу тонального забарвлення текстів.	78
Міскевич О. І. Дослідження загроз від кібератак та захист персональної інформації.	84
Радченко К. О. Застосування дискретних вейвлет-перетворень для прогнозування рівня навантаження на вебсервер комп'ютерних мереж загального призначення.	90
Христинець Н.А., Лавренчук С.В., Свиридюк К.А., Скригунець В.В. Розробка масштабованих веб-додатків з використанням фреймворку React та бази даних MongoDB.	97
Черняшук Н.Л., Багнюк Н.В., Бойко М.В., Чикірда М.В., Савонюк Н.С. Оптимізація процесу розгортання кластерного додатку в системі Kubernetes.	103

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-01>

УДК 539.3

Бублик Анастасія Русланівна, студентка

<https://orcid.org/0000-0002-8947-5445>

Комп'ютерна Академія ІТ STEP University, Львів

ДИЗАЙН ВЕБ-СТОРІНКИ, ЯК ОСНОВА ЗРУЧНОСТІ ЧИТАННЯ, УТРИМАННЯ ТА ЕСТЕТИКИ СУЧАСНОГО ВЕБ-САЙТУ

Бублик А. Р. Дизайн веб-сторінки, як основа зручності читання, утримання та естетики сучасного веб-сайту.

У статті розкрито принципи дизайну веб-сторінки, як основи зручності читання, утримання та естетики сучасного веб-сайту. Наголошується, що під терміном веб-дизайн продовжують розуміти саме проектування структури веб-ресурсу, забезпечення зручності користування ним. Обґрунтовується, що особливість веб-дизайну полягає в тому, що він (веб-дизайн) це не оформлення виробу, не незначна і додаткова його частина, а виріб. Підкреслено, що проектуючи сайт, веб-дизайнер створює повноцінний продукт, а не лише оформлює його, тому веб-дизайнер виступає як творець кінцевого виробу. Зазначається, що веб-дизайнер сьогодні – один із знакових соціально-культурних акторів сучасного суспільства. Він є не просто рядовим членом соціуму, на відміну від більшості користувачів, може сам проектувати, впроваджувати та розвивати технології, і, отже, ставати не просто «декоратором сайтів», але їх архітектором. Наголошується, що веб-дизайн є не лише інструментом моделювання простору культури, а й принципово новою мовою, яка, у свою чергу, впливає на мислення та культуру користувачів. Запропоновано, з метою вирішення окресленої проблеми виявити, синтезувати та використовувати кілька підходів у розробці сучасної веб-сторінки. Зазначається, що художнє проектування інтернет-сайтів включає вимоги технічної естетики до сайтів, облік формотворчих факторів (призначення, функції, конструкція, технологія розробки, стиль, мода, національні традиції та ін.) при проектуванні сайтів, закономірності та засоби композиції у художньому проектуванні сайтів, рекомендації та якість сайтів. Пропонується, з метою вивчення веб-дизайну як складної, структурованої та динамічної мови інтернет-культури впроваджувати неklasичне спрямування у мовознавстві, що обґрунтовує теорію про провідну роль мови у формуванні мислення. Наведено опис кількох прикладів сучасних веб-сайтів, які застосовують кілька жанрів на своїх сторінках, виявлено переваги їх функціонування.

Ключові слова: веб-сайт, веб-дизайн, дизайн, естетика, інтерактивні засоби ефекту, фон, колір, звук, флеш-анімація.

Бублик А. Р. Дизайн веб-страницы как основа удобства чтения, содержания и эстетики современного веб-сайта. В статье раскрыты принципы дизайна веб-страницы как основы удобства чтения, содержания и эстетики современного веб-сайта. Подчеркивается, что под термином веб-дизайн продолжают понимать именно проектирование структуры веб-ресурса, удобство пользования им. Обосновывается, что особенность веб-дизайна заключается в том, что оно (веб-дизайн) – это не оформление изделия, не незначительная и дополнительная его часть, а изделие. Подчеркнуто, что проектируя сайт веб-дизайнер создает полноценный продукт, а не только оформляет его, поэтому веб-дизайнер выступает как создатель конечного изделия. В настоящее время веб-дизайнер – один из знаковых социально-культурных актеров современного общества. Он не просто рядовой член социума, в отличие от большинства пользователей, может сам проектировать, внедрять и развивать технологии, и, следовательно, становится не просто «декоратором сайтов», но их архитектором. Отмечается, что веб-дизайн является не только инструментом моделирования пространства культуры, но и принципиально новым языком, который в свою очередь влияет на мышление и культуру пользователей. Предложено с целью решения данной проблемы выявить, синтезировать и использовать несколько подходов в разработке современной веб-страницы. Отмечается, что художественное проектирование интернет-сайтов включает требования технической эстетики к сайтам, учет формотворческих факторов (назначение, функции, конструкция, разработка, стиль, мода, национальные традиции и др.) при проектировании сайтов, закономірности и средства композиции в художественном проектировании сайтов, рекомендации и качество сайтов. Предлагается с целью изучения веб-дизайна как сложного, структурированного и динамичного языка интернет-культуры внедрять неklasическое направление в языкознании, что обосновывает теорию о ведущей роли языка в формировании мышления. Приведено описание нескольких примеров современных веб-сайтов, которые используют несколько жанров на своих страницах, выявлены преимущества их функционирования.

Ключевые слова: веб-сайт, веб-дизайн, дизайн, эстетика, интерактивные средства эффекта, фон, цвет, звук, флеш-анимация.

Bublyk A. Web page design as a basis for readability, content and aesthetics of a modern website. The article reveals the principles of web page design, as the basis of readability, content and aesthetics of a modern website. It is noted that the term web design continues to mean the design of the structure of a web resource, providing ease of use. It is substantiated that the peculiarity of web design is that it (web design) is not the design of the product, not a small and additional part of it, but the product. It is emphasized that when designing a website, a web designer creates a full-fledged product, not just designs it, so the web designer acts as the creator of the final product. It is noted that a web designer today is one of the iconic socio-cultural actors of modern society. He is not just an ordinary member of society, unlike most users, he can design, implement and develop technologies, and, therefore, become not just a "site decorator", but their architect. It is emphasized that web design is not only a tool for modeling the space of culture, but also a fundamentally new language, which, in turn, affects the thinking and culture of users. It is proposed to identify, synthesize and use several approaches in the development of a modern web page in order to solve the outlined problem. It is noted that the artistic design of Internet sites includes the requirements of technical aesthetics of sites, accounting for formative factors (purpose, functions, design, development technology, style, fashion, national traditions, etc.) in designing sites, patterns and means of composition in artistic site design, recommendations and quality of sites. It is proposed to introduce non-classical direction in linguistics in order to study web design as a complex, structured and dynamic language of Internet culture, which substantiates the

theory of the leading role of language in the formation of thinking. A description of several examples of modern websites that use several genres on their pages is described, the advantages of their operation are revealed.

Key words: website, web design, design, aesthetics, interactive means of effect, background, color, sound, flash animation.

Вступ та постановка завдання. Термін естетика в контексті цієї статті охоплює візуальні, звукові та інтерактивні засоби ефекту. Проте стаття зосереджена насамперед на візуальних засобах ефекту в плані кольорів, типографіки, дизайну, малюнків, відеороликів, флеш-анімацій тощо.

Візуальна комунікація стає реальністю, як тільки набирається слово, вибирається колір або відображається текст на екрані, і будь-який візуальний вираз, навмисний чи ні, повідомляє відвідувачу сайту щось. Веб-дизайнер є залежним від впливу елементів графічного дизайну. Які є фундаментальною основою на кожному веб-сайті. Якщо обирати яскравий, теплий червоний колір для меню, він несе відповідну внутрішню інформацію для відвідувача сайту, ніж якщо обрати спокійний холодний синій колір, який надасть зовсім іншу концепцію. Якщо застосовується спеціально розроблена типографіка, створена для заголовків, вона залишає більш особисте враження щодо веб-сайту, ніж якщо для оформлення використано стандартну найпоширенішу типографіку, як-от, наприклад, Verdana. Однак складні мультимедійні інсталяції, вражаючі зображення та відеокліпи, принаймні в принципі, є не обов'язковими додатками, оскільки вони не мають факторів, які необхідно враховувати у будь-якому веб-дизайні. На сьогодні, є можливість працювати з візуальними елементами тексту та кольору, але також можемо обійти естетичні ефекти у вигляді стимулюючих мультимедійних Flash-інсталяцій та красивих картинок.

Візуальна комунікація є головною складовою будь-якого веб-сайту незалежно від того, чи є використання візуальних ефектів обов'язковою умовою концепції чи ні. Графічні та візуальні ефекти відіграють важливу роль у передачі вмісту, на додаток до створення більш-менш естетичного досвіду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Публікації стосовно дизайну веб-сторінок сучасного веб-сайту є популярним напрямком досліджень на протязі останніх 30-ти років.

Так, низка вчених О. Н. Котенко, Т. О. Жирова, В. І. Чубаєвський та А. М. Десятко [1] здійснили дослідження основних тенденцій сучасної розробки веб-сайтів. Авторами описано основні складові front-end розробки. Здійснено детальний огляд текстового редактора Sublime Text, як одного з найпопулярніших текстових редакторів з широким набором зручних інструментів для виділення, маркування та обробки текстових фрагментів коду.

В статті [2] розглянуто особливості сучасного веб-дизайну та його можливості для повноти формування культурно-естетичного змісту веб-сторінок. Вдалий веб-дизайн підвищує комунікативну функціональність певного сайту, його відвідуваність та відгук аудиторії, особливо якщо мова йде про комерційні сайти чи інформаційні ресурси, для яких відвідуваність є одним з вагомих чинників.

Проектування веб-сайту для сучасної фотостудії з використанням новітніх досягнень веб-дизайну здійснили Х. М. Фан та О. Л. Яворський [3]. Авторами представлено концепцію веб-сайту та описано принципи формування віртуального простору з урахуванням концепції.

І.В. Андріїв [4] здійснив аналіз сучасних засобів веб-розробки, описав структуру і різні засоби розробки вебсайтів. Розглянув мови розмітки і веб-програмування, інструментарій для дизайну сайту і використання бази даних для зберігання інформації. Основна мета розробки сайту – нести в собі інформацію, максимально доступно й зручно подавати її користувачеві, забезпечувати актуальність і корисність цієї інформації.

Веб-технології та дизайн дослідили О.В. Гринчак та Р.В. Моцик [5]. Науковці наголошують, що веб-дизайнер працює над зовнішнім виглядом, макетом та, в деяких випадках, змістом веб-сайту. Зовнішній вигляд, наприклад, стосується кольорів, шрифту та зображень, що використовуються. Макет стосується того, як інформація структурована та класифікована. Хороший веб-дизайн простий у використанні, естетично приємний і підходить для групи користувачів та бренду веб-сайту. Багато веб-сторінок розроблено з орієнтацією на простоту, так що не з'являється стороння інформація та функціональність, які можуть відволікати або бентежити користувачів. Оскільки ключовим каменем результату роботи веб-дизайнера є сайт, який завойовує та виховує довіру цільової аудиторії, усунення якомога більшої кількості можливих розладів користувачів є критичним фактором.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Hu, Zhiguo & Wang, Xinrui & Xinkui, Hu & Lei, Xiaofang & Liu, Hongyan [6], Basak, Rasim [7], Espinosa-Leal, Leonardo & Akusok, Anton & Lendasse, Amaury & Björk, Kaj-Mikael [8], Longstreet, Phil & Valacich, Joseph & Wells, John [9], Eng, Nicholas [10], Usmani, Sania & Ahmed, Faraz & Sajjad, Syed [11], Kapllani, Levi & Elmimouni, Houda [12] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання дизайну веб-сторінки, як основи зручності читання, утримання та естетики сучасного веб-сайту залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи дизайну веб-сторінки, як основи зручності читання, утримання та естетики сучасного веб-сайту.

Викладення основного матеріалу дослідження. Термін «функціональність» у цьому контексті охоплює зручні для користувача аспекти інтерфейсів та взаємодії людини з комп'ютером, де головною метою є створення ефективних веб-сайтів, на яких користувач може швидко та ефективно отримати потрібну інформацію, не затримуючись на тривалій час завантаження або під час навігації по сайту. Якоб Нільсен відігравав важливу роль у всьому світі в розробці директив щодо дизайну гіперфункціональних веб-сайтів, наприклад, у Usability Engineering з 1993 року [13] та Designing web usability з 1999 року [14]. Визначення зручного веб-дизайну за словами Якобом Нільсеном охоплює п'ять центральних компонентів: можливість навчання, ефективність, запам'ятовуваність, помилки та задоволення. Експерт зі зручності використання, Рольф Моліх, працює з додатковим компонентом у зручному веб-дизайні, який є аспектом зрозумілості. Усі ці компоненти важливі для оцінки якості веб-сайту з точки зору функціональності.

Велика кількість візуально та графічно непродуманих, необдуманих веб-сайтів показує, що все ще є деякі веб-дизайнери, які працюють відповідно до вузької концепції «функціональності» і повністю нехтують значенням візуальної комунікації для підтримки функціональності. Веб-сайт Якоба Нільсена, www.useit.com, є прикладом сайту, який применшує використання графічних ефектів. Це підтверджує сам Нільсен у записі «Чому на цьому сайті майже немає графіки». Він пояснює, що не хотів витратити гроші на художника, а замість цього обрав графічний дизайн самостійно. Проблема з веб-сайтом Нільсена полягає в тому, що, незважаючи на те, що Нільсен вважає, що його сайт майже не має графічних ефектів, він не може обійти той факт, що кілька графічних зображень на сайті щось передають. Яскравий жовтий банер у верхній частині домашньої сторінки для багатьох людей буде суперечити пастельним жовто-блакитним кольорам, які використовуються в інших частинах сторінки, і приверне увагу до того, що, за словами Нільсена, має бути «невидимим» для користувача.

У цьому випадку випадкове використання візуальних ефектів вказує на неохайність та непрофесійність відправника, що не є точним зображенням Нільсена і, ймовірно, не було його наміром щодо веб-сайту. Однак інша сторінка на веб-сайті «Про Якоба Нільсена», яка містить біографію та фотографії Якоба Нільсена, створена з гармонією та балансом між кольорами та їх розміщенням. Є відкритий простір і послідовне використання синіх кольорів. Ця сторінка справляє враження організованого відправника, який має відчуття якості, що, ймовірно, більше відповідає тому, як Нільсен хоче відобразитися на своєму веб-сайті.

Іншими словами, графічні ефекти є невід'ємною частиною будь-якого веб-сайту. Проте можливість обирати включати їх чи ні відсутня. Обов'язково потрібно враховувати графічні ефекти, навіть якщо метою є створення «невидимої» візуальної комунікації, яка досягає своєї мети завдяки безперебійній інтеграції з функціональністю та контентом.

Що дійсно може вважатися необов'язковим і відкритим для обговорення, так це обсяг додаткового естетичного матеріалу у вигляді відеокліпів, Flash-анімації, красивих картинок тощо. Використання таких ефектів на веб-сайтах має залежати від цільової аудиторії, відправника зображення та жанр веб-сайту.

З тих пір, як поширення веб-сайтів почалося на початку 1990-х років, зв'язок між функціональністю та естетикою був темою дискусій багатьох вчених як теоретиків так і практиків.

Одним із прихильників функціональності та зручності використання в Інтернеті є вищезгаданий Якоб Нільсен, який зробив деякі з найважливіших досліджень щодо розробки програмного забезпечення та взаємодії людини та комп'ютера. Нільсен відстоював гіперфункціональний підхід у своїй книзі «Usability Engineering» 1993 року, де він ввів гасло «Менше – це більше», фразу, яку він запозичив у архітектора-модерніста Міса ван дер Роє. Але оскільки роль естетики у веб-дизайні все більше ставала предметом суперечок у першій половині 1990-х років, були висловлені різні думки щодо співвідношення між естетикою та функціональністю.

Девід Сігел, який у книзі «Створення вбивчих веб-сайтів» 1996 року [15] стверджував важливість естетичних вимірів, був прихильником естетичних веб-сайтів. Функціоналісти, з іншого боку, стверджували, що не має значення, синій чи червоний веб-сайт, якщо він функціональний і зручний для користувачів. Введення Flash викликало гарячі суперечки. Веб-дизайнер Курт Клонінгер стверджував, що Flash з його дивовижними можливостями для створення естетичного досвіду є

важливим доповненням до html. Нільсен заперечував проти використання Flash через довгий час завантаження, що знижувало функціональність та зручність використання. Але в другій половині 90-х років зростав інтерес до того, щоб зробити більший акцент на естетичних ефектах.

Однак на початку 21 ст. була відновлена тенденція віддавати перевагу гіперфункціональним веб-сайтам без будь-якої зайвої естетики. На це є кілька причин. Перш за все, веб-дизайнери повинні були усвідомити, що використання Flash-елементів на веб-сайтах викликає занадто багато розчарувань, оскільки багато користувачів навіть не можуть відкрити сторінки, або час завантаження був занадто довгим. Крім того, у більшості випадків елементи Flash не забезпечували жодної естетичної насолоди; скоріше, вони часто заважали та дратували користувачів. Дизайнери не могли контролювати своє хвилювання щодо цієї нової іграшки, і Flash часто випадково використовували люди без досвіду графічного дизайну. Це призводило до безладних веб-сайтів з елементами Flash, які блимали й переміщалися по сторінці, не створюючи естетичного враження для користувача.

Крім того, криза доткомів наприкінці 1990-х і міжнародна фінансова криза призвели до того, що багато організацій скоротили великі витрати на розробку унікальних веб-сайтів із Flash та з іншими передовими естетичними ефектами. Це призвело до зростання інтересу до дешевших рішень у формі стандартних макетів, що призвело до меншого акценту на естетиці, особливо для багатьох інформаційних та презентаційних сайтів як приватних, так і державних організацій.

Хоча зв'язок між функціональністю та естетикою обговорюється вже давно, бажано оновити дискусію, яка зосереджується на естетичних ефектах у веб-дизайні в ширшій перспективі. Для цього є кілька причин. По-перше, швидкий розвиток ІТ-технологій і впровадження ширококутового доступу в наш час дозволили розмістити користувачів, які бажать отримувати комунікацію у формі мультисенсорного естетичного досвіду, не обов'язково жертвуючи вмістом і функцією через тривалий час завантаження. І подібно до того, як сьогодні від людей все більше очікується, що вони будуть в курсі ІТ-розробок, також очікується, що люди, які працюють з веб-дизайном, володітимуть не тільки знаннями функціональних аспектів, але й розуміють, як спілкуватися за допомогою естетичних засобів. В умовах сьогодення, технічні та функціональні аспекти веб-сайту сприймаються як належне. Люди просто очікують, що це спрацює. Технологія розглядається як базова основа для естетичного досвіду. За словами Іди Енгхольм, обговорення функцій та естетики у веб-дизайні нагадує зміну стилів дизайну під час зростання споживання в післявоєнну епоху, коли багато продуктів, які продавалися – від велосипедів до електроприладів – відрізнялися лише один від одного, шляхом незначних варіацій основних понять. Усі технічні та функціональні проблеми були фактично вирішені; люди очікували, що продукт працює і використовує останню версію технології. Далі пішов інтерес до «диференціації» за допомогою зовнішніх естетичних сигналів і сигналів, пов'язаних із зображенням.

По-друге, тенденція до заміни мови візуальними символами в 20 столітті, особливо в маркетингу продуктів, здається, вибухнула у 21 столітті. Візуальні символи стали невід'ємною частиною повсякденного життя сучасної людини; тому все більш актуальним стає розуміння їх комунікативних ефектів. Орієнтація на візуальну комунікацію поширена не тільки в маркетингу, але й у всіх формах професійного спілкування, включаючи веб-сайт як засіб масової інформації. Зокрема, молоді люди спілкуються – і хочуть, щоб з ними спілкувалися – за допомогою візуальних символів.

Важливо – особливо для веб-дизайнерів – мати можливість розрізнити різні способи, якими візуальна естетика відіграє роль у створенні веб-сайтів.

1) Естетичні ефекти відіграють важливу роль у всіх типах веб-сайтів щодо того, як сприймається відправник, тобто зображення організації чи особи, що стоїть за інформацією. Усі веб-сайти мають відправника або джерело інформації, і всі лінгвістичні, функціональні та естетичні ефекти веб-сайту передають щось про це джерело.

2) Естетичні ефекти повинні підтримувати зміст і функціональні аспекти. Веб-сайти є більш зручними для користувачів, якщо вони містять естетичні ефекти, які підтримують функції навігації та взаємодії.

3) Естетичні ефекти повинні бути адаптовані до жанру веб-сайту. Наприклад, ми очікуємо, що розважальний веб-сайт запропонує розумну кількість естетичних вражень, тоді як наше головне очікування від веб-сайту пошуку інформації полягає в тому, що ми зможемо отримати потрібну інформацію максимально швидко та ефективно. я

4) Естетичні ефекти повинні бути адаптовані до цільової аудиторії. Презентаційний сайт, орієнтований на молоду аудиторію, має бути розроблений відповідно до сучасних тенденцій візуальної естетики та має відрізнитися від сайту презентації, орієнтованого на доросле населення в цілому.

Тому найуспішнішими веб-сайтами є сайти, де веб-дизайнер створив естетичні аспекти відповідно до чотирьох вищезгаданих сфер: зображення відправника, функціональність, жанр і цільова аудиторія.

Естетичні ефекти відіграють вирішальну роль у створенні профілю відправника і, таким чином, іміджу організації чи особи, яка стоїть за веб-сайтом. Тому важливо, щоб навіть веб-сайти, які переважно мають інформаційне призначення, також естетично відображали організацію, яка стоїть за цим сайтом.

Для багатьох веб-сайтів в Інтернеті функціональність має найвищий пріоритет, а естетика включається лише для її підтримки. Зазвичай це стосується жанру інформаційних сайтів, де головна мета — отримати необхідну інформацію якомога швидше та ефективно, як, наприклад, www.google.com.

Однак стає все важче стверджувати, що естетику слід применшувати на користь функціональності, навіть для сайтів пошуку інформації, хоча, звичайно, функціональність має першорядне значення. Існують вагомі причини, чому сайти пошуку інформації повинні намагатися спілкуватися за допомогою візуальних символів. Візуальні значки є корисними та простими інтерсеміотичними візуальними засобами ефектів з точки зору прив'язки текстів. Вони можуть бути корисними засобами впливу, що привертають увагу користувача до посилань. Тонкий рух може бути корисним, щоб привернути увагу користувача та спрямувати його увагу на конкретну важливу область. Використання домінуючих кольорів, таких як червоний і жовтий, ефективно привертає увагу користувача та спрямовує його на конкретну інформацію. Використання ілюстрацій може бути корисним для пояснення складної або тривалої інформації.

Для великої групи серйозних фактичних сайтів, які обмежуються умовами, таких як банки, державні установи, освітні організації тощо, зазвичай велике значення мають функціональні аспекти. На цих сайтах дизайнери намагаються задовольнити вимоги організації, діючи в рамках набору очікувань, що стосуються жанру та відповідно до потреб користувача. У цій категорії веб-сайтів є великий, невикористаний потенціал для покращення зручності використання за допомогою візуальних ефектів, які могли б належним чином підтримувати аспекти навігації та вміст. Візуальні ефекти не повинні забезпечувати чудовий досвід, навіть якщо з вузько функціональної точки зору вони все ще можуть розглядатися як сторонні естетичні ефекти.

Навігаційний дизайн та графічні і стилістичні аспекти повинні бути адаптовані до конкретних потреб цієї конкретної організації. Важливо, щоб веб-дизайнер розумів, що функціональні аспекти не завжди повинні мати пріоритет над естетичними. Сайт для презентації художнього музею чи компанії з дизайну меблів, звичайно, має бути зручним для користувачів, але графічні, стилістичні та естетичні ефекти відіграють важливу роль.

Існують дві домінуючі тенденції у веб-дизайні, які відображають відповідно смак до модернізму, стилю та смак до еkleктичного стилю, орієнтованого на досвід. Вибір стилю модерн чи стиль, орієнтований на досвід, залежить від смаку та потреб цільової аудиторії.

Модерністичний смак до мінімалістичного дизайну в широкій перспективі виник на початку 19 століття з функціоналістським рухом в архітектурі та дизайні. Функціоналістський рух протиставлявся зовнішньому орнаменту та всілякій еkleктиці в мистецтві та дизайні. Функціоналісти вважали, що архітектура і дизайн повинні бути насамперед функціональними і позбавленими зайвого орнаменту. З естетичної точки зору функціоналісти вважали мінімалістичний і функціоналістичний дизайн більш привабливим і сформували опозицію до естетичних цінностей руху в стилі модерн, які домінували на початку 19 століття. Цей смак у дизайні все ще залишається одним із домінуючих дискурсів смаку в наш час.

Сайт презентації нью-йоркського дизайнера Брюса Мау, www.brucemaudesign.com, є прикладом модерністського мінімалістичного сайту з приємним балансом між функціональністю та естетикою. Сайт не має сторонньої естетики; однак його кілька візуальних ефектів у вигляді кольору, шрифту та макета передають вищу естетику в рамках мінімалістичної парадигми. Мінімалістичний веб-сайт без зайвої естетики та візуальних ефектів лише у вигляді гарнітури та макета тексту може бути таким же естетично приємним, як веб-сайт із великою кількістю гарних малюнків та фантастичних Flash-інсталяцій. Якому стилю віддати перевагу, буде залежати від призначення сайту та смаку цільової аудиторії.

Тенденція до простоти також досягла жанру електронної комерції, коли багато компаній переробили свої веб-сайти, орієнтовані на досвід, щоб вони стали більш простими та анонімними.

Поряд зі смаком до модерністського мінімалістичного дизайну, позбавленого сторонніх естетичних ефектів, смаковий дискурс водночас процвітає з корінням у постмодерністських

естетичних цінностях, які надають перевагу еклектичному, мультисенсорному дизайну, орієнтованому на досвід.

Люди в постмодерністському суспільстві, особливо сьогодняшня молодь, виростили з великим ступенем багатства, серед іншого завдяки розвитку цифровізації. Це означає, що основні фізичні потреби, такі як потреби в їжі та житлі, задовольняються, а коли задоволені основні потреби, зростає потреба в самоактуалізації та переживаннях у повсякденному житті.

Зростає тенденція до того, що все, від торгових центрів до банків, привертає увагу за допомогою подій і виставок, які представляють захоплюючі можливості для інтерактивних і сенсорних вражень. Більше недостатньо продавати продукти, спираючись на основні факти. Продукти все частіше продаються на основі нематеріальних цінностей, тобто досвіду. Наприклад, це те, що Nike намагається розмістити на www.Nike.com, веб-сайті, який наповнений враженнями як для дітей, так і для дорослих. На сайті www.Nike.com чітко приділено увагу цільовій аудиторії, що відображено в різних посиланнях на веб-сайті. www.Nikefootball.com орієнтований на хлопчиків у віці 12-16 років, а структура навігації сторінки нагадує комп'ютерні ігри. Функціональність нелогічна, а зручність не в центрі уваги, що, безсумнівно, навмисно. Під час навігації по сайту потрібно подолати труднощі. Основною метою цієї частини сайту є не продаж взуття, а створення іміджу та створення всесвіту, який сподобається молодим чоловікам, які цікавляться футболом. Метою Nike із посиланням Nikefootball.com є насамперед брендинг щодо молодих чоловіків. Він відображає постмодерні цінності сучасної молоді: стиль життя, який характеризується вибіркою, самопостановкою, самоактуалізацією та попитом на виклики в поєднанні з багаточуттєвим досвідом.

Посилання www.Nikeid.com, яке є фактичною частиною сайту електронної комерції, націлено на більш широку аудиторію; а саме діти, молодь та дорослі, які хочуть придбати пару взуття Nike. Купівля пари спортивного взуття Nike на сайті www.Nikeid.com, який містить асортимент продукції Nike, забезпечує приємний інтерактивний досвід. У цьому відношенні Nike випереджає час. Веб-сайт Nike є прикладом сайту, де візуальні та звукові ефекти в поєднанні з інтерактивним аспектом забезпечують приємний досвід та ігровий підхід до покупок. Навігація по сайту проста та зручна для користувачів, і, очевидно, є досвід, пов'язаний із покупкою. Інтерактивні функції та можливість створення власного особистого взуття роблять покупки в Nike в Інтернеті чудовою грою. Це повністю відповідає сучасним ціннісним тенденціям, які зосереджені на прагненні до особистого контакту та індивідуальності.

www.Nike.com – це гібрид кількох жанрів: презентації, електронної комерції та розваг. Жанр презентації, який у випадку Nike також можна було б описати як сайт брендингу, передає те, як Nike хоче, щоб його сприймала громадськість. Жанр електронної комерції дає клієнту можливість придбати взуття Nike через сайт. Розважальний жанр дає можливість грати в ігри та розважатися.

Висновки. У роботі розкрито принципи дизайну веб-сторінки, як основи зручності читання, утримання та естетики сучасного веб-сайту. Сучасні сайти, які застосовують кілька жанрів на своїх сторінках є лише попередниками того, що чекає користувачів та веб-дизайнерів у майбутньому у вигляді естетичного та інтерактивного досвіду в Інтернеті, особливо орієнтованого на молоду аудиторію, яка виступає за постмодерністський дизайн з точки зору еклектичних та орієнтованих на досвід засобів впливу.

Список бібліографічного опису.

1. Дослідження основних тенденцій сучасної розробки веб-сайтів / О. Н. Котенко, Т. О. Жирова, В. І. Чубаєвський, А. М. Десято / Електронне фахове наукове видання "Кібербезпека: освіта, наука, техніка". 2019. Том 1. Випуск 5. С.6-15.
2. Зеленюк О. О. Веб-дизайн в контексті формування візуальної культури віртуального середовища / О. О. Зеленюк // Молодий вчений. 2019. № 1(1). С.23-26. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2019_1\(1\)_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2019_1(1)_8).
3. Фан Х. М. Проектування веб-сайта для сучасної фотостудії з використанням новітніх досягнень веб-дизайну / Х. М. Фан; наук. кер. О. Л. Яворський // Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27-28 квітня 2017 р., Київ). К.: КНУТД, 2017. Т. 1 : Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. – С. 450-451.
4. Андріїв І.В. Аналіз сучасних засобів веб-розробки. Технічні науки – Інформатика, комп'ютерна техніка та автоматизація. 2017. – Режим доступу: <https://www.sworld.com.ua/konfer49/44.pdf>
5. Гринчак О.В., Моцик Р.В. Веб-технології та дизайн дослідили / Вісник Хмельницького національного університету, 2021. №1 (293). С. 23-27.

References.

1. Hu, Zhiguo & Wang, Xinrui & Xinkui, Hu & Lei, Xiaofang & Liu, Hongyan. (2020). Aesthetic Evaluation of Computer Icons: Visual Pattern Differences Between Art-Trained and Lay Raters of Icons. *Perceptual and Motor Skills*. 128. 003151252096963. 10.1177/0031512520969637.
1. Basak, Rasim. (2021). Janteloven: Scandinavian Social Conformity, IKEA, Minimalism, and The Socialism of Design. 159-185. 10.46372/arts.909874.
2. Espinosa-Leal, Leonardo & Akusok, Anton & Lendasse, Amaury & Björk, Kaj-Mikael. (2020). Website Classification from Webpage Renders. 10.1007/978-3-030-58989-9_5.
3. Longstreet, Phil & Valacich, Joseph & Wells, John. (2021). Towards an understanding of online visual aesthetics: An instantiation of the composition perspective. *Technology in Society*. 65. 101536. 10.1016/j.techsoc.2021.101536.
4. Eng, Nicholas. (2020). Impression Management After Image-Threatening Events. *The Journal of Public Interest Communications*. 4. 32. 10.32473/jpic.v4.i2.p32.
5. Usmani, Sania & Ahmed, Faraz & Sajjad, Syed. (2019). Website Attributes, Customer Engagement and Retention: Empirical Evidence from Local Pakistani Companies. *Sukkur IBA Journal of Management and Business*. 6. 58. 10.30537/sijmb.v6i2.312.
6. Kapllani, Levi & Elmimouni, Houda. (2020). Gestalt principles in web design: A study of the usage of similarity, symmetry and closure in today's websites. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*. 57. 10.1002/pr2.340.
7. Usability Engineering (1993) – <https://www.nngroup.com/books/usability-engineering/>
8. Designing Web Usability: The Practice of Simplicity (1999) – <https://www.nngroup.com/books/designing-web-usability/>
9. Creating Killer Web Sites: The Art of Third-generation Site Design (1997). 305 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-02>

УДК 517.9, 519.85, 004.9

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

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

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

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ

Димова Г.О. Аналіз методів оцінки ефективності систем фізичного захисту. Статтю присвячено дослідженню існуючих методів оцінки ефективності систем фізичного захисту об'єктів інформатизації. Питання забезпечення безпеки різних об'єктів, в першу чергу, таких як критична інфраструктура, інформатизація, якими в даний час є переважна більшість об'єктів є дуже важливими. Один з найважливіших елементів практично будь-якої системи безпеки – це система фізичного захисту (СФЗ). Крім того, захист інформації включає в себе, серед інших, і фізичний захист, яка полягає в застосуванні організаційних заходів і сукупності засобів, що створюють перешкоди для проникнення або доступу неуповноважених фізичних осіб до об'єкта захисту. Створення такої СФЗ об'єктів інформатизації (ОІ) передбачає аналіз ефективності і уразливості СФЗ як важливий етап розробки будь-якої системи. У свою чергу, складність сучасних СФЗ, а також різноманіття моделей порушників і способів проникнення спричиняє необхідність застосування засобів автоматизації процесів моделювання таких систем. Різні методи аналізу ефективності СФЗ базуються на даних експертних оцінок основних параметрів і, отже, мають високий ступінь суб'єктивності. Вони вимагають трудомістких експериментальних досліджень. Крім того, їх складно використовувати в задачах математичного моделювання. Таким чином, актуальними є питання підвищення точності аналізу ефективності СФЗ ОІ. У статті проведено порівняльний аналіз методів оцінки ефективності систем фізичного захисту, до яких увійшли такі підходи: детерміністичний, логіко-ймовірнісний, ймовірно-часовий, метод аналізу ієрархій та нечітких множин. Також були розглянуті відомі комп'ютерні моделі та програмні продукти призначені для виявлення загроз об'єкта інформатизації. Приведені основні характеристики і параметри оцінки ефективності СФЗ та необхідні завдання щодо впровадження системи фізичного захисту.

Ключові слова: системи фізичного захисту, оцінка ефективності, детерміністичний метод, аналіз ієрархій, ймовірно-часовий аналіз, нечітка логіка.

Дымова А.О. Анализ методов оценки эффективности систем физической защиты. Статья посвящена исследованию существующих методов оценки эффективности систем физической защиты объектов информатизации. Вопросы обеспечения безопасности различных объектов, в первую очередь, таких как критическая инфраструктура, информатизация, которыми в настоящее время являются подавляющее большинство объектов есть очень важными. Один из важнейших элементов практически любой системы безопасности – это система физической защиты (СФЗ). Кроме того, защита информации включает в себя, среди прочих, и физическую защиту, заключающуюся в применении организационных мер и совокупности средств, создающих препятствия для проникновения или доступа неуполномоченных физических лиц к объекту защиты. Создание такой СФЗ объектов информатизации (ОИ) предполагает анализ эффективности и уязвимости СФЗ как важный этап разработки любой системы. В свою очередь, сложность современных СФЗ, а также разнообразие моделей нарушителей и способов проникновения влечет за собой необходимость применения средств автоматизации процессов моделирования таких систем. Различные методы анализа эффективности СФЗ базируются на данных экспертных оценок основных параметров и, следовательно, обладают высокой степенью субъективности. Они требуют трудоемких экспериментальных исследований. Кроме того, их сложно использовать в задачах математического моделирования. Таким образом, актуальны вопросы повышения точности анализа эффективности СФЗ ОИ. В статье проведен сравнительный анализ методов оценки эффективности систем физической защиты, в которые вошли следующие подходы: детерминистический, логико-вероятностный, вероятностно-временной, метод анализа иерархий и нечетких множеств. Также были рассмотрены известные компьютерные модели и программные продукты, предназначенные для выявления угроз объекта информатизации. Приведены основные характеристики и параметры оценки эффективности СФЗ и необходимые задачи внедрения системы физической защиты.

Ключевые слова: системы физической защиты, оценка эффективности, детерминистический метод, анализ иерархий, вероятностно-временной анализ, нечеткая логика.

Dymova H. Analysis of methods for assessing the effectiveness of physical protection systems. The article is devoted to the study of existing methods for assessing the effectiveness of physical protection systems of objects of informatization. The issues of ensuring the security of various objects, primarily, such as critical infrastructure, informatization, which are currently the overwhelming majority of objects, are very important. One of the most important elements of almost any security system is the physical protection system (PPS). In addition, information protection includes, among others, physical protection, which consists in the use of organizational measures and a set of means that create obstacles to the penetration or access of unauthorized individuals to the protected object. The creation of such a PPS of objects of informatization (OI) involves the analysis of the effectiveness and vulnerability of PPS as an important stage in the development of any system. In turn, the complexity of modern PPS, as well as the variety of models of intruders and methods of penetration entails the need to use automation tools for modeling such systems. Various methods for analyzing the effectiveness of PPS are based on the data of expert assessments of the main parameters and, therefore, have a high degree of subjectivity. They require laborious experimental research. In addition, they are difficult to use in mathematical modeling problems. Thus, the issues of increasing the accuracy of the analysis of the effectiveness of the PPS OI are topical. The article provides a comparative analysis of methods for assessing the effectiveness of physical protection systems, which include the following approaches: deterministic, logical-probabilistic, probabilistic-temporal, the method of analyzing hierarchies and fuzzy sets. The well-known computer models and software products designed to identify threats to the object of informatization were also considered. The main characteristics and parameters for assessing the effectiveness of the PPS and the necessary tasks of introducing a physical protection system are given.

Keywords: physical protection systems, performance assessment, deterministic method, hierarchy analysis, probabilistic-time analysis, fuzzy logic.

Постановка проблеми. Під ефективністю технічної системи зазвичай розуміють її пристосованість до виконання своєї цільової функції. Зокрема, ефективність системи фізичного захисту (СФЗ) можна трактувати як здатність системи протистояти несанкціонованим діям порушника в рамках проектної загрози.

При цьому розрізняють дві різних сторони поняття «ефективність»:

- effectiveness (результативність) – степінь досягнення результатів, які заплановані;
- efficiency (ефективність) – співвідношення між досягнутими результатами і ресурсами, які були витрачені.

Відповідно до цього запропоновано два різні трактування цього поняття:

- результативна ефективність (РЕ) – ефективність в сенсі результативності;
- економічна ефективність (ЕЕ) – ефективність в сенсі економічності.

Більш правильно розуміти під ефективністю СФЗ саме результативну ефективність, а ефективність в сенсі економічності виділяти в групу комплексних показників виду «ефективність – вартість».

Оцінка ефективності – це процедура (дослідження), що проводиться в рамках аналізу уразливості і спрямована на визначення якісних і/або кількісних показників ефективності, виявлення критичних елементів СФЗ, а також визначення інтегрального показника ефективності системи в цілому. При системному підході до створення СФЗ результати оцінки ефективності служать вихідними даними для етапу робочого проектування системи.

Метою дослідження є аналіз відомих методів оцінки ефективності і визначення можливих шляхів їх оптимізації для можливості використання для різних об'єктів інформатизації.

Аналіз досліджень. Задача розробки моделей та методів аналізу ефективності засобів виявлення систем фізичного захисту об'єкта інформатизації (СФЗ ОІ), а також оцінки ймовірності виявлення порушника є актуальним. Незважаючи на велику кількість публікацій відомих спеціалістів у галузі систем фізичного захисту, таких як Гарсія М.Л., Петраков А.В., Бузов Г.А. та інші, ряд питань створення та оцінки ефективності СФЗ ОІ залишаються недостатньо дослідженими.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Існує декілька методів оцінки ефективності:

- детерміністичний метод;
- логіко-ймовірнісний метод;
- метод аналізу ієрархій;
- метод ймовірнісно-часового аналізу;
- метод нечітких множин.

Детерміністичний підхід [1] є експертним методом оцінки ефективності. Він застосовується при перевірках органами відомчого контролю стану фізичного захисту ядерно і радіаційно-небезпечних об'єктів. В рамках даного методу експерти перевіряють на відповідність реальний стан СФЗ вимогам керівних документів. За числовим значенням показника стану СФЗ визначають степінь її відповідності вимогам стандартів, що і є показником ефективності системи.

Детерміністичний підхід пов'язаний із завданням і подальшою перевіркою обов'язкових вимог, що містяться у відомчих керівних документах (КД), технічному завданні (ТЗ) на проектування, робочому проекті. Цей підхід передбачає проведення комплексних перевірок органами державного нагляду чи відомчого контролю. Ці перевірки можуть проводитися із заданою регулярністю або при зміні вимог до об'єкту внаслідок зміни переліку загроз, модернізації СФЗ та іншого. При цьому контролю піддаються організаційні заходи, комплекс інженерно-технічних засобів, організаційні заходи щодо дії персоналу служби безпеки тощо.

Процедура експертної оцінки може бути побудована по-різному [1]. В одному випадку, результати можуть інтерпретуватися на якісному рівні, а в інших випадках, на підставі отриманих даних можуть конструюватися інтегральні критерії, що відображають стан СФЗ в цілому.

В якості реалізації даного підходу можна звернутися до експертного методу оцінки стану фізичного захисту [2]. Цілями оцінки стану є:

- перевірка відповідності фізичного захисту висунутим до неї вимогам;
- виявлення елементів, які не відповідають вимогам до СФЗ («критичних елементів»).

Для цього розроблена система факторів стану (ФС), які визначають організацію та забезпечення фізичного захисту відповідно до вимог нормативних документів. В цьому випадку розрізняють:

- ФС організаційних заходів (група *a*);
- ФС інженерно-технічних засобів охорони (група *b*);
- ФС дій підрозділів охорони (група *c*).

Процедура оцінки полягає в наступному:

1. Експерт вибирає кілька ФС по групам *a*, *b*, *c* відповідно. Кожному ФС кожен експерт призначає визначену «вагу».

2. Кожному ФС експерти дають оцінку степені реального стану ФС ($d_n = 0,1,2,3$).
3. Визначається середнє значення показника реального стану кожного ФС d_i .

$$d_i = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n} \quad (1)$$

де d_i – показник реального стану i -го ФС, призначеного j -им експертом;
 n – число експертів.

Методи логіко-імовірнісного моделювання або логіко-імовірнісного аналізу [3, 4] застосовуються для дослідження надійності та живучості структурно-складних систем, в тому числі СФЗ. В ході застосування методу розробляється модель розвитку загрози об'єкту, що охороняється, у вигляді графа. Розрахунок степені ризику ведеться із застосуванням алгебри логіки і теорії ймовірності. Степінь ризику і визначає ефективність системи.

Ці методи давно застосовуються на практиці [1] для аналізу живучості складних систем. При розрахунку надійності досліджуються умови знаходження системи в працездатному стані, а при аналізі безпеки – умови потрапляння системи в небезпечний стан.

У цьому випадку метою дослідження є визначення степені ризику, що присутній в системі.

Процедура оцінки виглядає наступним чином:

1. Складається сценарій розвитку небезпеки, що представляє собою логіко-ймовірнісну модель функціонування СФЗ. Сценарій представляється у вигляді графа («дерева») і містить події трьох видів: ініційовані, проміжні і кінцевий стан. Ініційовані події описують дії порушника на систему (порушення периметра об'єкту охорони, імітація процедури ідентифікації та ін.). Проміжні події виходять шляхом логічної комбінації двох або більше подій (логічне І, АБО та інше). Кінцева подія описує визначений небезпечний стан системи.
2. Складається функція небезпеки системи $y(z_1, \dots, z_n)$. Аргументами цієї функції є ініційовані події, а значенням – кінцева (небезпечна) подія.
3. Функція небезпеки системи замінюється ймовірнісною функцією $P\{y(z_1, \dots, z_n)\}$ наступним чином:
 - z_i замінюється на $P\{z_i = 1\} = R_i$ (ймовірність того, що i -а ініційована подія станеться);
 - z_i' замінюється на $P\{z_i' = 1\} = Q_i = 1 - R_i$ (ймовірність того, що i -а ініційована подія не станеться).
4. Відшукується значення ймовірнісної функції в припущенні реалізації небезпечної події

$$Y(y) = P\{y(z_1, \dots, z_n) = 1\}. \quad (2)$$

Ця функція і визначає степінь ризику, присутнього в системі.

Недоліком цього методу є значний обсяг трудомістких логічних перетворень при аналізі складних сценаріїв.

Задача методу аналізу ієрархій, розроблена Т. Сааті [5], полягає в знаходженні вектора вагових коефіцієнтів

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) \quad (3)$$

за відомою матрицею попарних порівнянь S .

Згідно методу аналізу ієрархій по трикутній матриці S будується наступна повнозаповнена матриця \bar{S} :

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \dots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} & \dots & \alpha_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \alpha_{m3} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де елементи нижньої трикутної частини α_{ij} ($i > j$) матриці задовольняють співвідношенням

$$\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji} \quad (5)$$

Легко довести, що шуканий вектор

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$$

є власним вектором матриці \bar{S} , відповідним максимальному власному числу матриці $\lambda = m$ і може бути знайдений як розв'язок системи рівнянь:

$$\bar{S}\alpha = \lambda_{\max}\alpha \quad (6)$$

Існує єдине розв'язання даної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що задовольняє умові

$$\sum_{i=1}^m \alpha = 1. \quad (7)$$

Якщо матриця системи (6) задана неточно, то пропонується чисельно визначити її максимальне власне число і відповідний власний вектор.

У методі аналізу ієрархій передбачається, що приватні критерії f_i не обов'язково є числовими функціями і можуть мати якісний неформальний характер. В цьому випадку для кожного критерію f_i ставиться задача ранжирування об'єктів $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ з побудовою на основі діалогу з користувачем відповідної матриці попарних порівнянь і визначенням вектора ваг

$$\alpha' = (\alpha'_1, \dots, \alpha'_n). \quad (8)$$

Отримані числа α'_j інтерпретуються як значення $f_i(x_j)$, $j = \overline{1, n}$. Таким чином, кожна альтернатива отримує вже числову оцінку по кожному з приватних критеріїв.

Далі здійснюється аналогічна операція по ранжируванню самих приватних критеріїв за важливістю з побудовою вектора ваг

$$\beta = (\beta_1, \dots, \beta_m).$$

В якості оптимальної альтернативи (їх може бути декілька) вибираємо

$$x^* = \arg \max_i J(x_i), \quad (9)$$

де

$$J(x_i) = \sum_{k=1}^m \beta_k f_k(x_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad f_k(x_i) = \alpha_i^k. \quad (10)$$

У методі ймовірнісно-часового аналізу [1, 2] для розрахунку ефективності використовують ймовірнісні і часові характеристики процесу проникнення. В основу закладено принцип своєчасного виявлення, згідно з яким ефективність СФЗ визначає сумарна ймовірність виявлення порушника в той момент, коли у сил охорони ще достатньо часу для перехоплення порушника на шляху останнього до мети. Цю ймовірність називають ймовірністю перехоплення.

Ймовірнісно-часовий аналіз є в даний час найбільш використовуваним для оцінки СФЗ [5]. Принципи такого підходу були закладені в кінці 70-х років минулого століття в США для захисту об'єктів департаменту енергетики, а також інших державних об'єктів.

Ефективність фізичного захисту тут розглядається як ймовірнісна величина, ймовірність того, що сили охорони, що діють за сигналами технічних засобів, встигають припинити акцію порушника.

Використовуючи математичну модель проникнення порушника можна побудувати модель на основі нечіткої логіки.

Для побудови даної моделі нечіткої множини може бути застосований алгоритм Сугено [6]. В даному алгоритмі спосіб обчислення вихідних змінних наступний:

$$\left\{ \begin{array}{l} L^1: \text{якщо } x_1 = A_1^{(1)} I \dots I x_n = A_n^{(1)}, \text{ то} \\ \quad u_1^{(1)} = c_{01}^{(1)} + c_{11}^{(1)} \cdot x_1 + \dots + c_{n1}^{(1)} \cdot x_n \\ \dots \\ \quad u_m^{(1)} = c_{0m}^{(1)} + c_{1m}^{(1)} \cdot x_1 + \dots + c_{nm}^{(1)} \cdot x_n \\ \dots \\ L^N: \text{якщо } x_1 = A_1^{(N)} I \dots I x_n = A_n^{(N)}, \text{ то} \\ \quad u_1^{(N)} = c_{01}^{(N)} + c_{11}^{(N)} \cdot x_1 + \dots + c_{n1}^{(N)} \cdot x_n \\ \dots \\ \quad u_m^{(N)} = c_{0m}^{(N)} + c_{1m}^{(N)} \cdot x_1 + \dots + c_{nm}^{(N)} \cdot x_n \end{array} \right. \quad (11)$$

де $A_j^{(p)}$, ($j = 1, 2, \dots, n$; $p = 0, 1, 2, \dots, N$) – значення лінгвістичних змінних x_1, x_2, \dots, x_n ;
 N – число цих значень (нечітких множин);
 $c_{kj}^{(p)}$ – фіксовані числові коефіцієнти ($k = 0, 1, 2, \dots, n$);
 $u_i^{(p)}$ – складова i -го вихідного сигналу u_i , що відповідає правилу L^p .
 Результуюче значення i -го виходу сигналу u_i^* знаходиться як зважене середнє від зазначених чисел $u_i^{(p)}$:

$$u_i^* = \frac{\sum_{p=1}^N W^{(p)} \cdot u_i^{(p)}}{\sum_{p=1}^N W^{(p)}}, (i = 1, 2, \dots, m), \quad (12)$$

де $W^{(p)}$ – вага значення лінгвістичних змінних x_1, x_2, \dots, x_n .

$$W^{(p)} = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{(p)}}(x_i) \quad (13)$$

Вага є Т-нормою для перетину нечітких множин $A_j^{(p)}$, ($j = 1, 2, \dots, n$), обчисленої для конкретних значень x_1, x_2, \dots, x_n .

Нечіткий регулятор Такагі-Сугено є компактною системою управління, яка описує механізм логічного висновку з меншими обчислювальними витратами (близько 50-100 разів швидше, ніж існуючі алгоритми) на реалізацію самого алгоритму логічного висновку [6].

Оцінка уразливості є задачею ймовірнісного аналізу і може бути розв'язана відомими способами [6]. Розглянемо це за допомогою відомих *комп'ютерних моделей*.

EASI (Estimate of Adversary Sequence Interruption) є найстарішим програмним продуктом, який застосовується для цих цілей. Це простий і зручний у використанні метод оцінки ефективності СФЗ на заданому маршруті при певних загрозах і станах системи фізичного захисту. Дана модель розраховує ймовірність переривання на підставі аналізу взаємодії виявлення, затримки, передачі інформації і реагування.

У моделі використовуються значення параметрів виявлення, затримки, розгортання сил відповідного реагування і встановлення зв'язку, за допомогою яких розраховується результат – ймовірність перехоплення (переривання послідовності дій) на даному маршруті.

Вихідні дані моделі EASI:

- значення P_i для кожного датчика на маршруті;
- ймовірності встановлення аварійного зв'язку з охороною;
- значення часу затримки для кожного T_i і середньоквадратичне відхилення для кожного з цих значень;
- значення часу розгортання сил реагування T_g і середньоквадратичне відхилення для цього значення.

Значення ймовірності перехоплення або ймовірності переривання послідовності дій порушників до вчинення ними несанкціонованих дій є результатами розрахунку по заданим вихідним даним.

Інший інструмент – розрахунок часу затримки, а потім виставлення ймовірностей.

Модель EASI може використовуватися для аналізу уразливості об'єкта, але вона не дозволяє аналізувати ймовірність нейтралізації порушників.

При прийнятті технічних рішень, що впливають на функціонування СФЗ, необхідно враховувати невизначеність, найважливішу характеристику зовнішнього середовища, тобто неповноту, відсутність, недостатність інформації про порушника, явище, процес, або ж невпевненість у достовірності інформації. У сфері забезпечення безпеки є множина джерел виникнення невизначеності для систем самого різного рівня складності і масштабів.

Невизначеність зумовлює появу ситуацій, які не мають однозначного результату (рішення). Серед них особливе місце займають ситуації ризику, яким супроводжують необхідність вибору альтернативи і можливість оцінити ймовірність здійснення обраних альтернатив.

Існують різні види невизначеності:

- кількісна, обумовлена значним числом об'єктів або елементів в ситуації;

- інформаційна, викликана браком інформації або її неточністю з технічних, соціальних та інших причин;
- вартісна – через занадто дорогої або недоступної плати за визначеність;
- професійна – як наслідок недостатнього професіоналізму персоналу (не враховується, наприклад, необхідна кількість факторів, що впливають);
- обмежувальна, яка викликана обмеженнями в ситуації ухвалення рішень, наприклад обмеження по часу та інше.

Для аналізу всіх можливих маршрутів порушників і визначення найбільш вразливих маршрутів потрібні складніші моделі і програми.

Комп'ютерна модель SAVI (System Analysis of Vulnerability to Intrusion), що дозволяє визначити найбільш уразливий маршрут на діаграмі послідовності дій (ДПД) порушників. Аналіз за допомогою цієї моделі починається з ідентифікації цілі порушників і побудови відповідної логічної ДПД з урахуванням індивідуальних характеристик об'єкта. Необхідно визначити значення часу розгортання сил охорони, значення ймовірності виявлення і час затримки для кожного елемента захисту зазначеної на схемі послідовності дії порушників. Вся ця інформація використовується в якості вихідних даних для роботи програми [6].

Програма розраховує 10 найбільш вразливих маршрутів в порядку, відповідному степені їх вразливості. Результати можуть бути також представлені у вигляді графіків і карти маршрутів.

Алгоритм обчислення ймовірності перехоплення, застосований в моделі SAVI, реалізується при двох досить консервативних припущеннях:

- порушникам відомі характеристики системи захисту;
- порушники використовують оптимальні стратегії проникнення.

Усвідомлений вибір рішення по затримці і нейтралізації порушників повинен проводитися на основі порівняння результатів оцінки альтернатив. Тому ставиться задача отримати для кожної альтернативи значення результатів, що характеризують інтенсивність істотних властивостей результатів операції, запланованої до проведення в заданих умовах.

Етапами оцінки вразливості в програмі SAVI є:

- ідентифікація цілей порушників;
- побудова ДПД з урахуванням характеристик об'єкта;
- визначення значень часу затримки і ймовірності виявлення;
- визначення характеру загрози і рівня оснащення порушників;
- опис методів проникнення, які використовуються порушниками;
- визначення стратегії сил реагування;
- визначення часу, необхідного силам реагування для припинення дій порушників;
- аналіз (запуск програми SAVI);
- багаторазове виконання процедури аналізу чутливості системи захисту до зміни параметрів або удосконаленням системи фізичного захисту.

Результати можуть бути представлені у вигляді схем чутливості – найгірше значення сумарної ймовірності виявлення P_i в залежності від часу, необхідного силам реагування T_g , а також схем уразливості – P_i і час, що залишився після переривання для найбільш вразливих маршрутів при заданому значенні T_g .

SAVI також дає можливість отримати текстовий файл в pdf-форматі для подальшої оцінки та аналізу СФЗ. Він включає схеми уразливості і чутливості, діагностичні дані щодо вразливості обраного маршруту, опис обраного маршруту від границь об'єкта до мети і назад (якщо вказана стратегія затримки порушника). Для кожної точки маршруту вказуються методи виявлення і способи їх подолання (вказуються потенційно ефективні, але невикористані кошти виявлення).

ASSESS (Analytic System and Software for Evaluating Safeguards and Security) є найбільш потужною комп'ютерною програмою, яка дозволяє проводити глобальний аналіз системи фізичного захисту об'єкта. ASSESS – це аналітична система і програмне забезпечення для оцінки ефективності систем захисту і забезпечення безпеки, що дозволяє розглядати зовнішніх і внутрішніх порушників і моделювати загрозу від їх змови. Модуль, який аналізує загрозу з боку зовнішніх порушників, розроблений в рамках методики SAVI. Модуль ET дозволяє знаходити найбільш уразливий сценарій для внутрішнього порушника. Модуль BATLE розроблений для оцінки результату перехоплення і сутички сил реагування та порушників.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Як основний недолік, властивого в більшій чи меншій мірі усіх розглянутих вище методів, можна відзначити недостатню степінь обліку ймовірнісних характеристик порушника і системи безпеки. У тому числі це стосується недостатньою

мірою обліку: випадкового вибору маршруту порушником, ймовірного характеру виявлення несанкціонованих дій, параметрів об'єкта і засобів виявлення, характеристик порушника тощо.

Задача оцінки ефективності СФЗ характеризується, перш за все, високим ступенем апріорної невизначеності характеристик і параметрів:

- моделі порушника (рівень кваліфікації, степінь підготовленості, кількість порушників, наявність апріорної інформації про об'єкт і СФЗ і степінь її повноти та інше);
- тактики дій порушника (обраний маршрут пересування, параметри руху, способи і тривалості подолання перешкод, способи та ймовірність подолання засобів виявлення без тривоги, можливість просування до різних цілей тощо).

Все це призводить до ймовірного характеру ряду властивостей і параметрів самої СФЗ. В першу чергу, тих, які визначають її результативну ефективність.

У зв'язку з високим ступенем невизначеності даних про модель порушника, застосування детерміністичних методів представляється малоєфективним. На процес проникнення порушника впливає велика кількість параметрів, тому вибір маршруту, час подолання перешкод, вибір методів і засобів подолання і виявлення є випадковими величинами. Таким чином, їх потрібно врахувати ймовірнісними характеристиками. Тому краще за все використання ймовірного методу. При цьому для впровадження СФЗ необхідно виконати наступне.

1. Вибрати математичний апарат обліку випадкового вибору маршруту порушником.
2. Врахувати загальні ймовірнісні характеристики, зокрема ймовірності реалізації тієї чи іншої загрози, того чи іншого способу реалізації кожної загрози, нанесення істотного або неприйняттого збитку тощо.
3. Врахувати ймовірнісні характеристики моделі порушника і тактики його дій.
4. Врахувати ймовірнісний характер часу реагування служби безпеки на виявлене порушення.
5. Прийняти до уваги залежність згаданих ймовірнісних параметрів і характеристик від параметрів і характеристик об'єкта і СФЗ.

При цьому необхідно брати до уваги не тільки найпростіші ймовірнісні характеристики, але і більш «тонкі», наприклад, такі як функції розподілу і щільності розподілу ймовірностей тих чи інших параметрів та їх моменти. А також взаємні залежності перерахованих вище характеристик друг від друга.

Найбільшою мірою сформульованим вимогам задовольняє ймовірнісно-часовий метод, який і може бути взятий за основу для опрацювання та реалізації сформульованих вимог і переліку ймовірнісних характеристик і параметрів.

Список бібліографічного опису

1. Панин О. Проблемы оценки эффективности функционирования систем физической защиты объектов. БДИ. 2007. № 72. С. 22-27.
2. Довідник рятувальника: Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи з ліквідації наслідків радіаційних аварій. К.: УкрНДЦЗ, 2013. 186 с.
3. ДСТУ 3396.2-97. Захист інформації. Технічний захист інформації. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1998 р. К., 1997. 11 с.
4. Волхонский В.В., Крупнов А.Г. Особенности разработки структуры средств обнаружения угроз охраняемому объекту. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 4(74). С. 131-136.
5. Саати Т. Метод принятия решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
6. Чернолучский И.Г. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.

References

1. Panin O. Problems of evaluation of efficiency of functioning of systems of physical protection of objects. BDI. 2007. № 72. Pp. 22–27.
2. Rescuer Handbook: Rescue and other urgent work to eliminate the consequences of radiation accidents. K.: UkrNDICZ, 2013. 186 p.
3. DSTU 3396.2-97. Information protection. Technical protection of information. Terms and definitions. Effective from 01.01.1998, K., 1997. 11 p.
4. Volkhonsky V.V., Krupnov A.G. Features of the development of the structure of tools for detecting threats to a protected object. Scientific and technical bulletin of the St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2011. No. 4 (74). Pp. 131-136.
5. Saati T. Method of decision making. Method for analyzing hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. 278 p.
6. Chernorutskiy I.G. Decision making methods. SPb.: BHV-Petersburg, 2005. 416 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-03>

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

Козубцова Леся Михайлівна, к.т.н.

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

Рудоміно-Дусятська Ірина Анатоліївна, к.фіз.-мат.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-3006-3320>

Сновида Вікторія Євгенівна

<https://orcid.org/0000-0002-5539-2588>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут

ОБЧИСЛЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ І КІБЕРБЕЗПЕКИ

Козубцова Л.М., Рудоміно-Дусятська І.А., Сновида В.Є. Обчислення показників ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки. У статті подано часткове рішення науково-технічної проблеми з розроблення методики оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки. Часткове рішення полягає у виборі підходів, показників, критеріїв оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки. Наукова новизна одержаного результату полягає в тому, що вперше комплексно і систематично проаналізовано підходи до вибору критеріїв оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки, які забезпечують цілісну картину. Практичне значення роботи полягає в подальшій можливості, на основі обраних показників, критеріїв розробити методику оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки.

Ключові слова: кіберзахищеність, кібербезпека, підходи, показники, критерії, оцінювання, ефективність, функціонування, система захисту інформації і кібербезпеки.

Козубцова Л.М. Рудоміно-Дусятская И.А., Сновида В.Е. Вычисление характеристик эффективности функционирования системы защиты информации и кибербезопасности. В статье представлено частичное решение научно-технической проблемы по разработке методики оценки эффективности функционирования системы защиты информации и кибербезопасности. Частичное решение состоит в выборе подходов, характеристик, критериев оценки эффективности функционирования системы защиты информации и кибербезопасности. Научная новизна полученного результата состоит в том, что впервые комплексно и систематически проанализированы подходы к выбору критериев оценки эффективности функционирования системы защиты информации и кибербезопасности, обеспечивающей целостную картину. Практическое значение работы состоит в дальнейшем возможности на основе выбранных показателей, критериев разработать методику оценки эффективности функционирования системы защиты информации и кибербезопасности.

Ключевые слова: кибербезопасность, кибербезопасность, подходы, показатели, критерии, оценка, эффективность, функционирование, система защиты информации и кибербезопасности.

Kozubtsova L.M. Rudomino-Dusyatska I.A., Snovida V.E. Calculation of performance indicators of the information protection and cybersecurity system. The article presents a partial solution to the scientific and technical problem of developing a methodology for evaluating the effectiveness of the information security and cybersecurity system. A partial solution consists in choosing approaches, characteristics, criteria for evaluating the effectiveness of the information security and cybersecurity system. The scientific novelty of the obtained result consists in the fact that for the first time approaches to the selection of criteria for evaluating the effectiveness of the information security and cybersecurity system that provides a holistic picture have been comprehensively and systematically analyzed. The practical significance of the work consists in the further possibility, based on the selected indicators, criteria, to develop a methodology for evaluating the effectiveness of the information security and cybersecurity system.

Key words: cybersecurity, cybersecurity, approaches, indicators, criteria, evaluation, efficiency, functioning, information protection system and cybersecurity.

Постановка завдання і зв'язок її з важливими науковими завданнями. Згідно Закону України "Про основні засади забезпечення кібербезпеки України" [1]; Стратегії кібербезпеки України [2]; Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 10.07.17 "Про стан виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року" "Про загрози кібербезпеці держави та невідкладні заходи з їх нейтралізації" [3] кібербезпеку визначено як пріоритетний напрямком. Безумовно в Україні для реалізації вимог представлених в документах [1 – 4], як і усьому цивілізованому світі ведуться постійні роботи з удосконалення системи захисту інформації і кібербезпеки щодо забезпечення безперервності її функціонування.

Система захисту інформації і кібербезпеки (СЗІКБ) – це складний комплекс програмних, криптографічних, організаційних та інших засобів, методів і заходів призначених для захисту інформації та кібербезпеки. Слід визнавати що СЗІКБ є відносно новою системою. Тому доцільно вивчити питання ефективного її функціонування, а саме розробити математичний апарат її оцінки. Показники оцінки ефективності СЗІКБ носять ймовірнісний характер

Під «ефективністю системи захисту інформації і кібербезпеки» ($E_{СЗІКБ}$) будемо розуміти ступінь відповідності досягнутих результатів поставленим цілям щодо захисту інформації.

Оцінка ефективності може здійснюватися в процесі створення, приймання та експлуатації СЗІКБ. Ключовим поняттям є критерій оцінки – ознака, підстава прийняття рішення щодо оцінки ефективності на відповідність висунутим вимогам.

Для перевірки та оцінки функціональної спроможності СЗІКБ, за аналогією, як до будь-якої системи, необхідна методика такої оцінки, яка наразі відсутня. Виходячи з розглянутого та вище сказаного виникає наукове завдання з розроблення методики оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу останніх досліджень і публікацій за обраним напрямком досліджень можна зробити висновок, що поставлене завдання дослідження є новим.

У роботі [4] для оцінки ефективності системи захисту інформаційної системи, автор застосовував наступну розрахункову формулу (1):

$$E = \frac{E_f}{B}, \quad (1)$$

де E – під ефективністю розуміють ступінь досягнення мети цієї системою;

E_f – ефект, який досягається при впровадженні СЗІКБ;

B – витрати, сукупні витрати на придбання, установку і конфігурування, супровід і підтримку, а також витрати пов'язані з простоем устаткування вчасно технічне обслуговування або усунення несправностей.

Слід зазначити, що через специфіку функціонування СЗІКБ визначити прямий ефект від їх впровадження важко.

В роботах [5; 6] автори дотримуються єдиної думки та використовують математичну модель оцінювання ефективності функціонування системи за критерієм запобігання втрат. Витрати на забезпечення інформаційної безпеки слід вважати ефективними, якщо вони забезпечують виконання вимог нормативних документів і стандартів, прийнятих державою, а також концепції інформаційної безпеки організації.

Кінцевим результатом впровадження та проведення заходів щодо забезпечення інформаційної та кібербезпеки є значення попередження втрат (ПВ), яке розраховують за формулою (2):

$$ПВ = B_1 - B_2, \quad (2)$$

де B_1 – втрати від реалізації загроз до впровадження заходів, що підвищують рівень інформаційної або кібербезпеки.

B_2 – втрати від реалізації загроз після впровадження заходів, що підвищують рівень інформаційної або кібербезпеки СЗІКБ.

По суті, $ЗВ$ є різницею втрат до і після реалізації заходів, спрямованих на підвищення рівня інформаційної або кібербезпеки, і в цілому відображає ту частину прибутку, яка могла бути втрачена.

Застосування даного підходу ускладнено внаслідок відсутності підходів до розрахунку B_1 та B_2 . В зв'язку з цим актуалізується сформульована нова наукова задача.

Запропонована в роботі [7] методика вирішує лише питання оцінювання ефективності виконання заходів забезпечення кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури організацій.

Мета статті. Оскільки необхідність оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки виникла вперше, то необхідно обрати підходи, показники та критеріїв такого оцінювання.

Виклад основного матеріалу.

Оцінка ефективності – це процедура, спрямована на визначення якісних і кількісних показників ефективності, виявлення критичних елементів системи, а також визначення інтегрального показника ефективності системи в цілому.

Підходи до оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ.

Під «імовірнісним підходом до оцінки ефективності» розуміється використання критеріїв ефективності, отриманих за допомогою показників ефективності. Значення показників ефективності можна отримати шляхом моделювання або визначити за характеристиками реальної системи. Однак можливості імовірнісних методів ефективності стосовно СЗІКБ обмежені в силу ряду причин: високий ступінь невизначеності вихідних даних, складність формалізації процесів функціонування, відсутність загальноновизнаних методик розрахунку показників ефективності і вибору критеріїв оптимальності.

Показник ефективності – це величина, що характеризує ступінь досягнення системою будь-якого з поставлених перед нею завдань.

Вимоги до показника ефективності: мати певний фізичний зміст; бути придатним для кількісного аналізу; мати просту і зручну форму; відображати одну із значущих сторін функціонування системи; забезпечувати необхідну чутливість. Поодинокі (часткові) показники ефективності, відображають якусь із значущих сторін функціонування системи (ймовірність виявлення порушника або ймовірність його нейтралізації силами охорони і т.п.).

Відповідно до цього означення запропонуємо наступні часткові показники ефективності, як числові величини, що характеризуватимуть ступінь досягнення системою захисту інформації і кібербезпеки поставлених перед нею завдань:

кіберзахищеність ($P_{КЗ}$). Кіберзахищеність – здатність системи зв'язку виконувати завдання за призначенням в умовах програмно-математичних впливів противника, тобто ймовірність того, що ця система буде захищеною від кібернетичного втручання;

коефіцієнт укомплектованості засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту ($K_{УЗ}$);

коефіцієнт технічної готовності засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту ($K_{ТГЗ}$);

коефіцієнт укомплектованості справними засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту ($K_{УСЗ}$);

коефіцієнт укомплектованості штатних посад системними адміністраторами ($K_{СА}$);

коефіцієнт укомплектованості штатних посад обслуговуючим персоналом ($K_{ОП}$);

кіберзахищеність за результатами penetration testing ($P_{КЗ}^{PT}(S)$).

Під «засобом криптографічного захисту інформації» будемо розуміти програмний, апаратно-програмний та апаратний засіб, призначений для криптографічного захисту інформації.

Під «засобом технічного захисту інформації» будемо розуміти програмний, апаратно-програмний та апаратний засіб, призначений для технічного захисту інформації та має відповідний експертний висновок.

Під «засобом кібернетичного захисту інформації» будемо розуміти програмний, апаратно-програмний та апаратний засіб, призначений для кібернетичного захисту інформації.

Комплексні (узагальнені) показники ефективності являють собою комбінацію часткових показників. Оскільки конкретній вплив часткових показників у загальну ефективність ще не відомо, то пропонується узагальнений показник ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки обчислювати за формулою (3):

$$E_{СЗІКБ} = \frac{P_{КЗ} + K_{УЗ} + K_{УСЗ} + K_{СА} + K_{ОП} + P_{КЗ}^{PT}(S)}{N_P}, \quad (3)$$

де N_P – кількість задіяних в розрахунку часткових показників ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки.

Якщо за окремим показником не здійснювалось обчислення, то в розрахункову формулу (3) не підставляються відповідні значення і у висновках дається коротке і лаконічне обґрунтування чому саме не застосовувався окремий показник.

Критеріїв ефективності СЗІКБ може бути багато, проте вибір конкретних залежить від специфіки проведеної оцінки. Критерії оцінки ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки в інформаційно-телекомунікаційних системах Збройних Сил України за узагальненим показником подані в (табл. 1).

Таблиця 1. Критерії оцінки ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки за узагальненим показником

Критерій $E_{СЗІКБ}$	Рівень	Лінгвістичний опис	
$0 \leq E_{СЗІКБ} \leq 0,25$	незадовільний (НЗ)	незадовільний рівень ефективності. Система не працездатна, підлягає повному відновленню.	Можливий витік інформації
$0,25 < E_{СЗІКБ} \leq 0,5$	низький (Н)	низький рівень ефективності. Система підлягає відновленню	Створення умов для витоку інформації
$0,5 < E_{СЗІКБ} \leq 0,75$	середній (С)	середній рівень ефективності. Система правильно функціонує	Забезпечення гарантованого захисту інформації та кібербезпеки
$0,75 < E_{СЗІКБ} \leq 0,9$	високий (В)	в цілому високий рівень ефективності. Система працездатна	
$0,9 < E_{СЗІКБ} \leq 1$	найвищий (НВ)	найвищий рівень ефективності. Система справна	

Орієнтовний (критичний) вклад окремих (часткових) показників ефективності на узагальнений показник ефективності функціонування СЗІКБ подано в табл. 2.

Таблиця 2. Критерії оцінки окремих (часткових) показників ефективності на узагальнений показник ефективності функціонування СЗІКБ

Критерії оцінки ефективності	окремий (частковий) показник ефективності ($E_{ч(СЗІКБ)}$)				
	$0 \leq E_{ч(СЗІКБ)} \leq 0,25$	$0,25 < E_{ч(СЗІКБ)} \leq 0,5$	$0,5 < E_{ч(СЗІКБ)} \leq 0,75$	$0,75 < E_{ч(СЗІКБ)} \leq 0,9$	$0,9 < E_{ч(СЗІКБ)} \leq 1$
	незадовільний (НЗ)	низький (Н)	середній (С)	високий (В)	найвищий (НВ)
$0 \leq E_{СЗІКБ} \leq 0,25$	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
$0,25 < E_{СЗІКБ} \leq 0,5$	Н	Н	Н	Н	Н
$0,5 < E_{СЗІКБ} \leq 0,75$	С	С	С	С	С
$0,75 < E_{СЗІКБ} \leq 0,9$	С	С	С	В	В
$0,9 < E_{СЗІКБ} \leq 1$	В	В	В	В	НВ

Клітинки табл. 2, розташовані на перетині відповідних рядків і стовпців, вказують рівень спроможності обчисленого часткового показника щодо впливу на забезпеченні відповідної ефективності $E_{СЗІКБ}$.

Математичну модель оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ за показником кіберзахисності ($P_{КЗ}$) можна представити як наближене співвідношення (4):

$$E_{СЗІКБ} \approx P_{КЗ} \quad (4)$$

Повну викладку методики розрахунку кіберзахисності опускаємо, оскільки детально описано в роботі [8].

Критерії оцінки кіберзахисності, що забезпечує СЗІКБ за результатами внутрішнього (пасивного) аудиту подано в табл. 3.

Таблиця 3. Критерії оцінки кіберзахисності, що забезпечує СЗІКБ за результатами внутрішнього (пасивного) аудиту

$P_{КЗ}$	$P_{КЗ}^{PT}(S)$	Рівень	Рівень кіберзахисності
$0,9 < P_{КЗ} \leq 1$	$0,9 < P_{КЗ}^{PT}(S) \leq 1$	найвищий	Високий рівень кіберзахисності, ДІВ практично ніколи не буде проведено
$0,75 < P_{КЗ} \leq 0,9$	$0,75 < P_{КЗ}^{PT}(S) \leq 0,9$	високий	Середній рівень кіберзахисності, ймовірність проведення ДІВ досить низька
$0,5 < P_{КЗ} \leq 0,75$	$0,5 < P_{КЗ}^{PT}(S) \leq 0,75$	середній	Низький рівень кіберзахисності, ймовірність проведення ДІВ середня
$0,25 < P_{КЗ} \leq 0,5$	$0,25 < P_{КЗ}^{PT}(S) \leq 0,5$	низький	Дуже низький рівень кіберзахисності, ймовірність проведення ДІВ висока .
$0 \leq P_{КЗ} \leq 0,25$	$0 \leq P_{КЗ}^{PT}(S) \leq 0,25$	незадовільний	Не задовільний рівень кіберзахисності, ймовірність проведення ДІВ дуже висока

Наступним етапом розглянемо оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ за частковим показником (кіберзахисності) виявлених активних загроз за результатами penetration testing.

Даний підхід вбачає за мету контроль кіберзахисності засобів та їх компонентів ІТС станом на момент часу $t_{ДІВ}$ за умов дій тестових деструктивних інформаційних впливів (ДІВ), $F_{ДІВ} = 1$. Якщо в СЗІКБ є засоби (компоненти) активної протидії кібервпливам (ДІВ), то в такому випадку обчислення $P_{КЗ}(S)$ здійснюється з використанням показників вдалих і невдалих спроб порушення нормального функціонування зазначеного засобу. Розрахунок кіберзахисності $P_{КЗ}(S)$ системи S здійснюється за формулою (5):

$$P_{КЗ}^{PT}(S) = 1 - \frac{N_{ДІВ}^{Вдалих}(S)}{N_{ДІВ}^{Заг}(S)}, \quad (5)$$

де $N_{ДІВ}^{Заг}(S)$ – загальна кількість проведених ДІВ на всю систему S ;

$N_{ДІВ}^{Вдалих}(S)$ – кількість вдалих спроб реалізації ДІВ на всю систему S за результатами сповіщення системою фіксування інцидентів.

Висновок про стан кіберзахисності за результатами penetration testing робимо на основі отриманих даних та відповідності їх табл. 3.

Оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ за частковим показником укомплектованості засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту наступним чином. Для цього розрахуємо коефіцієнт укомплектованості засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту за формулою (6):

$$K_{УЗ} = \frac{\Phi_3}{Ш_3}, \quad (6)$$

де $K_{УЗ}$ – коефіцієнт укомплектованості засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

$Ш_3$ – штатна чисельність засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

Φ_3 – фактично наявна чисельність засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту.

Критерії оцінки спроможності укомплектованої засобами СЗІКБ можуть критично впливати на узагальнений показник ефективності функціонування СЗІКБ, який подано в табл. 2.

Для оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ за частковим показником технічної готовності засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту розрахуємо коефіцієнт технічної готовності засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту за формулою (7):

$$K_{ТЗ} = \frac{\Phi_{СЗ}}{\Phi_3}, \quad (7)$$

де $K_{ТЗ}$ – коефіцієнт технічної готовності засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

$\Phi_{СЗ}$ – кількість справних засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

Φ_3 – фактично наявна чисельність засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

Критерії оцінки спроможності технічної готовності засобами СЗІКБ можуть критично впливати на узагальнений показник ефективності функціонування СЗІКБ, який подано в табл. 2.

Оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ за частковим показником укомплектованості справними засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту здійсимо за допомогою коефіцієнта укомплектованості справними засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту, який розрахуємо за формулою (8):

$$K_{УСЗ} = K_{УЗ} \times K_{ТЗ} = \frac{\Phi_{СЗ}}{Ш_3}, \quad (8)$$

де $K_{УСЗ}$ – коефіцієнт укомплектованості справними засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

$K_{УЗ}$ – коефіцієнт укомплектованості засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

$K_{ТЗ}$ – коефіцієнт технічної готовності засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

$\Phi_{СЗ}$ – кількість справних засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту;

$Ш_3$ – штатна чисельність засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту.

Критерії оцінки спроможності укомплектованими справними засобами СЗІКБ можуть критично впливати на узагальнений показник ефективності функціонування СЗІКБ, який подано в табл. 2.

Розглянемо оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ за частковим показником укомплектованості штатних посад системними адміністраторами. Даний підхід вбачає за мету оцінити ефективність функціонування СЗІКБ за показником укомплектованості штатних посад системними адміністраторами та обслуговуючим персоналом та одержаним при цьому рівнем кіберзахисності. Для цього скористаємось наступною формулою (9):

$$K_{СА} = \frac{\Phi_{СА}}{Ш_{СА}}, \quad (9)$$

де $K_{СА}$ – коефіцієнт укомплектованості штатних посад системними адміністраторами СЗІКБ;

$Ш_{СА}$ – штатна чисельність посад системних адміністраторів СЗІКБ;

$\Phi_{СА}$ – фактично наявна чисельність системних адміністраторів СЗІКБ.

Критерії оцінки спроможності укомплектованості штатних посад системними адміністраторами СЗІКБ можуть критично впливати на узагальнений показник ефективності системи подано в табл. 2.

Оцінювання ефективності функціонування СЗІКБ за частковим показником укомплектованості штатних посад обслуговуючим персоналом розраховуємо допомогою коефіцієнта укомплектованості штатних посад обслуговуючим персоналом, а саме за формулою (10):

$$K_{ОП} = \frac{\Phi_{ОП}}{Ш_{ОП}}, \quad (10)$$

де $K_{ОП}$ – коефіцієнт укомплектованості штатних посад обслуговуючим персоналом СЗІКБ;

$Ш_{ОП}$ – штатна чисельність посад обслуговуючого персоналу СЗІКБ;

$\Phi_{ОП}$ – фактично наявна чисельність обслуговуючого персоналу СЗІКБ.

Критерії оцінки спроможності укомплектованості штатних посад обслуговуючим персоналом СЗІКБ критично впливати на узагальнений показник ефективності функціонування СЗІКБ подано в табл. 2.

Тоді узагальнений показник ефективності функціонування СЗІКБ обчислимо за формулою (3).

Приклад обчислення наведено на рис. 1

Дія	Ркз	Куз	Кгз	Кузс	Кса	Коп	Ркз(С)	Есзкб
Додавання (середнезнач)	0,522	0,900	0,778	0,700	0,667	0,750	0,997	0,759

Рис. 1. Фрагмент обчислення ефективності із застосуванням Microsoft Excel

Відповідно до значення $Е_{СЗІКБ}$, оцінювання ефективності здійснимо за критеріями наведених в табл. 1. Для значення $Е_{СЗІКБ}=0,759$ – в цілому високий рівень ефективності, система захисту інформації і кібербезпеки працездатна.

Висновки. На сучасному етапі науки вбачається раціональним застосовувати не всі, а найбільш показові підходи, показники та критерії, що дозволяють наочно продемонструвати та оцінити ефективність функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки.

Для оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки запропоновано застосовувати наступні показники: кіберзахищеність; коефіцієнт укомплектованості засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту; коефіцієнт технічної готовності засобів криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту; коефіцієнт укомплектованості справними засобами криптографічного захисту інформації, технічного захисту інформації та кібернетичного захисту; коефіцієнт укомплектованості штатних посад системними адміністраторами; коефіцієнт укомплектованості штатних посад обслуговуючим персоналом; кіберзахищеність за результатами penetration testing.

Наукова новизна одержаного результату полягає в тому, що вперше комплексно і систематично проаналізовано підходи до вибору показників та критеріїв оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Представлене дослідження не вичерпує всіх аспектів зазначеної проблеми. Теоретичні та практичні результати, що одержані в процесі наукового пошуку, становлять підґрунтя для подальшого обґрунтування методики оцінювання ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки.

Список бібліографічного опису

1. Закон України "Про основні засади забезпечення кібербезпеки України". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19> (дата звернення 28.05.21).
2. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 січня 2016 року "Про Стратегію кібербезпеки України", затверджена Указом Президента України від 15.03.16 №96/2016. URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/96/2016> (дата звернення 28.05.21).
3. Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 10.07.17 "Про стан виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року" "Про загрози кібербезпеці держави та невідкладні заходи з їх нейтралізації", введеного в дію Указом Президента України від 13.02.17 №254/2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0006525-17> (дата звернення 28.05.21).
4. Маслова Н.А. Методы оценки эффективности систем защиты информационны систем. *Искусственный интеллект*. 2008. № 4.С. 253 – 264.
5. Андреев К. Метод оценки экономической эффективности подразделения по защите информации. *Информационная безопасность*. 2010. № 5. URL: <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/metod-ocenki-ekonomicheskoi-effektivnosti-podrazdeleniya-po-zashite-informacii> (дата обращения 27.11.2021).
6. Ефимов Е.Н., Лапицкая Г.М. Оценка эффективности мероприятий информационной безопасности в условиях неопределенности. *Бизнес-информатика*. 2015. №1(31). С. 51 – 57.
7. Козубцова Л.М., Хлапонин Ю.І., Козубцов І.М. Методика оцінювання ефективності виконання заходів забезпечення кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури організацій. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2021. №2 (41). С. 17 – 22.
8. Козубцова Л.М. Удосконалена методика діагностування кібернетичної захищеності інформаційної системи з урахуванням деструктивних кібернетичних впливів. *Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво»*. Луцьк, 2020. Випуск № 39. С. 127 – 135. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-22>.

References

1. Law of Ukraine"on basic principles of ensuring cybersecurity of Ukraine". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19> (accessed 28.05.21).
2. On the decision of the national security and Defense Council of Ukraine of January 27, 2016 "on the cybersecurity strategy of Ukraine", approved by Presidential Decree No. 96/2016 of 15.03.16. URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/96/2016> (accessed 28.05.21).
3. Decision of the national security and Defense Council of Ukraine of 10.07.17 "on the status of implementation of the decision of the national security and Defense Council of Ukraine of December 29, 2016" "on threats to state cybersecurity and urgent measures to neutralize them", put into effect by Presidential Decree No. 254/2017 of 13.02.17. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0006525-17> (accessed 28.05.21).
4. Maslova N.A. Methods of evaluating the effectiveness of information systems protection systems. *Artificial Intelligence*. 2008. No. 4.Pp. 253-264.
5. Andreev K. Method of assessing the economic efficiency of the information protection unit. *Information security*. 2010. No. 5. URL: <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/metod-ocenki-ekonomicheskoi-effektivnosti-podrazdeleniya-po-zashite-informacii> (accessed 27.11.2021).
6. Efimov E.N., Lapitskaya G.M. Evaluation of the effectiveness of information security measures under uncertainty. *Business informatics*. 2015. No.1(31). Pp. 51 – 57.
- 7.Kozubtsova L.M., Khlaponin Yu.I., Kozubtsov I.M. Methodology for evaluating the effectiveness of measures to ensure cybersecurity of critical information infrastructure objects of organizations. *Modern information technologies in the field of security and defense*. 2021. №2 (41). Pp. 17 – 22.
- 8.Kozubtsova L.M. Improved methodology for diagnosing cybernetic security of an information system taking into account destructive cybernetic influences. *Scientific journal "Computer-Integrated Technologies: Education, Science, production"*. Lutsk, 2020. Issue # 39. Pp. 127-135. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-22>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-04>

УДК 602.1:519.85:53.082.9:616-07

¹Марценюк Василь Петрович, д.т.н., професор,<https://orcid.org/0000-0001-5622-1038>²Сверстюк Андрій Степанович, д.т.н., професор,<https://orcid.org/0000-0001-8644-0776>³Козодій Наталія Васиївна, аспірант,<https://orcid.org/0000-0002-9096-4393>¹Кареліна Олена Володимирівна, к. пед.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-5628-9048>¹Загородна Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент,<https://orcid.org/0000-0002-1808-835X>Університет Бельсько-Бяли, Польща¹Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна³

ОГЛЯД МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В ЕКОНОМІЦІ НА ОСНОВІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Козодій Н.В., Кареліна О.В., Загородна Н.В. **Огляд математичних моделей в економіці на основі диференціальних рівнянь.** У роботі розглянуто математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь, які використовуються в економіці, враховуючи такі важливі економічні фактори, як аналіз бізнес-циклів, темпи зростання економіки через заощадження, виробництво, приріст капіталу, зростання робочої сили, попит, пропозицію, заощадження та прибуток. Приклади застосування диференціальних рівнянь в економіці представлені у вигляді наступних математичних моделей: Харрода-Домара, економічного зростання Солоу, моделі поколінь, що перекриваються (модель Самуельсона-Даймонда), Рамсея-Касса-Купманса, економічного зростання Ромера, Калдора, Філіпса. За результатами аналітичного огляду математичних моделей встановлено, що модель Харрода-Домара використовується для аналізу бізнес-циклів, а також, як інструмент для пояснення темпів зростання економіки через заощадження та продуктивність капіталу. Модель Солоу враховує вплив таких факторів, як запас капіталу, зростання населення та технологічного прогресу, дію більшої кількості чинників, повніше відображає картину економічного зростання порівняно з моделлю Харрода-Домара. У моделі Фрідмана-Фелпса розглянуто питання споживання, яке пов'язане з одиницями праці в стані рівноваги при якому граничний обсяг виробництва на одного робітника повинен дорівнювати темпам зростання робочої сили при максимальному споживанні на одного індивідуума. У моделі Рамсі-Касса-Купманса враховано споживання у певний момент часу та пояснюється довгострокове економічне зростання, а не коливання бізнес-циклу, і не включає недосконалість ринку, неоднорідність серед домашніх господарств чи екзогенні критичні ситуації. За результатами аналізу моделі Ромера встановлено, що довготривале зростання капіталу залежить від екзогенних параметрів, включаючи темпи зростання населення. Дослідження зворотного зв'язку між інфляцією та безробіттям для досягнення економічної стабільності враховано в моделі Філіпса.

Ключові слова: математична модель, диференціальні рівняння, економічні процеси, економічне зростання, неокласичні моделі

Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Козодій Н.В., Кареліна О.В., Загородная Н.В. **Обзор математических моделей в экономике на основе дифференциальных уравнений.** В работе рассмотрены математические модели в виде дифференциальных уравнений, используемых в экономике, учитывая такие важные экономические факторы, как анализ бизнес-циклов, темпы роста экономики через сбережения, производство, прирост капитала, рост рабочей силы, спрос, предложение, сбережения и прибыль. Примеры применения дифференциальных уравнений в экономике представлены в виде следующих математических моделей: Харрода-Домара, экономического роста Солоу, модели перекрывающихся поколений (модель Самуэльсона-Даймонда), Рамсея-Касса-Купманса, экономического роста Ромера, Калдора, Филиппа. По результатам аналитического обзора математических моделей установлено, что модель Харрода-Домара используется для анализа бизнес-циклов, а также как инструмент для объяснения темпов роста экономики через сбережения и производительность капитала. Модель Солоу учитывает влияние таких факторов как запас капитала, рост населения и технологического прогресса, действие большего количества факторов, полнее отражает картину экономического роста по сравнению с моделью Харрода-Домара. В модели Фридмана-Фелпса рассмотрен вопрос потребления, связанный с единицами труда в состоянии равновесия при котором предельный объем производства на одного рабочего должен равняться темпам роста рабочей силы при максимальном потреблении на одного индивидуума. В модели Рамси-Касса-Купманса учтено потребление в определенный момент времени и объясняется долгосрочный экономический рост, а не колебания бизнес-цикла и не включает несовершенство рынка, неоднородность среди домашних хозяйств или экзогенные критические ситуации. По результатам анализа модели Ромера установлено, что продолжительный рост капитала зависит от экзогенных параметров, включая темпы роста населения. Исследование обратной связи между инфляцией и безработицей для достижения экономической стабильности учтено модели Филиппа.

Ключевые слова: математическая модель, дифференциальные уравнения, экономические процессы, экономический рост, неоклассические модели.

Martseniuk V.P., Sverstiuk A.S., Kozodii N.V., Karelina O.V., Zagorodna N.V. **Review of mathematical models in economics based on differential equations.** Mathematical models in the form of differential equations used in economics are considered, taking into account such important economic factors as business cycle analysis, economic growth through savings, production, capital growth, labor growth, demand, supply, savings and profits. Examples of the application of differential equations

in economics are presented in the form of the following mathematical models: Harrod-Domar, Solow economic growth, models of overlapping generations (Samuelson-Diamond model), Ramsey-Cass-Kupmans, economic growth of Romer, Kaldor, Phillips. According to the results of the analytical review of mathematical models, it was found that the Harrod-Domar model is used to analyze business cycles, as well as a tool to explain the growth rate of the economy through savings and productivity of capital. The Solow model takes into account the influence of factors such as capital stock, population growth and technological progress, the action of more factors, more fully reflects the picture of economic growth compared to the Domar-Harrod model. The Friedman-Phelps model addresses the issue of consumption, which is related to units of work in equilibrium in which the marginal volume of production per worker should be equal to the growth rate of labor at maximum consumption per individual. The Ramsey-Cass-Kupmans model takes into account consumption at a given point in time and explains long-term economic growth rather than fluctuations in the business cycle, and does not include market imperfections, household heterogeneity or exogenous critical situations. The analysis of Romer's model shows that long-term capital growth depends on exogenous parameters, including population growth. The study of the feedback between inflation and unemployment to achieve economic stability is taken into account in the Phillips model.

Keywords: mathematical model, differential equations, economic processes, economic growth, neoclassical models

Вступ. Протягом останніх років спостерігаємо ефективне застосування диференціальних рівнянь при моделюванні досліджуваних явищ та процесів у різних галузях науки таких як медицина, біологія, хімія, фізика, економіка. Диференціальні рівняння, як математичні моделі, широко використовуються у природничих та соціально-економічних наукових дослідженнях і є фундаментальними для розуміння складних кіберфізичних систем [1].

У зв'язку із стрімким розвитком інформаційних технологій теорія диференціальних рівнянь стала важливим інструментом економічного аналізу. Зокрема, математичні моделі економічних процесів у вигляді звичайних диференціальних рівнянь активно використовуються для моделювання економічного зростання, валового внутрішнього продукту, споживання, доходу та інвестицій. Для моделювання динаміки цін на активи та варіанти ціноутворення у фінансовій математиці незамінними є стохастичні диференціальні рівняння.

При моделюванні економічних процесів переважно використовуються звичайні диференціальні рівняння та різницеві рівняння. За результатами аналітичного огляду диференціальні рівняння із запізненням використовуються в економіці дуже рідко, в порівнянні із використанням їх для кіберфізичних систем медико-біологічних процесів.

Зважаючи на те, що економічні фактори та параметри вимірюються в дискретних одиницях часу, то різницеві рівняння є більш природним вибором моделювання економічних процесів, але вони можуть спричиняти значні ускладнення в їх асимптотичній поведінці, і тому їх складніше проаналізувати. Диференціальні рівняння можуть бути більш ефективними для аналізу асимптотичної стійкості. Диференціальні рівняння в частинних похідних, зазвичай другого порядку, для функцій принаймні двох змінних виникають у сучасній макроекономіці на основі розв'язку оптимізаційної задачі, сформульованої в стохастичних умовах з використанням теорії оптимального керування.

Постановка наукової проблеми. Зважаючи на велике різноманіття математичних моделей економічних процесів та усіх факторів, які враховують моделі економічних процесів на основі диференціальних рівнянь необхідно провести їх аналітичний огляд та порівняльний аналіз, для того, щоб виділити ті, які будуть більш ефективними для моделювання економічного зростання, валового внутрішнього продукту, споживання, доходу та інвестицій, і можуть використовуватися для реалізації з кіберфізичними системами.

Аналіз досліджень. Протягом ХХ століття спостерігаємо значні досягнення у розвитку економічних математичних моделей у вигляді диференціальних рівнянь. Серед них слід зазначити модель зростання Солоу, яка ґрунтується на роботах Харрода та Домара з неокласичної теорії зростання. В основі неокласичної теорії зростання покладено економічне зростання, яке зумовлено трьома ключовими елементами: праця, капітал і технології. Роботи Асемоглу [2] підтверджують важливість теми економічного зростання, а модель зростання Солоу є одією із базових в економіці через її простоту та важливість. Економічна модель Даймонда-Самуельсона на основі диференціального рівняння враховує такі важливі чинники, як попит та пропозицію. Класична теорія керування зворотним зв'язком вперше застосована у економічній моделі Філіпса з метою керування економічним розвитком. Інші роботи є диференціальними рівняннями із часовим запізненням для виробництва та накопиченню капіталу. Розглянемо основні економічні математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь.

1. Економічні математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь.

1.1. Модель Харрода-Домара.

У роботі [3] розглянуто модель Харрода-Домара для аналізу бізнес-циклів. Також її використовувували, як інструмент для пояснення темпів зростання економіки через заощадження та продуктивність капіталу.

Дана модель реалізує взаємозв'язок між ставкою інвестицій на рік та рівнем потоку доходів, які виражаються, через функцію капіталу Y ($K, Y = F(K)$), гранична продуктивність, $\frac{dY}{dK} = c$ (c – константа). Модель враховує зміну темпу зростання продуктивності

$$\frac{1}{Y} \frac{dY}{dt} = sc - \delta \quad (1)$$

$$Y(t) = Y_0 e^{(sc-\delta)t} \quad (2)$$

У формулах (1)-(2) s – норма заощаджень, а δ – норма амортизації капіталу.

Константа s зберігається для використання у складі капіталу; заощадження вважаються інвестиціями. Рівняння (1) передбачає, що зростання економіки визначається темпами, за допомогою яких здійснюються інвестиції, де наперед задано величину константи s , яка визначає частину інвестицій, що йде на зростання економіки. Рівняння показує, скільки інвестицій веде до зростання економіки.

Дана модель чітко демонструє, що збільшення інвестицій за рахунок заощаджень і продуктивності сприяє економічному зростанню, але не враховує витрати праці та чисельність населення, але один із найбільш суттєвих недоліків моделі полягає в тому, що вона не передбачає, що державні інвестиції можуть витіснити приватні [4]. Рівновага попиту та пропозиції в цій моделі зберігається у випадку рівності всіх трьох темпів зростання – гарантованого, природного та фактичного, що є нестійким станом, оскільки будь-яке відхилення інвестицій від значення виводить систему з рівноваги, а механізмів повернення в рівноважний стан не існує.

1.2. Модель економічного зростання Солоу

Основою даної економічної моделі є рівняння зростання, що включає виробництво, приріст капіталу та зростання робочої сили, відсутнє в моделі Харрода-Домара [5]. Модель Солоу вважають фундаментом для всіх сучасних моделей економічного зростання, яким вона дала необхідну математичну базу для аналізу темпів зміни капіталу.

Одним із недоліків моделі є екзогенний характер норми заощаджень, тобто модель не враховує оптимізаційну поведінку споживачів, тому називається неокласичною моделю економічного зростання. Також модель приводить до нереалістичної оцінки ставки відсотка в країнах, що розвиваються [6].

Зростання капіталу в економіці K , є еквівалентним до зростанню інвестицій I , які використовуються для збільшення капіталу, що підлягає амортизації.

$$I(t) = \frac{dK}{dt} + \delta K(t) \quad (3)$$

де δ – постійна норма амортизації капіталу.

Дана модель враховує вплив таких факторів, як запас капіталу, зростання населення та технологічного прогресу, дію більшої кількості чинників, повніше відображає картину економічного зростання порівняно з моделлю Харрода-Домара.

1.3. Модель поколінь, що перекриваються (модель Самуельсона-Даймонда).

У 1958 року майбутній лауреат Нобелівської премії з економіки Пол Самуельсон (англ. Paul Samuelson) на основі ідей Ойген фон Бем-Баверка про причини існування відсоткового доходу на капітал опублікував відносно просту модель економіки.

В економіці діють два типи індивідів: молоді та старі. Молоді працюють і отримують дохід від праці. Старі не працюють, вони витрачають свої заощадження. Модель призначалася для аналізу, скільки заощаджень виробляється економікою, як заощадження перетворюються на інвестиції.

У 1965 році Пітер Даймонд (Peter Diamond, також майбутній лауреат Нобелівської премії з економіки) об'єднав модель Самуельсона і модель економічного зростання Солоу з урахуванням доповнень моделі Рамсея.

Пол Самуельсон, який використовував прості диференціальні рівняння для дослідження стабільності рівноваги для кількох сценаріїв попиту-пропозиція. У першому ціна зростає (зменшується), якщо надлишковий попит є позитивним (негативним), тоді як у другому кількість зростає (зменшується), якщо надлишковий попит є позитивним (негативним). В моделі відображені зміни споживчої поведінки індивіда в етапах дорослішання. Але в міру дорослішання характер споживчої поведінки змінюється. Якщо у молодому віці індивід працює і робить заощадження, то в старості він ці заощадження витрачає [7].

Нехай $D(p, a)$ і $S(p)$ позначають функції попиту та пропозиції ціни p із сталою зсуву a .

При рівновазі ціна p^* і кількість q^* , відповідно

$$q^* = D(p^*, a) = S(p^*) \quad (4)$$

$$\frac{\partial D}{\partial a} > 0, \frac{\partial D}{\partial p} > 0 \quad (5)$$

Завдання наукових досліджень полягає у визначенні рівноважних значень ціни, кількості та їх чутливості за параметром зсуву a .

Так само, як і в моделях Солоу і Рамсея-Касса-Купманса, науково-технічний прогрес у моделі покоління, що перетинаються, не є наслідком прийняття рішень економічними агентами, а задається екзогенно. Тому, при усіх своїх перевагах, модель не дає відповіді на питання, чому одні країни багаті, а інші – бідні, і чому другі не можуть наздогнати перших.

1.4. Модель Фрідмана-Фелпса

Модель Фрідмана-Фелпса є неокласичною моделлю зростання, в якій розглянуто питання споживання, пов'язаної з одиницями праці в стані рівноваги за так званим «золотим правилом» [8]. При рівновазі з темпом зростання робочої сили n , є лише споживання на одиницю робочої сили

$$c(t) = f(k) - n(k) \quad (6)$$

Для максимального споживання на одиницю праці

$$\frac{dc}{dk} = \frac{\partial f}{\partial k} - n = 0 \quad (7)$$

Тому $\frac{\partial^2}{\partial k^2} < 0$ точка повороту є максимумом, заданим $\frac{\partial f}{\partial k} = n$

Згідно «золотому правилу» можна зробити висновок, що граничний обсяг виробництва на одного робітника повинен дорівнювати темпам зростання робочої сили при максимальному споживанні на душу населення.

1.5. Модель Рамсея-Касса-Купманса (РКК)

Модель Рамсея-Касса-Купманса, або модель РКК, є неокласичною моделлю економічного зростання, яка відрізняється від моделі Солоу тим, що враховує споживання у певний момент часу та таким чином ендогенізує норму економії [9].

$$\frac{\partial k}{\partial t} = f(k) - (\delta + n)k - c(t) \quad (8)$$

Стійкий стан досягається при $c(t) = f(k) - (\delta + n)k$

Існує друге рівняння моделі РКК, проблема соціального планувальника щодо максимізації функції соціального добробуту, вираженої інтегралом

$$\int_0^{\infty} e^{-pt} L(t) u(c(t)) dt = \int_0^{\infty} e^{(n-p)t} u(c(t)) dt \quad (9)$$

де $p > 0$ – ставка дисконтування, а $u(c(t))$ являє собою строго зростаючу увігнуту функцію корисності споживання.

Модель Рамсея-Касса-Купманса спрямована лише на пояснення довгострокового економічного зростання, а не коливаний бізнес-циклу, і не включає жодних джерел порушень, таких як недосконалість ринку, неоднорідність серед домашніх господарств чи екзогенні шоки.

1.6. Модель економічного зростання Ромера

Зростання капіталу в моделі Солоу є екзогенним, стаціонарний стан залежить від екзогенних параметрів g , які зумовлені зовнішніми тенденціями. У разі відсутності $A(t)L(t)$ зростання неможливо зберегти. Граничний продукт капіталу

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = \alpha \beta A(t)^{1-\beta} \left(\frac{L}{K}\right)^{1-\beta} = \frac{\alpha \beta A(t)^{1-\beta}}{\left(\frac{K}{L}\right)^{1-\beta}} \quad (10)$$

У країнах з меншим капіталом на працю граничний продукт капіталу має бути вищим, хоча така умова не виконується. Невідповідність може бути пов'язана з різними значеннями g і $A(t)$, які розглядаються як екзогенно заданий параметр у моделі Солоу. Тому в роботі Ромера [10] запропоновано математичну теорію ендогенного росту на основі трьох припущень. Виробнича функція, $Y = F(K, A, L)$ пропонує збільшення віддачі від масштабу, тобто $F(\lambda K, \lambda A, \lambda L) > \lambda F(K, A, L)$

Передбачувані масштабні ефекти теорії зростання Ромера не узгоджуються з доказами часових рядів індустріально розвиненими економіками і довгострокове зростання залежить від екзогенних параметрів, включаючи темпи зростання населення [11].

1.7. Модель Калдора

Представлено модель торгового циклу, що включає нелінійні функції інвестування та заощаджень, які змінюються з часом у відповідь на накопичення або декумуляцію капіталу, так що система знову переходить від стійкої рівноваги до нестійкої рівноваги з поверненням до стійкого стану [12]. У моделі Калдора: інвестиції I та заощадження S є нелінійними щодо рівня активності X , що вимірюється з точки зору зайнятості.

Калдор використовував систему диференціальних рівнянь із загальними нелінійними формами. Чисті інвестиції I та заощадження S є функціями національного доходу Y та капіталу K

$$I = I(Y, K), \quad (11)$$

$$S = S(Y, K), \quad (12)$$

$$\frac{\partial I}{\partial Y} > 0, \frac{\partial I}{\partial K} < 0, \frac{\partial S}{\partial Y} > 0, \frac{\partial S}{\partial K} < 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial I}{\partial K} < \frac{\partial S}{\partial K} \quad (14)$$

Також зростання капіталу визначає інвестиції

$$\frac{\partial K}{\partial t} = I(Y, K) \quad (15)$$

1.8. Модель Філіпса

Модель Філіпса є першою спробою застосувати класичну теорію зворотного зв'язку для того, забезпечує математичну методологію виправлення відхилень керованих змінних від їх цільових значень. Дослідження зворотного зв'язку між інфляцією та безробіттям для досягнення економічної стабільності запропонував О. Філіпс [13].

$$\frac{dY}{dt} = a(D_a - Y) \quad (16)$$

У формулі (16) Y – національний дохід, а D_a – сукупний попит для деякого коефіцієнта коригування $a > 0$.

Подібне диференціальне рівняння справедливо і для фактичного D_g та цільового державного попиту D_g^* з $b > 0$, а саме

$$\frac{dD}{dt} = b(D_g^* - D_g) \quad (17)$$

З часом американські економісти П. Семюелсон та Р. Солоу перевірили правильність моделі (17), шляхом заміни росту номінальної зарплати на темп інфляції в цілому, враховуючи статистичні дані США та підтвердили її, назвавши кривою Філіпса, згідно якої з ростом безробіття інфляція буде зменшуватись, тобто існує зворотній зв'язок [14].

Висновки та перспективи подальших досліджень.

У роботі розглянуто математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь, які використовуються у економіці. Такі моделі дають змогу враховувати такі важливі економічні фактори, як аналіз бізнес-циклів, темпи зростання економіки через заощадження, виробництво, приріст капіталу, зростання робочої сили, попит, пропозицію, заощадження та прибуток.

Приклади застосування диференціальних рівнянь в економіці представлені у вигляді наступних математичних моделей: Харрода-Домара, економічного зростання Солоу, моделі поколінь, що перекриваються (модель Самуельсона-Даймонда), Рамсея-Касса-Купманса, економічного зростання Ромера, Калдора, Філіпса.

За результатами аналітичного огляду математичних моделей встановлено, що модель Харрода-Домара використовується для аналізу бізнес-циклів, а також, як інструмент для пояснення темпів зростання економіки через заощадження та продуктивність капіталу. Не зважаючи на фундаментальність моделі Солоу для всіх сучасних моделей економічного зростання, вона має недолік, оскільки не враховує оптимізаційну поведінку споживачів. Дана модель враховує вплив таких факторів, як запас капіталу, зростання населення та технологічного прогресу, дію більшої кількості чинників, повніше відображає картину економічного зростання порівняно з моделлю Домара-Харрода.

В моделях Солоу і Рамсея-Касса-Купманса, науково-технічний прогрес у моделі поколінь, що перетинаються, не є наслідком прийняття рішень економічними агентами, а задається екзогенно. Модель Фрідмана-Фелпса є неокласичною моделлю зростання, в якій розглянуто питання споживання, ке пов'язане з одиницями праці в стані рівноваги за так званим «золотим правилом», за яким можна зробити висновок, що граничний обсяг виробництва на одного робітника повинен дорівнювати темпам зростання робочої сили при максимальному споживанні на одного індивідуума.

Модель Рамсі-Касса-Купманса є неокласичною моделлю економічного зростання, яка відрізняється від моделі Солоу тим, що враховує споживання у певний момент часу та спрямована лише на пояснення довгострокового економічного зростання, а не коливань бізнес-циклу, і не включає недосконалість ринку, неоднорідність серед домашніх господарств чи екзогенні критичні ситуації. Передбачувані масштабні ефекти теорії зростання Ромера не узгоджуються з доказами часових рядів індустріально розвиненими економіками, при цьому довгострокове зростання залежить від екзогенних параметрів, включаючи темпи зростання населення. Представлено модель торгового циклу, що включає нелінійні функції інвестування та заощаджень, які змінюються з часом у відповідь на накопичення або декумуляцію капіталу, так що система знову переходить від стійкої рівноваги до нестійкої рівноваги з поверненням до стійкого стану. У моделі Філіпса застосовано теорію зворотного зв'язку для того, щоб забезпечити математичну методологію виправлення відхилень керованих змінних від їх цільових значень.

За результатами аналізу моделі Ромера встановлено, що довготривале зростання капіталу залежить від екзогенних параметрів, включаючи темпи зростання населення. Дослідження зворотного зв'язку між інфляцією та безробіттям для досягнення економічної стабільності враховано в моделі Філіпса.

У подальших дослідженнях необхідно запропонувати економічну математичну модель у вигляді диференціальних рівнянь із запізненням, яка б основні економічні фактори: аналіз бізнес-циклів, темпи зростання економіки, зростання робочої сили, попит, пропозицію, заощадження та прибутки.

References.

1. Martsenyuk V.P., Sverstiuk A.S., Klos-Witkowska A., Bagriy-Zayats O.A. Numerical Simulation of Cyber-physical Biosensor Systems on the Basis of Lattice Difference Eqations. *Advances in Cyber-physical Systems*. 2019. Vol. 4. No. 2. P. 55–70.
2. Acemoglu D. D. Economic Growth and Development in the Undergraduate Curriculum, *The Journal of Economic Education*, 2013;44:2:169-177, <https://doi.org/10.1080/00220485.2013.770344>.
3. Le Ngoc Thong, Nguyen Thi Hao, The Harrod – Domar Growth Model and its Implications for Economic Development in Vietnam, *International Journal of Humanities Social Sciences and Education (IJHSSE)* Volume 6, Issue 4, pp. 11-17, 2019.
4. George R. Zodrow, John W. Diamond, Chapter 11 - Dynamic Overlapping Generations Computable General Equilibrium Models and the Analysis of Tax Policy: The Diamond-Zodrow Model, Editor(s): Peter B. Dixon, Dale W. Jorgenson, *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, Elsevier, Volume 1, 2013, Pages 743-813, ISSN 2211-6885, ISBN 9780444595683, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59568-3.00011-0>.
5. Rodrigo Munguía, Jessica Davalos, Sarquis Urzua, Estimation of the Solow-Cobb-Douglas economic growth model with a Kalman filter: An observability-based approach, *Heliyon*, Volume 5, Issue 6, 2019.
6. Vadim Kufenko, Klaus Prettnner, Vincent Geloso, Divergence, convergence, and the history-augmented Solow model, *Structural Change and Economic Dynamics*, Volume 53, 2020, Pages 62-76, ISSN 0954-349X, <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.008>.
7. Xiaodong Cui, Ching-Ter Chang, How life expectancy affects welfare in a Diamond-type overlapping generations model, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 555, 2020, 124616, ISSN 03784371, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124616>.
8. Mihály Dombi, The golden rule of material stock accumulation, *Environmental Development*, 2021, 100638, ISSN 2211-4645, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100638>.
9. Yuhki Hosoya, Identification and testable implications of the Ramsey-Cass-Koopmans model, *Journal of Mathematical Economics*, Volume 50, 2014, Pages 63-68, ISSN 0304-4068, <https://doi.org/10.1016/j.jmateco.2013.12.001>.
10. Federico Etro, The Romer model with monopolistic competition and general technologies, *Economics Letters*, Volume 181, 2019, Pages 1-6, ISSN 0165-1765, <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.04.027>.
11. R. Zhao, Technology and economic growth: From Robert Solow to Paul Romer, *Hum Behav & Emerg Tech*. 2019; 1:62–65, <https://doi.org/10.1002/hbe2.116>.
12. Carballo, T., & Silva, A. Stability analysis of a delay differential Kaldor's model with government policies. *Mathematica Scandinavica*, 126 (1), 2020, Pages 117–141. <https://doi.org/10.7146/math.scand.a-116243>.
13. S.J. Turnovsky, Stabilization theory and policy: 50 years after the Phillips curve, *Economica*, 78, 2011, Pages 67–78.
14. Sayyed Abdolmajid Jalae, Mehrdad Lashkary, Amin GhasemiNejad, The Phillips curve in Iran: econometric versus artificial neural networks, *Heliyon*, Volume 5, Issue 8, 2019, e02344, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02344>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-05>

УДК 004.9:51-74

¹Падалко Анатолій Михайлович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент<https://orcid.org/0000-0001-8030-5493>²Падалко Ніна Йосипівна, кандидат педагогічних наук, доцент<https://orcid.org/0000-0003-3600-5711>²Падалко Катерина Анатоліївна, студентка¹Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна²Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна**ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ GRAN-2D В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ**

Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Використання автоматизованої системи GRAN-2D в освітньому процесі. У статті проаналізоване використання автоматизованої системи GRAN-2D в освітньому процесі. Підтверджена гіпотеза дослідження, що ефективність навчання зростає при дотриманні педагогічних та методичних умов використання GRAN-2D для активізації творчої діяльності учнів

Ключові слова: автоматизована система, математичне моделювання, освітній процес, GRAN-2D, гіпотеза

Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Использование автоматизированной системы GRAN-2D в образовании. В статье проанализировано использование автоматизированной системы GRAN-2D в процессе образования. Подтверждена гипотеза исследования - эффективность обучения растет при соблюдении педагогических и методических условий использования GRAN-2D для активизации творческой деятельности учащихся.

Ключевые слова: автоматизированная система, математическое моделирование, образовательный процесс, GRAN-2D, гипотеза.

Padalko A.M., Padalko N.Y., Padalko K.A. The use of the automated system GRAN-2D in education. The article analyzes the use of the automated system GRAN-2D in the education process. The hypothesis of the research was confirmed - the effectiveness of teaching grows if the pedagogical and methodological conditions for using GRAN-2D to enhance the creative activity of students are observed.

Key words: automated system, mathematical modeling, educational process, GRAN-2D, hypothesis.

Актуальність дослідження. Математика - універсальний засіб моделювання та дослідження навколишнього світу, надійне знаряддя розв'язування практичних задач. Тому вивчення математики, її застосувань є невід'ємною складовою формування світогляду людини та підготовка сучасного фахівця – кваліфікованого робітника, техника, інженера.

Алгебраїчний метод розв'язування геометричних задач дає можливість компактно сформулювати постановку задачі, змодельовати її, встановити існування розв'язків даної задачі, виявити їх кількість, а також особливості кожного розв'язку. Знайдені в результаті розв'язування рівняння формули дають змогу дослідити можливість виконання побудови циркулем і лінійкою.

Мета роботи – розробити та експериментально перевірити методику активізації розумової діяльності учнів при розв'язуванні задач з геометрії на прикладі алгебраїчного методу; розвинути творчу діяльність учнів при створенні малюнків до геометричних задач за допомогою автоматизованої системи GRAN-2D.

Для проведення ефективної роботи, спрямованої на досягнення даної мети збудований ряд завдань, а саме:

- провести аналіз використання автоматизованої системи GRAN-2D;
- розробити програму курсу за вибором на тему «Алгебраїчний метод розв'язування геометричних задач з використанням GRAN-2D» для учнів 10-11 класів з профільним та поглибленим вивченням математики;
- дослідити вплив розв'язання геометричних задач алгебраїчним методом з використанням автоматизованої системи GRAN-2D на покращення успішності учнів.;

Гіпотеза дослідження: ефективність навчання розв'язання задач з геометрії (алгебраїчним методом) зростає при дотриманні педагогічних та методичних умов використання автоматизованої системи GRAN-2D для активізації творчої діяльності учнів;

Об'єкт дослідження автоматизована система GRAN-2D.

Предметом дослідження активізація творчої діяльності учнів при використанні автоматизованої системи GRAN-2D.

Теоретична та практична цінність роботи полягає в тому, що отримані висновки та результати дослідження спрямують покращенню успішності учнів при розв'язуванні задач з геометрії; викорисня розробленої методики активізує творчу діяльність школярів.

Результати дослідження можуть використовуватись вчителями математики загальноосвітніх шкіл для факультативних занять.

Постановка проблеми В сучасних умовах певний обсяг математичних знань, добре володіння математичними методами і деяке знайомство з специфічною мовою математики стали обов'язковим елементом загальної культури.

Навички розумової діяльності, що їх одержують учні в процесі правильно організованого навчання математики, формування в процесі вивчення предмету готовності до наполегливої праці, до подолання труднощів, будуть необхідні їм в майбутньому, незалежно від того, яку професію обере кожен з них або почне набувати після закінчення середньої школи.

Визначаючи обсяг математичних знань, умінь і навичок, якими повинен володіти випускник середньої школи, необхідно враховувати не лише ті вимоги, які ставить теперішнє життя, а й вимоги, які будуть поставлені перед поколінням сучасних школярів в їх майбутній діяльності через два-три десятиріччя [1, с. 72].

Ці перспективні вимоги відображають те нове, що підготовлено для суспільства розвитком наукових знань та їх застосувань. Однак шкільний курс не може зазнавати безперервних швидких змін, здатних в достатній мірі враховувати все нові й нові вимоги. Кожне поновлення шкільного курсу математики вимагає всебічної підготовки.

Деякі дослідження психологів говорять про те, що найбільш ефективною є така методика вивчення нових математичних понять, коли вони вводяться в навчання досить рано і на більш високому, але доступному для учнів рівні узагальнень. Ця методика виправдала себе в проведених експериментах [2, с.7].

Сучасні науковці виділяють термін «нові інформаційні технології», «під яким розуміють впровадження нових підходів до навчально-виховного процесу, що орієнтований на розвиток інтелектуально творчого потенціалу людини з метою підвищення його ефективності, завдяки застосуванню сучасних технічних засобів. На сучасному етапі методи, способи і засоби безпосередньо взаємопов'язані з комп'ютером, тому їх іще називають комп'ютерні технології» [3 с. 159].

Ми притримаємось думки «ІКТ може визначити як сукупність різноманітних технологічних інструментів і ресурсів, які використовуються для забезпечення процесу комунікації та створення, поширення, збереження та управління інформацією» [4].

Використання інформаційних технологій у загальноосвітньому навчальному закладі є достатньо складною проблемою, що вимагає детального обґрунтування [5, с.22].

Отже, «використання ІКТ – це не вплив на мода, а необхідність, продиктована сьогодишнім рівнем розвитку освіти. Тому переваги використання ІКТ можна звести до двох груп: технічної і дидактичної».[6, с. 58]

Технічним перевагами є швидкість, оперативність, можливість перегляду і прослуховування фрагментів і інші мультимедійні функції [46, с.87].

Частіше комп'ютером користується лише вчитель, і то зазвичай лише на відкритих уроках, а хотілося б щоб і учні також могли ним користуватися на звичайних уроках [10, с. 348].

Заняття з використанням ІКТ, дають можливість ефективно використовувати диференційований підхід у навчальному процесі [10, с. 84].

У нашому дослідженні використаємо програмні засоби Gran,

Досить поширеним педагогічним програмним засобом, який застосовують вчителі математики на своїх уроках є комплект програм GRAN (GRAN1, GRAN-2D). Дані автоматизована система не є складними у використанні, мають зручний інтерфейс, що дає змогу вчителю використовувати його на уроках як у середній, так і у старій школі [11, с.17].

Програмно-методичний комплекс GRAN1 був створений авторським колективом під керівництвом академіка АПН України М.І. Жалдака [10, с.13].

Програма GRAN1 (GRaphic ANalysis) призначена для графічного аналізу функцій які можуть бути задані як у декартових так і у полярних координатах. Учні мають змогу, використовуючи дану програму, розв'язувати рівняння, нерівності та їх системи з однією чи двома змінними графічно, а також наближено визначати корені многочленів, а також досліджувати границі числових послідовностей, функцій та ін. [12, с.143]. Як бачимо така програма може застосовуватися при вивченні багатьох тем з математики та надає навчання дослідницького характеру. Проаналізувавши використання даного програмного засобу на уроках математики, ми виділили наступні переваги:

- індивідуалізація навчання;
- дослідницький характер навчання;

- унаочнення теоретичного матеріалу;
- економія часу [2, с.216].

На нашу думку використання вчителем на уроках математики програмно-методичного комплексу GRAN забезпечує набуття учнями глибоких та міцних знань, а також розвиває в учнів творчі та інтелектуальні здібності, вміння самостійно здобувати нові знання та працювати із різними видами інформації.

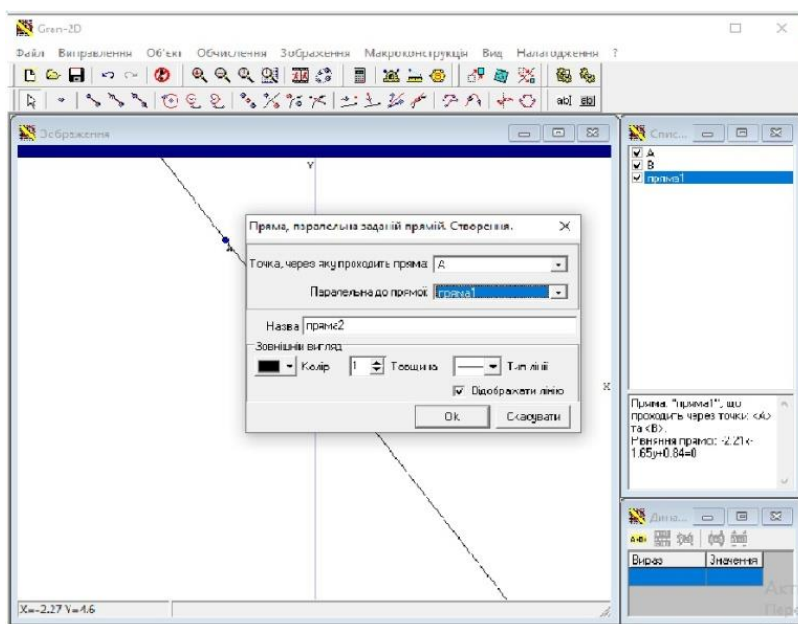
Автоматизована система GRAN-2D дозволяє оперувати у площині моделями геометричних об'єктів шести базових типів: Точка, Лінія, Ламана, Коло, Інтерполяційний поліном, Графік функції.

При створенні об'єктів усіх типів (крім типів Вільна точка та Графік функції) необхідно вказувати опорні об'єкти – тобто об'єкти, які визначають результуючий об'єкт.

Результуючий об'єкт буде автоматично розміщуватись відповідно до положення опорних об'єктів. Наприклад, при створенні об'єкта типу *Середня точка* необхідно вказати два опорні об'єкти типу *Точка*. Надалі при зміні положення будь-якої з опорних точок утворена точка типу *Середня точка* завжди залишатиметься точно посередині між вибраними опорними точками.

Наведемо приклад використання GRAN-2D, для створення об'єкта типу *Паралельна пряма*

Для цього призначено вкладку Об'єкт\Створити\Пряма, паралельна заданій прямій. Після звернення до вказаної вкладки з'явиться вікно Конструювання об'єкта (мал. 1). У полі Точка, через яку проходить пряма потрібно вказати назву точки, через яку повинна проходити створювана пряма, а у полі Паралельна до прямої – назву прямої, паралельною до якої повинна бути створювана пряма, та «натиснути» кнопку Застосувати. Надалі створена пряма буде розміщуватись паралельно до вказаної прямої.



Малюнок 1. Вкладка для створення *Паралельної прямої*

Завершальний етап розв'язання геометричних задач на побудову алгебраїчним методом становить побудова одержаної формули. Перейдемо тепер до інших етапів, а саме до: складання рівняння;

- 1) розв'язування його;
- 2) дослідження одержаної формули.

З цих трьох етапів — перший і *найважчий* це складання рівняння. Техніка розв'язування рівняння може не утруднити учнів, бо на час пророблення цих питань з курсу алгебри повинні мати цілком достатню підготовку для цього. Третій етап — дослідження одержаної формули — буває лише в *складніших* задачах. В деяких задачах одержана остаточною формула настільки проста, що її нема чого досліджувати і, отже, в таких задачах весь третій етап майже цілком випадає. Є й такі задачі, де дослідження буває нескладне.

Відзначимо, що при розв'язуванні геометричних задач на побудову іншими методами (не алгебричним) теж доводиться іноді частково користуватися рівняннями, наприклад, пропорціями, які виражають залежність між даними і шуканими частинами геометричних фігур [10, с.98].

Але сама побудова визначається міркуваннями геометричного характеру відносно взаємного положення цих частин. Для алгебричного методу характерно, що задача на побудову замінюється спочатку задачею на обчислення. Елемент побудови відкладається на кінець, тобто до геометричної побудови формули, яка визначає шуканий відрізок.

Спинимось докладніше на процесі складання рівняння за умовою геометричної задачі. Цей процес має багато спільного з процесом складання рівнянь за умовою не геометричної задачі.

Відомо, що процес складання рівняння розчленовується спочатку на окремі фази:

- 1) вибір невідомої величини задачі та її позначення будь-якою буквою (звичайно x);
- 2) позначення останніх невідомих з допомогою цієї букви і даних задачі;
- 3) встановлення залежності між даними і шуканими величинами з умов задачі та запис цієї залежності з допомогою знаків дій і знака різності та алгебричних символів (остаточне складання рівняння).

Ці фази мають місце і при розв'язуванні геометричної задачі, а саме:

- 1) вибір невідомого відрізка (або кута) і позначення величини його через x ;
- 2) визначення інших невідомих частин геометричної фігури через шуканий відрізок x і дані відрізки;
- 3) Встановлення зв'язку між даними і шуканими відрізками з умов задачі та на підставі відповідних геометричних теорем. і запис цього зв'язку з допомогою рівняння.

Щодо першої фази — вибору невідомого відрізка, — то у деяких простих задачах вибір відразу видно. В складніших задачах беремо за невідомий відрізок той, довжиною якого легше визначається шукана фігура.

Проте, вибір невідомої величини дуже впливає в деяких задачах на добірність розв'язку, на зручність дослідження остаточної формули і вимагає в таких задачах глибокого попереднього аналізу задачі.

Друга фаза — визначення інших невідомих геометричних величин — майже цілком аналогічна звичайній не геометричній задачі.

Третя фаза — встановлення зв'язку між даними і шуканими геометричними величинами задачі та складання остаточної рівняння — значно важча, ніж у звичайній не геометричній задачі [10, с.32].

Головна складність полягає в тому, що при складанні рівняння треба урахувати не лише дані умови задачі, а й відповідні геометричні теореми. Але щоб можна було застосувати відповідні геометричні теореми, треба в деяких задачах провести ту чи іншу допоміжну лінію, яка в умові задачі не фігурує. Для учнів часом буває, що головна трудність саме в цьому — в умінні вдало добирати потрібну допоміжну лінію.

Специфічна складність складання рівняння за умовою геометричної задачі на побудову полягає ще в тому, що умова задачі звичайно формулюється в загальних виразах, у формі незвичайній для учнів [11, с.8].

Справа не тільки в тому, що учні звикли бачити дані величини задачі у вигляді певних чисел, а не відрізків і кутів. Але самі відрізки (кути) звичайно даються в умові задачі на побудову не явно, а у специфічній стислій, лаконічній формі.

Наприклад, якщо в умові задачі вимагається «описати коло, що проходить через дві дані точки і дотикається даної прямої», то учень не знає спочатку, що власне йому дано в умові, які саме відрізки треба вважати даними. Тому, приступаючи до розв'язування геометричних задач на побудову, треба насамперед чітко розшифрувати учням умову задачі. Якщо в умові зазначається: «дано коло», «дано трикутник», «дано трапецію», «дано пряму і дві точки поза нею», то учням треба з'ясувати, що вважають цю фігуру нарисованою і, таким чином, вважають відомими всі її частини.

Наприклад, під словами «дано трикутник» треба розуміти даними не лише всі його сторони та кути, а й висоти, медіани, бісектриси, радіуси кіл описаного та вписаного.

Так само, під словами «дано трапецію» треба розуміти, що дано не лише всі сторони, кути та діагоналі, а й допоміжні трикутники, які утворюються при продовженні непаралельних сторін трапеції до їх взаємного перетину.

Під словами «дано пряму і дві точки поза нею» треба розуміти даними не лише віддалі цих точок від даної прямої, довжину відрізка, який сполучає ці дві точки, а й проекцію цього відрізка на дану пряму, віддалі цих точок від точки перетину з даною прямою, прямої, що сполучає ці дві точки.

Отже, якщо розшифрувати добре умову задачі, то виявиться, що є чимало даних.

Трудність при складанні рівняння за умовою такої задачі полягає тоді ще в тому, що відразу учневі нелегко зорієнтуватися, які саме дані відрізки слід використати. Наприклад, якщо в задачі: «Провести коло через дві дані точки, розміщені по одну сторону даної прямої, щоб воно дотикалося цієї прямої» використати відрізки, які вимірюють віддалі цих точок від даної прямої, віддалі між цими точками і спробувати складати рівняння, то шансів на успіх буде мало. Якщо догадатися взяти даними відрізки, які вимірюють відділі цих точок від точки перетину продовження прямої, що сполучає їх з даною прямою, то складання рівняння стає легким.

Доцільно перед розв'язуванням складних задач на побудову давати спочатку аналогічні задачі на обчислення, де умова трохи більше розшифрована.

Наприклад, перед задачею на побудову: «Поділити трапецію на дві рівновеликі частини прямою, паралельною основам» доцільно подати учням таку задачу на обчислення: «Прямою, паралельною основам, трапеція поділилась на дві рівновеликі частини. Визначити віддаль від цієї прямої точки взаємного перетину непаралельних сторін трапеції, якщо віддалі цієї точки від обох основ трапеції відповідно рівні a і b »

Задачі на побудову алгебричним методом треба подавати в певній послідовності, додержуючись принципу поступових утруднень. На жаль, цього принципу не додержано в різних збірниках геометричних задач на побудову і в стабільних підручниках.

Ми не поділяємо думку тих авторів, які добирають задачі на побудову алгебричним методом за ступенем складності формул, до яких вони приводять. Справа в тому, що можуть бути легкі задачі, які приводять до складної формули, і важкі задачі, які приводять до простої формули.

Отже, не складність остаточної формули повинна визначити степінь трудності даної задачі, бо до побудови будь-якої формули учні мають бути добре підготовлені, проробивши розділ «Побудова алгебричних виразів».

Нарешті, при закінченні вивчення планіметрії і при вивченні стереометрії в слід також давати час від часу задачі на побудову алгебричним методом, складнішого характеру. В X класі треба вже давати задачі на побудову алгебричним методом з складним дослідженням під час вивчення теми «Дослідження рівнянь». Там доцільно подавати також задачі на побудову, де застосовуються різні тригонометричні формули.

Методика проведення та результати експерименту Експеримент проведений з учнями, які залучені до вивчення курсу за вибором «Алгебраїчний метод розв'язування геометричних задач за допомогою автоматизованої системи Gran-2D». Він сприяє розвитку розумових здібностей учнів, логічного й критичного мислення, інтуїції, уяви, формують уміння міркувати, будувати логічні «ланцюжки». У курсі розглядаються такі важливі питання, як багатоваріантні геометричні задачі, які можна розв'язати за допомогою алгебраїчного методу та програмного засобу Gran-2D. Розроблений курс покликаний покращити успішність учнів, активізувати їхню початкову діяльність, викликати інтерес до математики як науки..

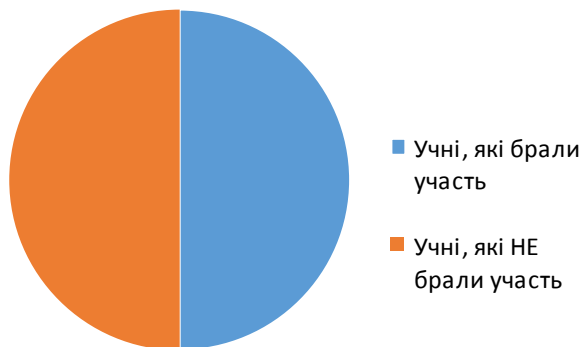
Мета курсу — сформувати стійкий інтерес школярів до геометрії, розширити їх математичний світогляд, розвинути професійне та критичне мислення, інтуїцію та компетентність учнів, познайомити їх з геометричними задачами та алгебраїчним методом їх розв'язання. Навчити працювати з автоматизованою системою Gran-2D, створювати зображення та розв'язувати деякі задачі в даному програмному засобі. Курс розрахований на учнів старшої школи загальноосвітніх навчальних закладів, з варіативною складовою навчального плану.

Заняття факультативу учням сподобалися, так як вони їх відвідували із цікавістю та виконували всі індивідуальні та практичні заняття.

Учні цього класу вже були знайомі із автоматизованою системою GRAN-2D з уроків інформатики. Вчитель у 7 класі знайомив їх із програмами для створення заражень, де частково розглядалася і GRAN-2D, але на уроках математики учні використовували дану програму вперше.

В ході експерименту проводилося 4 факультативних заняття на кожному з яких учні розв'язували задачі та створювали малюнки до них, що було найцікавішим.

Успішність учнів до експерименту



Малюнок 2 а

Успішність після експерименту



Малюнок 2 б

Після завершення експерименту результати були помітні відразу. Учні активізувалися в навчанні,

збільшився інтерес до математики та особливо до геометрії, що привело до покращення успішності школярів, які брали участь в експерименті.

Дані результатів експерименту наведені малюнку 2

Тому, з діаграм видно, що успішність учнів до експерименту була однаковою, а після експерименту – зростає. Що ще раз доводить, необхідність впровадження методичної розробки в навчання школярів, адже уроки стають цікавішими та сприяють покращенню та зацікавленості до навчання.

Висновки та перспективи подальшого дослідження Важливою умовою глибокого розуміння учнями сутності алгебраїчного методу розв'язування геометричних задач є розроблений нами курс за вибором. Він складається з 8-ми занять, на яких розглянуто основні типи геометричних задач, які можна розв'язати алгебраїчним методом. До них відносяться: метод площ, знаходження об'ємів тіл обертання, задачі на обчислення відстаней та кутів за допомогою програми GRAN-2D.

Використання автоматизованої системи GRAN-2D у навчальному процесі забезпечує покращення візуалізації обчислень, прискорює та полегшує розв'язання геометричних задач, покращує розуміння зв'язку між геометричними об'єктами та числовими даними.

Розроблений нами курс за вибором дає можливість вчителю показувати алгебраїчний метод розв'язання геометричних задач за допомогою використання спеціалізованої комп'ютерної програми.

В ході проведення дослідження було проаналізовано вплив геометричних задач на покращення успішності учнів. Після впровадження курсу за вибором, можна з впевненістю сказати про підвищення зацікавленості в учнів до вивчення математики. Активізацію та покращення розумової діяльності учнів яскраво помітно в ході розв'язання геометричних задач та створення зображень за допомогою автоматизованої системи GRAN-2D. Тому очевидно, що розв'язання геометричних задач з використанням GRAN-2D стимулює успішність школярів.

Отже, нами підтверджена гіпотеза дослідження, що ефективність навчання зростає при дотриманні педагогічних та методичних умов використання GRAN-2D для активізації творчої діяльності учнів

Список використаної літератури

- 1 Мерзляк А.Г. Геометрія: початок вивч. на поглиб. рівні з 8 кл., проф. рівень : підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти / А.Г. Мерзляк, Д. А. Номіровський, В. Б. Полонський, М.С. Якір. – Х. : Гімназія, 2018 – 272 с.
- 2.Методика навчання комп'ютерної математики майбутніх учителів інформатики : автореф. дис... канд. пед. наук : 13.00.02 / В.В. Єфіменко ; Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – Київ, 2015. – 22 с.

3. Слєпкань З. І. Методика навчання математики: підруч. Для студ. Мет. Спеціальностей вищ. Навч. Закладів. – 2-ге вид. доп. І перероб. – К.: Вища школа, 2006. – 582 с.
4. Padalko A., Padalko N., Padalko N. (2021) On Using Information and Communication Technologies in Process of Mathematical Specialties Education. In: Lecture Notes in Networks and Systems, vol 188. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_61
5. Ляшенко О. І. Тест загальної навчальної компетентності: основні засади і результати пілотування / О. І. Ляшенко, С. А. Раков // Педагогіка і психологія. – № 2. – 2011. – С. 27–35.
6. Падалко Н. Й., Падалко А. М. Особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні дисциплін математичного циклу Математика, інформаційні технології. Збірник статей. – Луцьк. – 2020. – с. 52-60.
7. Хору́жа Л. Л. Компетентнісний підхід в освіті: ретроспективний погляд на розвиток ідеї / Л. Л. Хору́жа // Педагогічна освіта: теорія і практика. Психологія. – 2006. – С. 149–150.
8. Спірін О. М. Інформаційно-комунікаційні та інформатичні компетентності як компоненти системи професійно-спеціалізованих компетентностей вчителя інформатики / О. М. Спірін [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eprints.zu.edu.ua/3733/>
9. Мурзіна К.В. Розвиток пізнавальних процесів дітей старшого дошкільного віку з використанням ІКТ / К.В. Мурзіна // Дошкільний навчальний заклад. – 2018. – 11. – С.2-10.
10. Жалдак М.І., Ю.В. Горошко, Є.Ф. Вінниченко. Ж 24 Математика з комп'ютером. Посібник для вчителів. – 3-тє вид. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2015. – 315 с.
11. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов : учебное пособие / И.А. Лавров, Л.Л. Максимова. – 5-е изд., испр. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 256 с..
12. Жигіль В.І. Професійна педагогіка : навч. посіб. : [для студ. ВНЗ] / В.І. Жигірь, О.А. Чернега. – Київ : Кондор, 2012. – 338 с.

References

1. Merzlyak AG Geometry: the beginning of the study. in depth. levels from 8 classes, prof. level: textbook. for 10 classes. institutions of general secondary education / A.G. Merzlyak, DA Nomirovsky, VB Polonsky, MS Anchor. - H.: Gymnasium, 2018 - 272 p. (in Ukrainian)
2. Methods of teaching computer mathematics to future teachers of computer science: author's ref. dis ... cand. ped. Science: 13.00.02 / V.V. Yefimenko; Nat. ped. Univ. MP Dragomanova. - Kyiv, 2015. - 22 p. (in Ukrainian)
3. Slepkan ZI Methods of teaching mathematics: textbook. For students. Met. Higher specialties. Teaching Institutions. - 2nd view. ext. And rework. - K. : Вища школа, 2006. - 582 с. (in Ukrainian)
4. Padalko A., Padalko N., Padalko N. (2021) On Using Information and Communication Technologies in Process of Mathematical Specialties Education. In: Lecture Notes in Networks and Systems, vol 188. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_61
5. Lyashenko OI Test of general educational competence: basic principles and results of piloting / OI Lyashenko, SA Rakov // Pedagogy and Psychology. - № 2. - 2011. - P. 27–35. (in Ukrainian)
6. Padalko NY, Padalko AM Features of application of information and communication technologies in the study of disciplines of the mathematical cycle Mathematics, information technology. Collection of articles. - Lutsk. - 2020. - p. 52-60. (in Ukrainian).
7. Khoruzha LL Competence approach in education: a retrospective look at the development of ideas / LL Khoruzha // Pedagogical education: theory and practice. Psychology. –2006 - P. 149–150. (in Ukrainian).
8. Spirin OM Information-communication and information competencies as components of the system of professionally-specialized competencies of teachers of informatics / OM Spirin [Electronic resource]. - Access mode: <http://eprints.zu.edu.ua/3733/>(in Ukrainian).
9. Murzina KV Development of cognitive processes of older preschool children with the use of ICT / K.V. Murzina // Preschool educational institution. - 2018. - 11. - P.2-10. (in Ukrainian).
10. Zhaldak MI, Yu.V. Goroshko, E.F. Vinnichenko. F 24 Mathematics with a computer. A guide for teachers. - 3rd type. - K. : Published by NPU named after MP Dragomanova, 2015. - 315 p. (in Ukrainian).
11. Problems in set theory, mathematical logic and algorithm theory: a textbook / I.A. Lavrov, LL Максимова. - 5th ed., Corrected. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 256 с. (in Ukrainian).
12. Zhigil VI Professional pedagogy: textbook. way. : [for students. University] / VI Жигірь, О.А. Чернега. - Kyiv: Condor, 2012. - 338 p. (in Ukrainian).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-06>

УДК 658.512:65.011.56

Троянчук Богдана Віталіївна, студентка

<https://orcid.org/0000-0002-8352-2829>

Федік Леся Юріївна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2555-4205>

Луцький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ САПР У ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Троянчук Б.В., Федік Л.Ю. Використання САПР у проектуванні систем автоматизації. У статті визначено і досліджено актуальні системи автоматизованого проектування. А також проаналізовано існуючі САД системи і спрогнозовано розвиток ринку в цій сфері. Викладено особливості проектування систем автоматизації в програмах AutoCAD, Solidworks, LibreCAD, MagiCAD, ZWCAD.

Ключові слова: проектування, система, автоматизація, програма, САПР, САД, оцінка, аналіз.

Троянчук Б.В., Федік Л.Ю. Использование САПР при проектировании систем автоматизации. В статье определены и исследованы актуальные системы автоматизированного проектирования. А также проанализированы существующие САД системы и спрогнозировано развитие рынка в этой сфере. Изложены особенности проектирования систем автоматизации в программах AutoCAD, Solidworks, LibreCAD, MagiCAD, ZWCAD.

Ключевые слова: проектирование, система, автоматизация, программа, САПР, САД, оценка, анализ.

Troyanchuk B.V., Fedik L.Yu. The use of CAD systems in the design of automation systems. The article identifies and investigates current computer-aided design systems. Also, the existing CAD systems were analyzed and the development of the market in this area was predicted. The features of the design of automation systems in AutoCAD, Solidworks, LibreCAD, MagiCAD, ZWCAD are outlined.

Key words: design, system, automation, program, CAD, CAD, assessment, analysis.

Постановка проблеми. Сьогоднішні завдання проектування породжують нові програми. Серед великої чисельності, подекуди важко обрати найвідповіднішу. У цій статті будуть проаналізовані САД системи, які користуються популярністю серед інженерів для проектування систем автоматизації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження консалтингової компанії "Grand View Research" про розвиток 3D САД.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. Відсутність аналізу про найкращу САПР систему для проектування систем автоматизації.

Мета статті: визначити та дослідити актуальні системи автоматизованого проектування та зробити висновки їх ефективності.

Постановка завдання: проаналізувати існуючі САД системи, спрогнозувати розвиток ринку в цій сфері.

Об'єкт дослідження: AutoCAD, Solidworks, LibreCAD, MagiCAD, ZWCAD.

Предмет дослідження: ступінь релевантності обраних систем автоматизованого проектування і розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Основними стадіями проектування систем автоматизації є формування вимог до автоматизованих систем, розробка концепції автоматизованих систем, технічні завдання, ескізний проект, технічний проект, робоча документація і супроводження автоматизованих систем.

Тому доцільним є застосування САД (Computer Aided Design – автоматизоване проектування) систем під час проектування. За якого окремі перетворення описів об'єкта, алгоритму функціонування або алгоритму процесу його створення, здійснюються у взаємодії людини й комп'ютера. Графічні особливості САД застосовуються в проектуванні й виробництві електроніки, будівельних конструкцій, машин і механізмів [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

САД система має у своєму складі такі складові частини: конструкторську, технологічну, архітектурно-будівельну, кошторисну частини, а також системи: санітарно-технічну, електротехнічну і автоматизації та гідротехнічні спорудження.

Історія походження перших «електронних кульманів» почалася від Патріка Ганратті, якого називають «батьком САД/САМ». Він став розробником PRONTO (програми для операцій з числовими інструментами) першої системи програмування з ЧПК у 1957 році. Насправді, деякі галузеві аналітики підраховали, що 70% усіх тривимірних механічних САД/САМ систем, доступних сьогодні мають їх коріння до оригінального коду розробника. А послідовником був Айвен Сазерленд що розробив Sketchpad у 1963 році як частину своєї дисертації в Массачусетському технологічному

інституті під назвою «Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System». Користувачі могли взаємодіяти з програмою через екран, світлове перо для чернетки та набір кнопок для встановлення параметрів або обмежень [2].

AutoCAD відноситься до софту, який випускається компанією Autodesk з 1982 року. Спочатку він був розроблений для використання на Windows, з підтримкою 32-, та 64-розрядних систем, а з 2013 року став доступний на MAC OS. Зараз він перекладений на 18 мов і випущені мобільні застосунки для Android, iPad і iPhone.

Для спрощення 2D проектування в програмі існують такі інструменти: інтелектуальне нанесення розміру, видові екрани, хмари для поміток, зв'язування відомостей, експорт з Microsoft Excel.

Система може експортувати інформацію з 3D принтерів під час 3D моделювання. В останніх версіях не потрібно завантажувати весь макет у пам'ять, через змогу кешування взаємодійної області і запропоновано чимало розширень для обміну: dwg, dxf, dwt, dws, pdf.

Автокад має у своєму складі такі інструментарії як: Architecture, Mechanical, Map 3D, MEP, Electrical, Plant 3D, Raster Design. Блоки яких наведені на рис. 1.

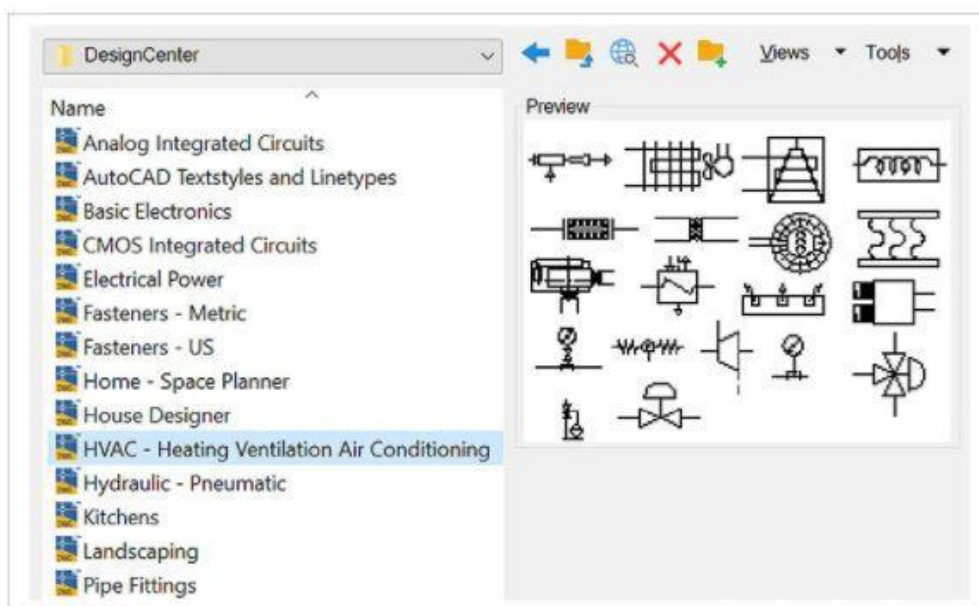


Рис. 1. Блоки AutoCAD

Дана система САПР дозволяє створити власні блоки чи вибрати готові р AutoCAD та AutoCAD LT. Зокрема, вставити блок у креслення, вказавши файл креслення або визначити блок у файлі креслення. Потім його можна легко перемістити, скопіювати, повернути або масштабувати [3].

Для проектування систем автоматизації застосовують також програму SolidWorks. А саме: для моделювання твердих тіл, що використовує параметричний, заснований на ознаках, підхід до створення моделі.

Це програмне забезпечення розробив випускник Массачусетського технологічного інституту Джон Гірштік у 1995 році, який заснував компанію SolidWorks Corporation. Воно включає інструменти моделювання, що дозволяють керувати проектами в реальному часі, тобто інтегровану систему автоматизованого моделювання та процес проектування.

Окрім розглянутих програм застосування знайшла програма MagiCAD. Вона автоматизує велику кількість працемістких завдань у проектуванні інженерних систем, включаючи створення та редагування стандартних з'єднань, обводів повітроводів та труб, вертикальних переходів, а також складніших з'єднань, таких як: з'єднання горизонтальних елементів під кутом, труб та радіаторів, труб та змішувачів, створення ексцентричних переходів та ін. Програма дозволяє креслити повітроводи і трубопроводи відразу з використанням серій ізоляції з легко змінюваними розмірами.

У MagiCAD проектування від початку ведеться з використанням реально існуючого обладнання. Якщо потрібний клапан, радіатор, вентиляційні ґрати або будь-який інший об'єкт, його можна вибрати з найбільшої в Європі бази обладнання та компонентів, моделі яких перевірені та схвалені виробниками.

MagiCAD підтримує багато національних стандартів і символів, що робить його унікальним. Програма містить у своєму складі такі модулі як: вентиляція, трубопроводи, електропостачання, схеми, спринклери, опори і підвіски, велика бібліотека реального обладнання, інструменти координації, інтегровані розрахунки, локалізація, інструменти проектування, плагіни та інструменти підбору обладнання, рис. 2. А також представлено понад 1 000 000 BIM-об'єктів провідних світових виробників [4].

Зокрема модуль «Трубопроводи» призначений для проектування та розрахунку систем опалення, тепло- та холодопостачання, водопостачання, каналізації, спринклерних та інших систем. У роботі використовуються ті самі команди незалежно від того, яка система проектується. Цей модуль поєднує в собі зручний креслярський інструмент та потужне розрахункове ядро [5].

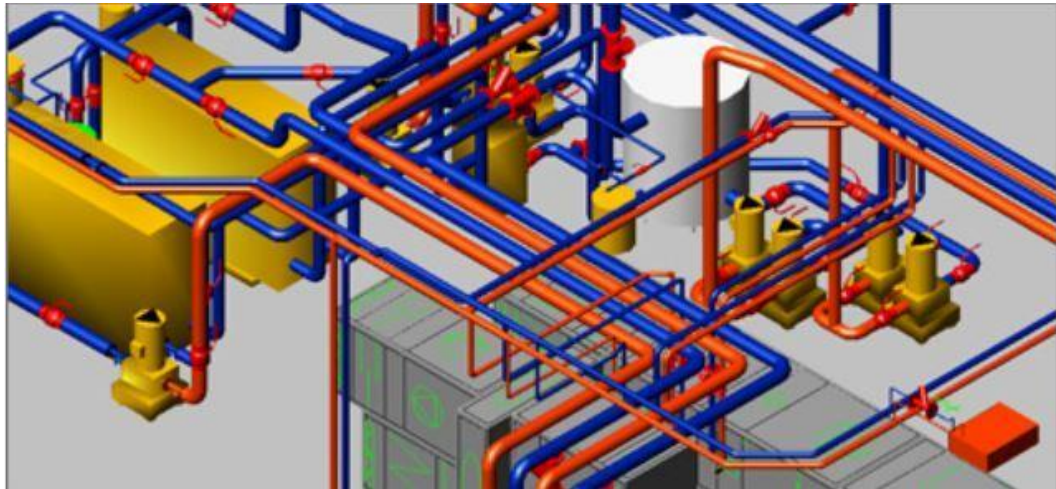


Рис. 2. MagiCAD Трубопроводи

У MagiCAD система проектної документації для будівництва, GraphiCS, дозволяють працювати з мережевою базою даних та розмежовувати права доступу користувачів до перегляду, редагування та публікації об'єктів [6].

На рис. 3 проілюстрований комплекс інструментів для інженерних мереж, який дозволяє формувати розведення внутрішніх комунікацій на плані. Побудова інженерних мереж реалізована функціоналом конекторів, обладнання та трас. Зокрема у базу даних включені шаблони трас, обладнання та конектори, що призначені для оформлення креслень вентиляції та внутрішнього газопостачання. Стандартна версія програми містить понад 3000 параметричних будівельних об'єктів (елементів бази даних): балки, колони, ригелі, плити перекриттів, фундаментні блоки, папі, металопрокат, кріплення та ін. За замовчуванням база знаходиться під керуванням СУБД PostgreSQL.

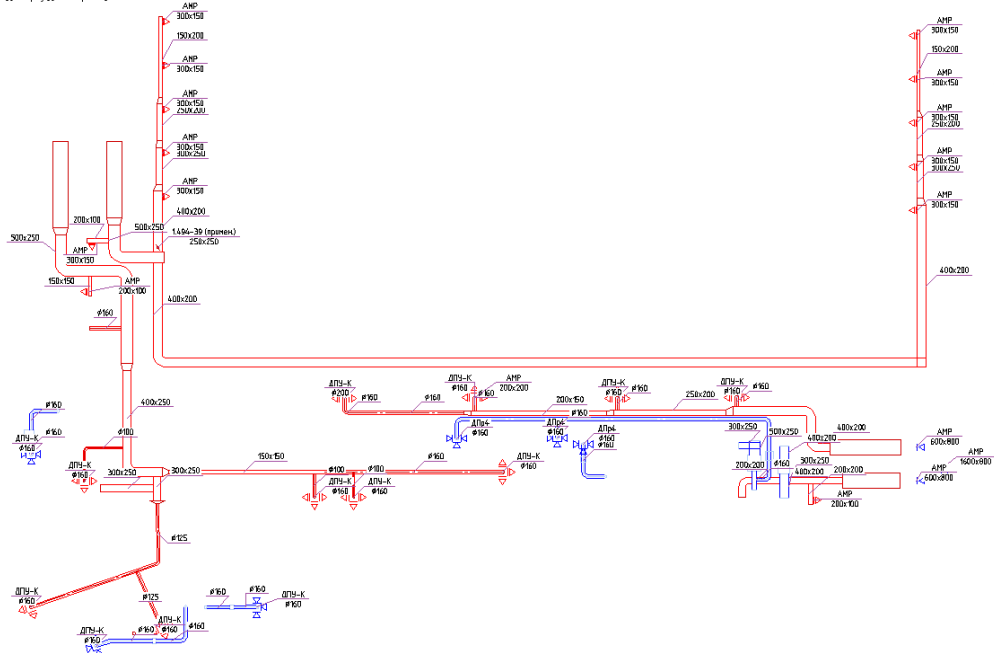


Рис. 3. Інженерні комунікації в MagiCAD

Окрім розглянутих засобів проектування систем автоматизації застосовується також LibreCAD (раніше CADuntu). Ця програма являє собою крос-платформну та вільну САПР для 2D креслення та проектування, що створена на основі QCAD, рис. 4. Вона має власний формат файлів під назвою DXF, який спочатку розроблявся для обміну файлами з пакетом AutoCAD. А також можливість імпортувати та експортувати файли у форматах SVG, PDF, BMP, PPM, PNG, XPM, XBM. LibreCAD локалізована на безліч мов, які можна додатково завантажити та встановити з Інтернету [7, 8].

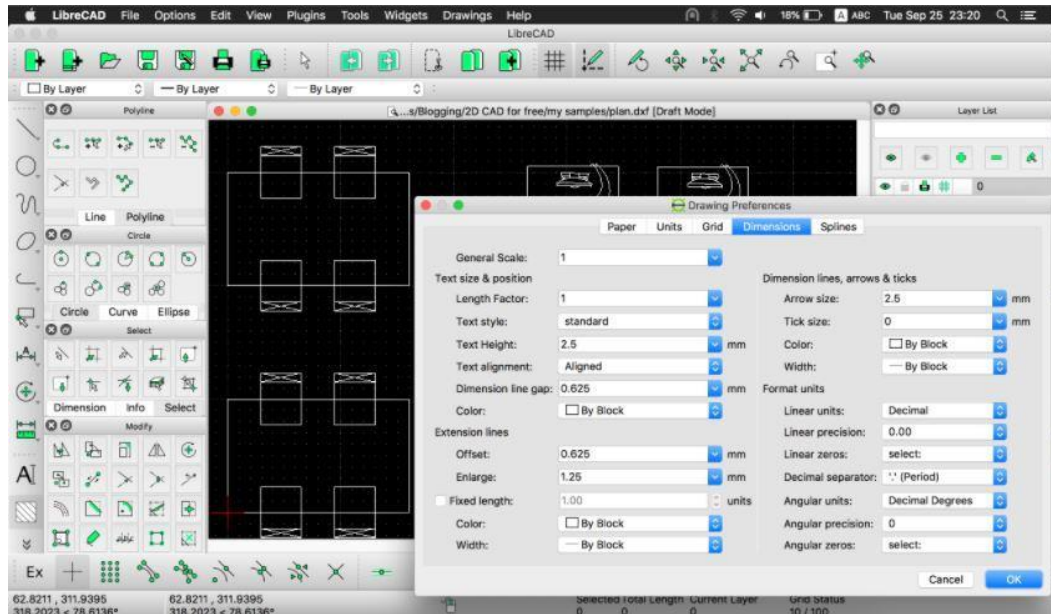


Рис. 4. LibreCAD та його налаштування

Для оцінки тенденцій та потреб сучасних проектних компаній скористаємося аналізом американської дослідницької та консалтингової компанії - "Grand View Research", яка має понад 20 років досвіду досліджень багатьох регіонів та країн (Північна та Південна Америка, Європа, СНД та ЦСЄ (в тому числі, Україна), Близький Схід та Африка, Азія). Згідно нього широке застосування отримала хмарна платформа для програмного забезпечення 3D CAD. Найбільшою перевагою її є отримання доступу до власних проектів з різних пристроїв у різних куточках світу, що сприяє розвитку ринку і є безперечним плюсом для сучасної епідеміологічної ситуації у світі (Covid-19).

Так на рис. 5 представлений графік статистичних і прогностичних даних цієї компанії з 2016 до 2028 року, ринку програмного забезпечення для 3D CAD в США. Двоколірні стовпці показують відповідно рівень локального та хмарного програмного забезпечення. Аналіз рисунку показує, що зі зростанням технології 3D-друку виготовлятиметься широкий асортимент виробів із різноманітних матеріалів залежно від потреб користувачів [9].

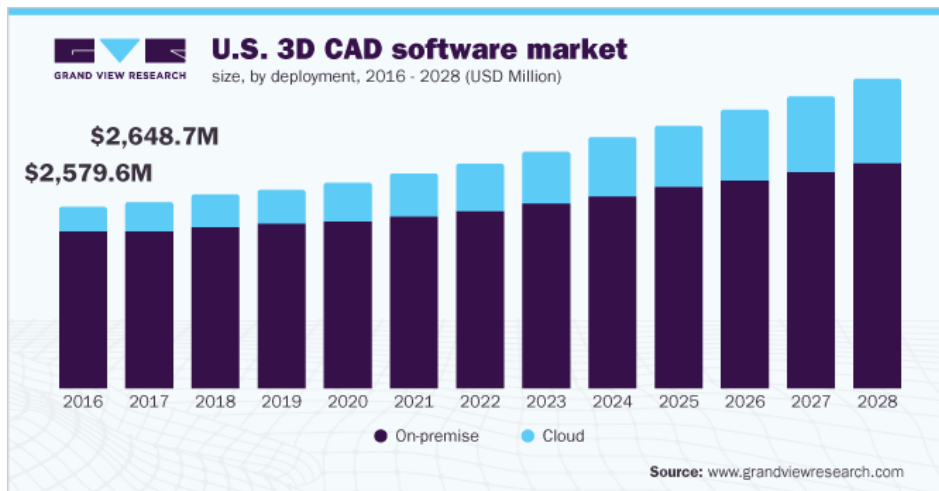


Рис. 5. Ринок програмного забезпечення для 3D CAD в США

Потрібно зазначити, що з появою нових технологій, як до прикладу – VR (з англ. Virtual Reality – віртуальна реальність) перед нами відкриваються нові можливості під час проектування систем автоматизації. Оскільки VR дозволяє інженерам бачити, як їхні проекти будуть працювати в реальному світі і це є вагомим контраргументом для заощадження часу в своєчасному знаходженні дефектів та їх швидкому виправленні.

А віртуальна інженерія (virtual engineering) як імітаційний метод допомагає інженерам у прийнятті рішень та управлінні. Віртуальне середовище при цьому представлене обчислювальною структурою, що дозволяє точно імітувати геометричні й фізичні властивості реальних систем під час процесу проектування. При цьому береться концептуальний проект, а на виході виходять детальні конструкції компонентів або відсутні пророблені у всіх подробицях компоненти [10].

Висновки та майбутні перспективи. Можна дійти висновку, що існує безліч програм для проектування систем автоматизації. Всі вони мають свої переваги та недоліки. Для початку ознайомлення зі САПР доцільне застосування AutoCAD, який спрощує своє використання та надає більше можливостей для тестування, а в майбутньому - хмарних платформ.

Список бібліографічного опису

1. Тлумачний словник з інформатики / Г.Г. Півняк, Б.С. Бусигін, М.М. Дівізінюк, О.В. Азаренко, Л.М. Коротенко, Л.М. Коротенко. - Д., Нац.гірнич.ун-т. – 2010. - С.47
2. <https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982/>
3. <https://www.autodesk.com/solutions/cad-blocks>
4. https://www.magicad.com/ru/magicad-%d0%b4%d0%bb%d1%8f-revit-%d0%b8-autocad/?utm_term=autodesk&utm_campaign=MEP-NOB-RU&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2111117430&hsa_cam=9916233546&hsa_grp=103366409427&hsa_ad=432117242152&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-10106226&hsa_kw=autodesk&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cj0KCQiAy4eNBhCaARIsAFDvtI2iZjT_nxSwwvHlbpW-ORgio5-Gd4iKNDUTiBj-fUQ_WaPnRGGlyiQaAtjCEALw_wcB
5. https://csoftnw.ru/solutions/software/magicad_Truboprovody.html
6. <https://www.zwsoft.ru/spds>
7. <https://soft.mydiv.net/win/download-LibreCAD.html>
8. <https://habr.com/en/post/425161/>
9. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-cad-software-market>
10. Кунву Ли. Основы САПР CAD, CAM, CAE. - СПб.: Питер, 2004. - С.436-461.

References

1. Explanatory Dictionary of Informatics / G.G. Pivnyak, BS Busygin, MM Divizinyuk, OV Азаренко, Л.М. Коротенко, Л.М. Коротенко. – Д., Nats. hirnych. un-t, 2010. – P.47
2. <https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982/>
3. <https://www.autodesk.com/solutions/cad-blocks>
4. https://www.magicad.com/ru/magicad-%d0%b4%d0%bb%d1%8f-revit-%d0%b8-autocad/?utm_term=autodesk&utm_campaign=MEP-NOB-RU&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2111117430&hsa_cam=9916233546&hsa_grp=103366409427&hsa_ad=432117242152&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-10106226&hsa_kw=autodesk&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cj0KCQiAy4eNBhCaARIsAFDvtI2iZjT_nxSwwvHlbpW-ORgio5-Gd4iKNDUTiBj-fUQ_WaPnRGGlyiQaAtjCEALw_wcB
5. https://csoftnw.ru/solutions/software/magicad_Truboprovody.html
6. <https://www.zwsoft.ru/spds>
7. <https://soft.mydiv.net/win/download-LibreCAD.html>
8. <https://habr.com/en/post/425161/>
9. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-cad-software-market>
10. Kunvu Ly. Osnovy SAPR CAD, CAM, CAE. - SPb.: Pyter, 2004. - P.436-461.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-07>

УДК 65.064

Філь Наталія Юріївна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2081-7176>

Ільге Ігор Генріхович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-0585-8685>

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна.

МОДЕЛІ СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГІЧНОГО СИНТЕЗУ СКЛАДУ ПІДПРИЄМСТВА

Філь Н.Ю., Ільге І.Г. Моделі структурно-топологічного синтезу складу підприємства. Розроблено загальну постановку задачі структурно-топологічного синтезу складу підприємства, яку запропоновано декомпонувати на послідовність розв'язання шести задач структурно-топологічного синтезу складу підприємства. Розроблено математичні моделі вибору полиць, компоновання стелажів, компоновання складів. Для кожної представленої моделі вхідними даними є розв'язки попередніх задач.

Ключові слова: склад, синтез, полиця, стелаж, товар, компоновання.

Филь Н.Ю., Ильге И.Г. Модели структурно-топологического синтеза склада предприятия. Разработана общая постановка задачи структурно-топологического синтеза склада предприятия, которую предложено декомпозировать на решение последовательности шести задач структурно-топологического синтеза склада предприятия. Разработаны математические модели выбора полок, компоновки стеллажей, компоновки склада. Для каждой представленной модели входными данными являются решения предыдущих задач.

Ключевые слова: склад, структурно-топологический синтез, полка, стеллаж, товар, компоновка.

Fil N., Ilge I. Models of structural-topological synthesis of the enterprise warehouse. A general statement of the problem of structural-topological synthesis of the enterprise warehouse has been developed, which is proposed to be decomposed into solving a sequence of six problems of the structural-topological synthesis of the enterprise warehouse. Mathematical models for selecting shelves, stack layout, warehouse layout. For each task presented, the input data are solutions of previous tasks.

Keywords: warehouse, structural-topological synthesis, shelf, stack, product, layout.

Постановка наукової проблеми.

Сучасний склад представляє собою складну систему, що складається з багатьох елементів, яка має певну структуру і виконує різні операції з переробки, зберігання і розподілу матеріального потоку. У свою чергу, склад є інтегрованою складовою частиною системи більш високого рівня – логістичного ланцюга. Функції складування поглинають близько 40% логістичних витрат підприємств у зв'язку з чим, їх оптимізація відповідно до основних світових технологічних, інформаційних та бізнес-трендів стає важливою умовою рентабельності бізнесу та сприяє створенню трьох взаємопов'язаних конкурентних переваг, а саме: швидкість доставки товарів кінцевому споживачу, безпека доставки та якість товарів, що залежить від особливостей їх транспортування і зберігання [1].

Питання пошуку ефективного структурно-топологічного синтезу складських комплексів на даний час є актуальним [2].

В сучасних умовах задача удосконалення систем зберігання матеріальних запасів має значну наукову і практичну значимість.

Суттєвий поштовх розвитку складської логістики надали карантинні обмеження зумовлені пандемією COVID-19, адже відбулося пожвавлення на ринку електронної комерції, що у свою чергу, сприяло активізації логістичних систем та створило попит на будівництво нових складських приміщень і терміналів, створення та оптимізацію їх мереж у різних регіонах.

Відсутність остаточного рішення задачі щодо розробки універсальної методики визначення раціональних технічних і технологічних параметрів складів сформулювало мету дослідження.

Метою дослідження є підвищення ефективності обліку товарів на складі за рахунок розробки моделей структурно-топологічного синтезу складу підприємства, що дозволить підвищити швидкість та ефективність приймання/відвантаження та інвентаризації товару.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- 1) провести аналіз технологій проектування складу підприємства;
- 2) розробити моделі структурно-топологічного синтезу складу підприємства;
- 3) навести приклади використання розроблених моделей синтезу складу підприємства.

Аналіз досліджень.

Проблема розробки моделей структурно-топологічного синтезу складу підприємства має велике практичне значення, тому що в даний час одним із пріоритетних напрямків підвищення

ефективності функціонування складу є широке запровадження, окрім закінчених проектних рішень, індивідуальних і типових легкозбірних стелажних конструкцій, що дозволяють швидко змінювати положення полиць і конфігурацію стелажа в цілому без демонтажу всього стелажа і без використання додаткового інструмента. Серійний метод проектування, заснований на типізації тільки стелажів, має істотні недоліки, пов'язані, головним чином, з невідповідністю типових моделей стелажів конкретній виробничій ситуації.

Проблемі проектування сучасних складів підприємства присвячено багато досліджень.

Дослідженню параметрів складських комплексів присвячена робота [3]. В сучасних умовах задача удосконалення систем зберігання матеріальних запасів має значну наукову і практичну значимість. При цьому характер і ступінь впливу параметрів вхідного потоку вантажів на потрібне технічне оснащення складів з позицій логістики та системного підходу вивчені недостатньо. У роботі авторами представлена методика формалізації процесу функціонування транспортно-складського комплексу за допомогою мережі Петрі.

Робота [4] присвячена розвитку методологічних засад проектування територіально розподілених об'єктів. Знайшли розвиток формальні уявлення понять «система», «територіально розподілена система». Розроблено композиційну модель динамічного розподіленого завдання структурного синтезу територіально розподілених систем. Удосконалено технологію вирішення завдань структурного синтезу об'єктів з використанням процедур моделювання системної динаміки.

В роботі [5] як математичну модель територіально розподілених сервісних систем пропонується адаптована модель системної динаміки виробничо-збутового підприємства. Запропонована модель дозволяє отримати оцінки характеристик динаміки функціонування об'єкта за відносно швидкої зміни попиту на обслуговування. Наведено результати моделювання територіально-розподіленого сервісного об'єкта.

В роботі [6] розглядається завдання конфігурування логістичної мережі дистрибуції товарів масового використання. Проведено декомпозицію всієї задачі на дві окремі підзадачі: задачу розсіювання; задача консолідації та розукрупнення продукції. Модель першої – задача структурно-топологічного синтезу з булевими змінними. Модель другий – транспортна задача лінійного програмування з безперервними, цілими та булевими змінними. Для їх вирішення використано метод гілок та кордонів.

Але на сьогодні немає остаточного рішення задачі щодо розробки універсальної методики визначення раціональних технічних і технологічних параметрів складів підприємств.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

При рішенні задачі структурно-топологічного синтезу виникає ціла низка ускладнень, пов'язаних з її слабкою структурованістю і складністю формального опису для наступної реалізації на ЕОМ. Викликані ці ускладнення, головним чином, творчим характером процесу проектування, необхідністю врахування великої кількості різнорідних вимог і прагненням до оптимальності рішень, що приймаються.

Тому стосовно задачі структурно-топологічного синтезу складу підприємства доцільно здійснити декомпозицію на більш прості задачі двох класів:

- синтез структури складу підприємства;
- синтез топології складу підприємства.

Постановка задач синтезу структури складу підприємства здійснюється в такий спосіб.

Відома множина типів структурних елементів $\bar{J} = \{p\}$, $p = \bar{1}, p'$, де p' – сумарна кількість типів структурних елементів складу підприємства. Задано обмеження на геометричні параметри та характеристики функціонування кожного типу структурного елемента складу підприємства. Якість проектного рішення оцінюється за функціональними та економічними критеріями. Потрібно визначити такі геометричні параметри T^v та характеристики функціонування F^v проектованої структури складу підприємства, за яких забезпечуються прийнятні значення часткових критеріїв з урахуванням їхньої важливості ($v = \bar{1}, v'$, де v' – число квазіоптимальних варіантів).

Розглянемо постановку задачі синтезу топології (задач компонування) складу підприємства.

Задано множину типів структур Γ^v , отриманих в результаті рішення задач синтезу структури складу підприємства, а також матриця вагомості їхніх безпосередніх функціональних зв'язків $\bar{C} = \{C_{pn}\}$, де $0 \leq C_{pn} \leq 1$ ($0 < C_{pn} \leq 1$) при наявності між p -ю і n -ю структурами безпосереднього зв'язку, $C_{pn} = 0$ у протилежному випадку). Також задані обмеження на геометричні параметри та характеристики функціонування структур кожного типу, умови взаємного не перетинання, щільності

розташування та ін. Якість проектного рішення оцінюється за функціональними та техніко-економічними частковими критеріями.

Відповідно до вищесказаного стосовно задачі функціонального структурно-топологічного синтезу складу підприємства (рис. 1), здійснюється декомпозиція на шість задач:

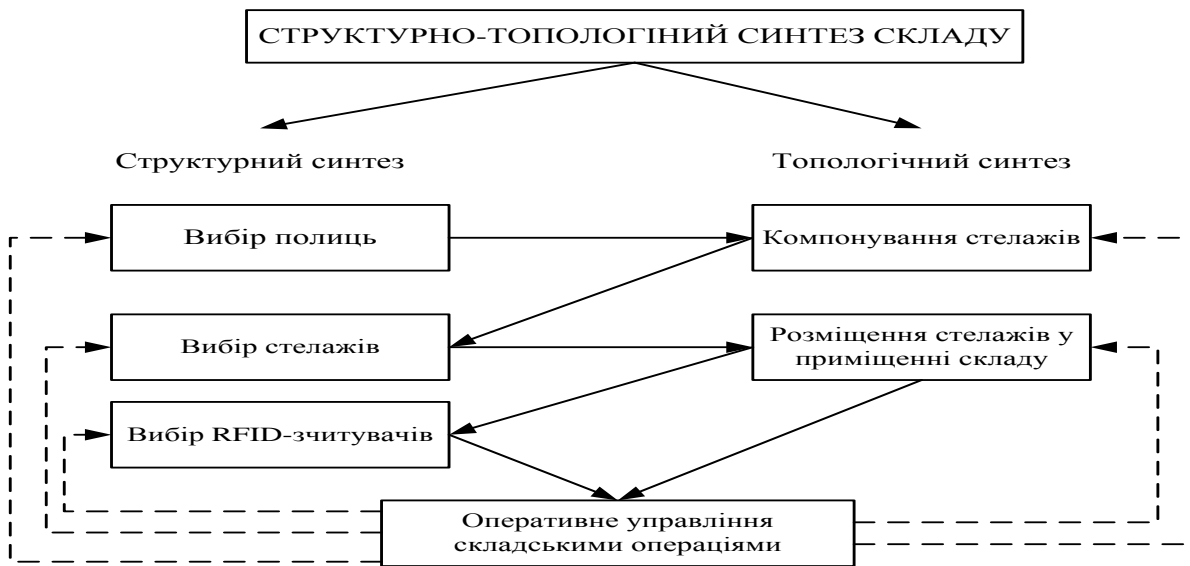


Рис. 1. Структурно-топологічний синтез складу підприємства

- вибір полиць (враховуються геометричні розміри, вантажопідйомність, вартість);
- компонування стелажів (враховуються геометричні розміри, тип обраних у ході рішення першої задачі для кожного найменування товару полиць, вартість);
- вибір зі скомплектованих стелажів (враховуються витрати на збереження кожного найменування товару за умови використання одного з варіантів компонування стелажів);
- компонування складів (враховуються вимоги легко доступності товарів, зручність роботи персоналу, відповідність проходів, що утворюються, умовам екстреної евакуації та ін.);
- вибір RFID зчитувача за багатьма функціональними та вартісним критеріями;
- оперативне управління складськими операціями (після рішення всіх попередніх задач користувач працює зі скомпонованим варіантом складу, якщо даний варіант не може вирішити поставлене перед ним завдання, то відбувається почерговий перехід до попередніх моделей синтезу складу до того часу, доки не вирішиться задача оперативного управління складськими операціями).

Вихідні дані, необхідні для рішення задачі вибору полиць, доцільно представити в наступному виді. набір полиць характеризується множиною:

$$\{P_i\} = \{A_i, B_i, g_i, S_i\}, \quad i = \overline{1, i'}, \quad (1)$$

де A_i, B_i – геометричні розміри, мм; g_i – вантажопідйомність, кг; S_i – вартість i -й полиці, грн.; i' – кількість розглянутих моделей полиць, од.

Набір товарів характеризується множиною:

$$\{T_j\} = \{a_j, b_j, c_j, m_j, n_{h \max j}, n_j\}, \quad j = \overline{1, j'}, \quad (2)$$

де a_j, b_j, c_j – геометричні розміри, мм; m_j – маса, кг; $n_{h \max j}$ – максимально припустима кількість екземплярів j -го товару в штабелі, од.; n_j – кількість j -го товару, од.; j' – кількість розглянутих найменувань товарів, од.

Набір стоек характеризується множиною:

$$\{A_l, B_l, C_l, g_l, S_l\}, \quad l = \overline{1, l'}, \quad (3)$$

де A_l, B_l, C_l – геометричні розміри, мм; g_l – вантажопідйомність, кг; S_l – вартість, грн.; l' – кількість розглянутих моделей стоек, од.

Розглянемо математичну модель задачі вибору полиць. При розв'язанні задачі вибору полиць – спочатку знаходимо кількість j -го товару, що представляється можливим розмістити на одній полиці i -го типу з позицій геометрії, використовуючи вираз:

$$n_{ij} = \left[\frac{A_i}{a_j} \right] \cdot \left[\frac{B_i}{b_j} \right] \cdot n_j^h, \quad (3)$$

де n_j^h – кількість екземплярів j -го товару в штабелі (приймаємо $n_j^h = n_{hmaxj}$).

Потім здійснюємо перевірку виконання умови не перевищення вантажопідйомності полки, представлені виразом:

$$n_{ij} \cdot m_j \leq g_i. \quad (4)$$

У випадку порушення цієї умови n_j^h обчислюється на підставі виразу:

$$n_j^h = \left[\frac{g_i}{\left[\frac{A_i}{a_j} \right] \cdot \left[\frac{B_i}{b_j} \right] \cdot m_j} \right]. \quad (5)$$

Потім повторно обчислюємо значення n_{ij} за формулою (5), оперуючи скорегованим значенням n_j^h .

Після цього визначаємо кількість полиць i -го типу, необхідну для розміщення заданого n_j одиниць j -го товару без урахування вільного місця:

$$n_{ij}^p = \left\lceil \frac{n_j}{n_{ij}} \right\rceil. \quad (6)$$

Визначимо реальну кількість полиць i -го типу, необхідну для розміщення заданого n_j одиниць j -го товару:

$$\bar{n}_{ij}^p = \frac{n_j}{n_{ij}}. \quad (7)$$

Визначаємо кількість полиць i -го типу для розміщення j -го товару без урахування залишку:

$$=^p n_{ij} = \left\lceil \frac{n_j}{n_{ij}} \right\rceil. \quad (8)$$

Скориставшись формулами (6) і (7) визначимо відносно вільне місце:

$$W_{ij}^p = n_{ij}^p - \bar{n}_{ij}^p. \quad (9)$$

Згідно формули (9) визначаємо реальне вільне місце, яке залишилось на полиці:

$$Q_{ij} = A_i \cdot W_{ij}^p. \quad (10)$$

Сумарне значення кількості i -х полиць без урахування можливості розміщення різних товарів на одній полиці:

$$\bar{k}_i = \sum_{j=1}^{j'} n_{ij}^p. \quad (11)$$

Сумарне значення кількості i -х полиць з урахуванням можливості розміщення різних товарів на одній полиці:

$$= k_i = \sum_{j=1}^{j'} \left\lceil \frac{n_j}{n_{ij}} \right\rceil + \left[\frac{\sum_{j=1}^{j'} Q_{ij}}{A_i} \right], \quad (12)$$

де $\left[\frac{\sum_{j=1}^{j'} Q_{ij}}{A_i} \right]$ – кількість вільного місця на всіх полицях i -го типу.

Наступним кроком є обчислення витрат на розміщення j -го товару без урахування можливості розміщення різних товарів на одній полиці. При цьому використовується вираз:

$$z'_{ij} = \bar{k}_i \cdot S_i. \quad (13)$$

Витрати на розміщення j -го товару з урахуванням можливості розміщення різних товарів на одній полиці:

$$z_{ij} = \overline{k}_i \cdot S_i. \quad (14)$$

Використавши формули (11), (12), можемо підрахувати заощадження коштів на придбання полиць:

$$E_{k_i} = (\bar{k}_i - \overline{k}_i) \cdot S_i. \quad (15)$$

Відповідно, для розміщення j -го товару вибирається i'' -та полиця, що відповідає умові:

$$z_{i''j} = \min \{z_{ij}\}. \quad (16)$$

Розглянемо математичну модель задачі компоновання стелажів. При рішенні другої задачі з числа розглянутих – задачі компоновання стелажів – спочатку знаходимо кількість полиць i'' -го типу, обраних для розміщення j -го товару в ході рішення першої задачі на підставі виразу (16), що представляється можливим розмістити в одному стелажі, застосовуючи стойки l -го типу, з позицій геометрії. При цьому використовується вираз:

$$n'_{jl} = \left[\frac{C_l}{c_j \cdot n_j^h + \Delta h_j} \right], \quad (17)$$

де Δh_j – технологічний зазор між штабелем з j -м товаром і розташованою вище полицею. Δh_j обчислюється на підставі виразу:

$$\Delta h_j = 1,5 \cdot c_j. \quad (18)$$

Потім знаходимо кількість стійок l -го типу, необхідну для розміщення партії j -го товару без урахування можливості розміщення різних товарів на одній полиці. При цьому скористаємося формулою:

$$n_{jl} = 2 \cdot \left[\frac{n_{ij}^P}{n'_{jl}} \right]. \quad (19)$$

Знаходимо кількість стійок l -го типу, необхідну для розміщення заданого n_j одиниць j -го товару:

$$\bar{n}_{jl} = 2 \cdot \left(\frac{\bar{n}_{ij}^P}{n'_{jl}} \right). \quad (20)$$

Визначаємо кількість стійок l -го типу, необхідну для розміщення j -го товару з урахуванням можливості розміщення різних товарів на одній полиці:

$$\overline{\bar{n}}_{jl} = 2 \cdot \left[\frac{\overline{\bar{n}}_{ij}^P}{n'_{jl}} \right]. \quad (21)$$

Слід зазначити, що процес компоновання стелажів передбачає перевірку сумісності розглянутих типів стійок і полиць. Доцільним рішенням представляється зіставлення вантажопідйомностей відповідних типів стійок і полиць. Для цього здійснюється формування матриці коефіцієнтів:

$$K_{il} = \{0,1\}, \quad (22)$$

де $K_{il} = 1$, якщо вантажопідйомність i -ї полки g_i дорівнює вантажопідйомності l -ї стійки g_l ; $K_{il} = 0$ у протилежному випадку.

Матриця коефіцієнтів K_{il} має розмірність $i' \times l'$ і відбиває сумісність можливих типів стійок і полиць на підставі перевірки умови:

$$g_i = g_l. \quad (23)$$

Сполучення типів стійок і полиць, які не задовольняють умові, відбитій у виразі (23), надалі не розглядаються.

Розглянемо математичну модель задачі вибору стелажів. При розв'язанні третьої з чотирьох розглянутих задач – задачі вибору стелажів – спочатку знаходимо витрати, пов'язані з розміщенням

заданого n_j одиниць j -го товару на стелажах з використанням стоек l -го типу. При цьому використовується вираз

$$z_{jl} = z_{rj} + n_{jl} \cdot S_l \quad (24)$$

Потім для розміщення j -го товару вибирається стелаж з l' -ми стойками, що відповідають умові

$$z_{jl'} = \min \{z_{jl}\}. \quad (25)$$

Розглянемо математичну модель задачі компоновання складів. Розглянемо постановку задачі компоновання складів заданого типу. При цьому мається на увазі, що в результаті рішення трьох розглянутих вище задач сформована множина стелажів різних типів

$$M = \{M_\rho\}, \quad \rho = \overline{1, \rho'}, \quad (26)$$

де ρ' – число можливих типів стелажів, од.;

Крім того, задано множини можливих проїздів і ділянок приймання-відвантаження відповідно:

$$P = \{P_\beta\}, \quad \beta = \overline{1, \beta'}, \quad (27)$$

$$Z = \{Z_\alpha\}, \quad \alpha = \overline{1, \alpha'}, \quad (28)$$

де β' – число можливих проїздів, од.; α' – число можливих ділянок приймання-відвантаження, од.

Відзначимо, що функціональна структура складу, у свою чергу, визначається множиною типів стелажів M , а також матрицею вагомості їхніх безпосередніх функціонально-технологічних зв'язків:

$$C = [C_{\rho\beta}], \quad \beta = \overline{1, \beta'}, \quad \rho = \overline{1, \rho'}. \quad (29)$$

Відзначимо, що для матриці функціонально-технологічних зв'язків характерною є властивість, відбита у виразі:

$$\sum_{\beta=1}^{\beta'} C_{\rho\beta} = 1, \quad \beta = \overline{1, \beta'}, \quad \rho = \overline{1, \rho'}. \quad (30)$$

Також для успішного рішення задачі компоновання складів заданого типу необхідно, щоб були відомі обмеження на геометричні параметри і вихідні характеристики функціонування складів кожного типу, а також умови взаємного не перетинання, щільного розташування їхніх приміщень та ін.

Отже, рішення поставленої задачі, тобто вибір компоновальних рішень складів, зводиться до формування множини:

$$\{x_1^\rho, x_2^\rho, \theta^\rho\}, \quad (31)$$

де x_1^ρ, x_2^ρ – планарні координати центра ρ -го стелажа; θ^ρ – орієнтація ρ -го стелажа.

Як функціональний критерій вибираємо мінімум загальної довжини функціонально-технологічних зв'язків між стелажими, проїздами і ділянками приймання-відвантаження:

$$F_\omega^K = \min \left[\sum_{\rho=1}^{\rho'} \sum_{\beta=1}^{\beta'} C'_{\rho\beta} \cdot L'_{\rho\beta} + \sum_{\alpha=1}^{\alpha'} \sum_{\beta=1}^{\beta'} C''_{\beta\alpha} \cdot L''_{\beta\alpha} \right], \quad (32)$$

де L – довжина шляху; $L'_{\rho\beta}$ – довжина шляху від стелажа до проїзду; $L''_{\beta\alpha}$ – довжина шляху від проїзду до ділянки приймання-відвантаження.

Область припустимих рішень Ω_ω ($\omega = \overline{1, \omega'}$) задається обмеженнями на вагомості функціонально-технологічних зв'язків стелажів C , граничні значення деяких параметрів і вихідних характеристик функціонування складів. До числа таких обмежень відносяться:

- умови дискретності геометричних параметрів компоновання складів;
- умови взаємного не перетинання стелажів;
- умови щільного розміщення (для стелажів, що мають безпосередній зв'язок);
- умови сталості ширини складу.

Математично умови дискретності геометричних параметрів компоновання складів описуються виразами:

$$x_1^\rho, x_2^\rho = \zeta \cdot \frac{\Delta}{2}, \quad (33)$$

$$\theta^p \in \left\{ 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3}{2}\pi \right\}, \quad \rho = \overline{1, \rho_\omega}, \quad (34)$$

де $\zeta = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$;

Δ – величина елементарної відстані між найближчими крапками установки стелажів.

Умови взаємного не перетинання стелажів відбиті у виразі:

$$(x_1^p - x_1^\eta)^2 + (x_2^p - x_2^\eta)^2 - f^2(\theta_{\rho\eta}) \geq 0, \quad \rho = \overline{1, \rho_\omega - 1}, \quad \eta = \overline{\rho + 1, \rho_\omega}, \quad (35)$$

де $f^2(\theta_{\rho\eta})$ – функція щільного розміщення ρ -го і η -го стелажів; $\theta_{\rho\eta}$ – кут, що вказує напрямок вектору, що з'єднує центри розміщеного стелажу зі стороною до якої приєднуються розміщуваний стелаж.

Формула для знаходження значень кута $\theta_{\rho\eta}$ має вигляд:

$$\theta_{\rho\eta} = \arctg \left(\frac{x_2^p - x_2^\eta}{x_1^p - x_1^\eta} \right). \quad (36)$$

Обмеження, викликані наявністю умови щільного розміщення стелажів, описуються виразом:

$$(x_1^p - x_1^\eta)^2 + (x_2^p - x_2^\eta)^2 - f^2(\theta_{\rho\eta}) = 0 \mid C_{\rho\eta} \neq 0, \quad \rho = \overline{1, \rho_\omega - 1}, \quad \eta = \overline{\rho + 1, \rho_\omega}. \quad (37)$$

Для математичного опису умов сталості ширини складу використовується вираз:

$$\max \left(\sum_{\eta^*=\eta_1}^{\eta_2} A_{\eta^*} + \sum_{\rho^*=\rho_1}^{\rho_2} A_{\rho^*} \right) = \text{const}, \quad \rho_1, \rho_2 \in \{I_\omega \cup 0\}, \quad \eta_1, \eta_2 \in \{I_\omega \cup 0\}. \quad (38)$$

де A_{η^*}, A_{ρ^*} – геометричні параметри стелажів.

Остання задача відноситься до моделей нелінійного дискретного програмування через нелінійність функціонального критерію (32) і обмежень (35), (37), а також умов дискретності перемінних (33), (34).

При компонованні складського приміщення одними з найголовніших є:

- обмеження на взаємне не перетинання об'єктів, відбите у виразі:

$$\begin{cases} \forall_{\tilde{\rho}=1}^{\rho-1} M_{\tilde{\rho}} \cap M_{\rho} = 0 \\ \forall_{\tilde{\beta}=1}^{\beta} P_{\tilde{\beta}} \cap M_{\rho} = 0 ; \\ \forall_{\tilde{\alpha}=1}^{\alpha} Z_{\tilde{\alpha}} \cap M_{\rho} = 0 \end{cases} \quad (39)$$

- обмеження, викликані необхідністю перебування об'єктів всередині складу:

$$\begin{cases} 0 \leq x_1^p \pm \frac{a_p}{2} \cdot \sin \theta^p \pm \frac{b_p}{2} \cdot \cos \theta^p \leq X \\ 0 \leq x_2^p \pm \frac{b_p}{2} \cdot \sin \theta^p \pm \frac{a_p}{2} \cdot \cos \theta^p \leq Y ; \end{cases} \quad (40)$$

- обмеження на орієнтацію:

$$\gamma_{\rho\eta} \in \left\{ 0; \frac{\pi}{2}; \pi; \frac{3\pi}{2} \right\}, \quad (41)$$

де $\gamma_{\rho\eta}$ – можливий кут напряму щільного розміщення, при цьому $\theta^p \neq \gamma_{\rho\eta}$.

$$\theta^\eta \neq \gamma_{\rho\eta} + \pi, \quad (42)$$

$$\theta^\eta \in \left\{ 0; \frac{\pi}{2}; \pi; \frac{3\pi}{2} \right\}, \quad (43)$$

де θ^η – можлива орієнтація нового стелажу.

Формула для знаходження координат стелажу, який розміщується навколо ділянки приймання-відвантаження має вигляд:

$$\begin{cases} x_1^p = \chi_1^\varphi + \frac{R_\varphi}{2} \cdot \cos \gamma_{\rho\varphi} \cdot \sin^2 \vartheta^\varphi + \frac{S_\varphi}{2} \cdot \sin \gamma_{\rho\varphi} \cdot \cos^2 \vartheta^\varphi + \frac{a_\rho}{2} \cdot \sin \theta^\rho + \frac{b_\rho}{2} \cdot \cos \theta^\rho \\ x_2^p = \chi_2^\varphi + \frac{R_\varphi}{2} \cdot \sin \gamma_{\rho\varphi} \cdot \cos^2 \vartheta^\varphi + \frac{S_\varphi}{2} \cdot \cos \gamma_{\rho\varphi} \cdot \sin^2 \vartheta^\varphi + \frac{a_\rho}{2} \cdot \cos \theta^\rho + \frac{b_\rho}{2} \cdot \sin \theta^\rho \end{cases} \quad (44)$$

де $\chi_1^\varphi, \chi_2^\varphi$ - координати центру ділянки приймання-відвантаження; R_φ, S_φ - геометричні параметри ділянки приймання-відвантаження; ϑ^φ - орієнтація ділянки приймання-відвантаження; $\gamma_{\rho\varphi} \in \left\{0; \frac{\pi}{2}; \pi; \frac{3\pi}{2}\right\}$ - можливий кут напрямку щільного розміщення ρ -го стелажу і φ -ї ділянки приймання-відвантаження; a_ρ, b_ρ - геометричні параметри розміщеного ρ -го стелажу.

Формула для знаходження координат стелажа, який встановлюється відносно розміщеного раніше, має вигляд:

$$\begin{cases} x_1^\eta = x_1^\rho + \frac{a_\rho}{2} \cdot \cos \gamma_{\rho\eta} \cdot \sin^2 \theta^\rho + \frac{b_\rho}{2} \cdot \sin \gamma_{\rho\eta} \cdot \cos^2 \theta^\rho + \frac{a_\eta}{2} \cdot \sin \theta^\eta + \frac{b_\eta}{2} \cdot \cos \theta^\eta \\ x_2^\eta = x_2^\rho + \frac{a_\rho}{2} \cdot \sin \gamma_{\rho\eta} \cdot \cos^2 \theta^\rho + \frac{b_\rho}{2} \cdot \cos \gamma_{\rho\eta} \cdot \sin^2 \theta^\rho + \frac{a_\eta}{2} \cdot \cos \theta^\eta + \frac{b_\eta}{2} \cdot \sin \theta^\eta \end{cases} \quad (45)$$

де a_η, b_η - геометричні параметри η -го стелажу.

Наступним кроком для рішення задачі компонування складу являється необхідність розміщення проїздів і безпосередня їхня прив'язка до стелажів.

Множини можливих проїздів P характеризується:

- координатами центра - x_1^β, x_2^β ;
- орієнтацією - α^β ;
- геометричними параметрами:

1) l_β - довжина;

2) m_β - ширина, $m_\beta = \text{const}$ (по технологічним вимогам).

Відзначимо, що для матриці функціонально-технологічних зв'язків характерною є властивість, відбита у виразі:

$$\sum_{\varphi=1}^{\varphi'} T_{\beta\varphi} = 1. \quad (46)$$

Зв'язок між стелажем та проїздом відбитий у виразі:

$$\left| \pi - \left| \theta^\eta - \alpha^\beta \right| \right| = \frac{\pi}{2}. \quad (47)$$

Якщо $\theta^\eta - \alpha^\beta = 0$, то проїзд не пов'язаний зі стелажем.

Якщо не існує проїзду, який можна було б продовжити на a_η і він стикувався б з η -м стелажем, то необхідно створювати новий проїзд.

Для нового:

$$l_\beta = a_\eta. \quad (48)$$

Для подовження проїзду використовуються вирази:

$$\begin{cases} \tilde{x}_1^\eta = x_1^\eta + \left(\frac{m_\beta}{2} + \frac{b_\eta}{2} \right) \cdot \cos \theta^\eta \\ \tilde{x}_2^\eta = x_2^\eta + \left(\frac{m_\beta}{2} + \frac{b_\eta}{2} \right) \cdot \sin \theta^\eta \end{cases} \quad (49)$$

$$\begin{cases} \tilde{x}_1^\beta = x_1^\beta + \left(\frac{l_\beta}{2} + \frac{a_\eta}{2} \right) \cdot \cos \alpha^\beta \\ \tilde{x}_2^\beta = x_2^\beta + \left(\frac{l_\beta}{2} + \frac{a_\eta}{2} \right) \cdot \sin \alpha^\beta \end{cases} \quad (50)$$

Умови подовження проїзду відбиті у виразі:

$$\begin{cases} \tilde{x}_1^\eta = \tilde{x}_1^\beta \\ \tilde{x}_2^\eta = \tilde{x}_2^\beta \end{cases} \quad (51)$$

Якщо дані умови не виконуються, то необхідно розміщувати новий проїзд.
Для перерахунку параметрів проїзду використовуються вирази:

$$\begin{cases} l_\beta := l_\beta + a_\eta, \\ \begin{cases} x_1^\beta := x_1^\beta + \frac{a_\eta}{2} \cdot \cos \alpha^\beta \\ x_2^\beta := x_2^\beta + \frac{a_\eta}{2} \cdot \sin \alpha^\beta \end{cases} \end{cases} \quad (52)$$

Розглянута математична модель дозволяє формалізувати задачу компоунання складів заданого типу в залежності від різних проектних ситуацій і на основі її рішення сформувати безліч (каталог) складів різних типів.

Розглянемо математичну модель оцінки кількості варіантів компоунання складу. Вибір варіантів компоунки складу здійснюється методом направленої перебору. Необхідно із загального числа варіантів визначити можливу кількість варіантів, які задовольняють всі умови наявних обмежень і не перевищують об'єм пам'яті, виділений системою.

Основними вихідними даними для рішення цієї задачі є: D – виділена пам'ять; Z – кількість ділянок приймання-відвантаження; M – кількість стелажів; P – кількість проїздів.

Об'єм пам'яті, необхідний при визначенні координат, розраховується за формулою:

$$\kappa = \log_2 \left(\frac{X_{\max}}{\sigma} \right) + \log_2 \left(\frac{Y_{\max}}{\sigma} \right), \quad (53)$$

де X_{\max} , Y_{\max} – координати складського приміщення; σ – точність.

Об'єм пам'яті, необхідний для введення усіх параметрів ділянок приймання-відвантаження визначається:

$$v(Z) = \log_2(m) + \kappa + \log_2(p), \quad (54)$$

де m – тип; p – розміщення; κ – координати ділянки приймання-відвантаження.

Об'єм пам'яті, необхідний для введення усіх параметрів стелажів визначається:

$$v(M) = \log_2(m) + \kappa + \log_2(p) + \log_2(d) + \log_2(q), \quad (55)$$

де m – тип; p – розміщення; κ – координати; d – орієнтація стелажів; q – прив'язка стелажа до проїзду.

Об'єм пам'яті, необхідний для введення усіх параметрів проїздів визначається:

$$v(P) = \log_2(m) + \kappa + \log_2(p) + \log_2(d), \quad (56)$$

де m – тип; p – розміщення; κ – координати; d – орієнтація проїзду.

Об'єм пам'яті, необхідний для зберігання одного варіанту компоунання складу в матриці:

$$V = \log_2(Z) + \log_2(M) + \log_2(P) + Z \cdot v(Z) + M \cdot v(M) + P \cdot v(P). \quad (56)$$

Кількість варіантів, що розглядатимуться, в матриці визначаємо:

$$G = \frac{D}{V}. \quad (57)$$

Далі розв'язується задача вибору стаціонарного RFID зчитувача для складу підприємства.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

В роботі розглянута проблема розробки моделей структурно-топологічного синтезу складу підприємства, яка має велике практичне значення. Сьогодні одним із пріоритетних напрямків підвищення ефективності функціонування складу підприємства стає широке запровадження індивідуальних і типових проектних рішень із легкозбірними стелажними конструкціями, що дозволяє швидко змінювати положення полиць і конфігурацію стелажа в цілому без демонтажу всього стелажа та без використання додаткового інструмента. Розроблено математичні моделі вибору полиць, компоунання стелажів, компоунання складів. Для кожної представлені моделі вхідними даними є розв'язки попередніх задач. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методу вибору RFID зчитувача за багатьма критеріями, програмно-методичних комплексів структурно-топологічного синтезу складу підприємства.

Список бібліографічного опису

1. Какие технологии изменяют сферу складской логистики. URL: <https://iot.ru/promyshlennost/kakie-tekhnologii-izmenyat-sferu-skladskoy-logistiki>
2. Петров Э. Г. Пискалова В. П., Бескорвайный В. В. Территориально распределенные системы обслуживания К.: Техника, 1992. 208 с.
3. Демченко С. Б., Малашкін В. В., Дорош А. С., Скворон І. Я. Дослідження параметрів складських комплексів з використанням мереж Петрі. *Транспортні системи і технології перевезень*. Дніпро, 2021. Вип. 21. С. 59–70. <https://doi.org/10.15802/tstt2021/237770>.
4. Бескорвайный В. В., Соболева Е. В. Композиционная модель динамической распределенной задачи структурного синтеза территориально распределенных систем. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Системний аналіз, управління та інформаційні технології»*. 2013. №2 (976). С. 60-76.
5. Бескорвайный В. В., Соболева Е. В. Модель динамики территориально распределенной сервисной системы. *Радіоелектроніка. Інформатика. Управління*. 2012. № 2 (27). С. 74 – 81.
6. Годлевский, И. М., & Пинаева, А. А. (2014). Модели транспортных задач и структурно-топологического синтеза при стратегическом управлении логистикой дистрибуции. *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies*, (61(1103), 8–13. <https://doi.org/10.20998/%x>

References

1. Kakie tekhnologii izmeniat sferu skladskoi logistiki. URL: <https://iot.ru/promyshlennost/kakie-tekhnologii-izmenyat-sferu-skladskoy-logistiki>
2. Petrov, Je. G., V. P. Pisklakova and V. V. Beskorovajnyj. Territorial'no raspredelelynye sistemy obsluzhivaniya [Geographically distributed service systems]. K. : Tehnika Publ., 1992. 208 p.
3. Demchenko Y., Malashkin V., Dorosh A., Skovron I. Investigation of the parameters of warehouse complexes using petri nets. *Transport systems and transportation technologies*. , 2021, pp.59-70. <https://doi.org/10.15802/tstt2021/237770>.
4. Beskorovainyi V., Soboleva E. Kompozitsionnaja model' dinamicheskoi raspredelelnoj zadachi strukturnogo sinteza territorial'no raspredelelnyh system [Compositional model of dynamic distributed problem of structural synthesis of geographically distributed systems.] *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies/* 2013. №2 (976). С. 60-76.
5. Beskorovainyi V., Soboleva E. Model' dinamiki territorial'no raspredelelnoj servisnoj sistemy. *Radio Electronics Computer Science Contrl*. 2012. №. 2 (27). pp. 74 – 81.
6. Godlevskiy, I. M., and A. A. Pinaeva. Modeli transportnyh zadach i strukturno-topologicheskogo sinteza pri strategicheskome upravlenii logistikoi distrib'utsii [Transportation theory and structuraltopological synthesis models applied to strategic management of logistics distribution]. *Visnik NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. № 61. 2014. pp. 8-13. <https://doi.org/10.20998/%x>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-08>

УДК 620.3

Харченко Наталя Сергіївна, студентка

<https://orcid.org/0000-0002-8633-505X>

Сердаковський Віталій Сергійович, старший викладач

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

НЕЙРОННА МЕРЕЖА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ХВОРОБИ ПАРКІНСОНА ЗА ЗОБРАЖЕННЯМ СПІРАЛІ АРХІМЕДА

Харченко Н.С., Сердаковський В.С. Нейронна мережа для діагностики хвороби Паркінсона за зображенням спіралі Архімеда. У статті розглянуто актуальну проблему встановлення діагнозу Паркінсона на ранніх стадіях захворювання. Вибір теми дослідження обумовлено невиліковністю хвороби Паркінсона, отже вкрай гостро, на думку авторів є нагальне виявлення захворювання на ранніх стадіях. Константовано, що діагностики, для точного встановлення діагнозу нині не існує, тому залишається проведення тестів для виявлення симптомів. Одним з таких, як слушно зауважують автори є малювання спіралі Архімеда, яке має доволі високу точність під час виявлення тремору спокою. Створення алгоритму для автоматичної обробки таких зображень може допомогти у проведенні діагностики, а також моніторингу розвитку хвороби. Поєднання штучного інтелекту та інтернет медичних речей з часом зробить підключені пристрої для моніторингу стану здоров'я більш інтелектуальними. Нейронні мережі та величезні обсяги даних, що генеруються інтернет медичних речей, також можуть використовуватися для встановлення діагнозу. Авторами статті наголошено на фундаментальних можливостях нейронних мереж, їх сприятливій ролі у трансформації сфери радіології, шляхом заощадження часу та грошей медичних організацій. Розроблено нейронну мережу, яка зможе за зображенням намальованої спіралі Архімеда встановити діагноз. Дану мережу можна використовувати для проведення ранньої діагностики, а також подальшого моніторингу стану хвороби. Зважаючи на невелику вибірку зображень для навчання та тренування моделі авторами статті було прийняте рішення про збільшення вибірки шляхом перетворення зображень, а також використання згортової нейронної мережі з попереднім навчанням. У результаті проведеної роботи було створено модель, яка має точність 93.7 відсотків яка дозволить автоматизувати процес діагностики хвороби на ранніх стадіях.

Ключові слова: хвороба Паркінсона, спіраль Архімеда, сегментація зображення, нейронна мережа.

Харченко Н.С., Сердаковський В.С. Нейронная сеть для диагностики болезни Паркинсона за изображением спирали Архимеда. В статье рассмотрена актуальная проблема установления диагноза Паркинсона на ранних стадиях заболевания. Выбор темы исследования обусловлен неизлечимостью болезни Паркинсона, так что крайне остро, по мнению авторов, является неотложное выявление заболевания на ранних стадиях. Константировано, что диагностики для точного установления диагноза сейчас не существует, поэтому остается проведение тестов для выявления симптомов. Одним из таких, как справедливо замечают авторы, является рисование спирали Архимеда, которое имеет достаточно высокую точность при обнаружении тремора покоя. Создание алгоритма для автоматической обработки таких изображений может помочь в проведении диагностики и мониторинга развития болезни. Сочетание искусственного интеллекта и интернет-медицинских вещей со временем сделает подключенные устройства для мониторинга состояния здоровья более интеллектуальными. Нейронные сети и огромные объемы данных, генерируемые интернет-медицинскими вещами, также могут использоваться для установления диагноза. Авторами статьи наложены на фундаментальные возможности нейронных сетей, их благоприятную роль в трансформации сферы радиологии, путем сбережения времени и денег медицинских организаций. Разработана нейронная сеть, которая сможет по изображению нарисованной спирали Архимеда установить диагноз. Данную сеть можно использовать для проведения ранней диагностики, а также для дальнейшего мониторинга состояния болезни. Ввиду небольшой выборки изображений для обучения и тренировки модели авторами статьи было принято решение об увеличении выборки путем преобразования изображений, а также использования сверточной нейронной сети с предварительным обучением. В результате проведенной работы была создана модель, имеющая точность 93.7 процентов, которая позволит автоматизировать процесс диагностики болезни на ранних стадиях.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, спираль Архимеда сегментация изображения, нейронная сеть.

Kharchenko N. S., Serdakovsky V. S. A neural network for diagnosis of Parkinson's disease according to the Archimedes spiral. The article considers the topical problem of diagnosing Parkinson's disease in the early stages of the disease. It is stated that there is no diagnosis for exact determination of the diagnosis now, so it remains to carry out tests to detect symptoms. The choice of the study topic is due to the incurability of Parkinson's disease, therefore, detection of the disease in its early stages, according to the authors, is extremely urgent. One of them, as the authors rightly note, is Archimedes spiral drawing, which has a rather high accuracy in detecting resting tremor. Creating an algorithm for automatic processing of such images can help in the diagnosis and monitoring of disease progression. The combination of artificial intelligence and Internet medical things will eventually make connected health monitoring devices more intelligent. Neural networks and the vast amounts of data generated by Internet medical things could also be used to make diagnoses. The authors of the article overlay the fundamental capabilities of neural networks and their favorable role in transforming the field of radiology, by saving time and money for medical organizations. A neural network has been developed that will be able to make a diagnosis based on the image of the drawn Archimedes spiral. This network can be used for early diagnosis and further monitoring of the disease. Due to a small sample of images for training and training of the model, the authors of the article decided to increase the sample by image transformation, as well as the use of

convolutional neural network with pre-training. As a result of this work, a model with 93.7 percent accuracy was created, which will allow to automate the process of diagnosing the disease in its early stages.

Key words: *Parkinson's disease, Archimedes spiral image segmentation, neural network.*

Вступ. Сучасна медицина зробила великий крок у діагностиці та лікуванню такого захворювання як Паркінсона. Хоча захворювання нині є не виліковним, існують методи, які дозволяють призупинити її розвиток та покращити життя хворих. Таке лікування дозволяє лише відтермінувати момент, коли хвороба повністю «заволодіє» нервовою системою людини. Тому процес лікування необхідно розпочинати якомога раніше, аби препарати призупиняли її розвиток на ранніх стадіях. Найпершим симптомом хвороби являється тремор спокою. Він може проявлятися непомітно для самого хворого, що ускладнює діагностику. Помітний тремор вказує на те, що хвороба Паркінсона прогресує і лікування буде менш ефективним. Тому сучасна медицина головним чином працює над розробкою методів для діагностики хвороби на ранніх стадіях.

Діагностики, для точного встановлення діагнозу досі не існує, тому залишається проведення тестів для виявлення симптомів. Одним з таких них є малювання спіралі Архімеда, яке має доволі високу точність під час виявлення тремору спокою. Створення алгоритму для автоматичної обробки таких зображень може допомогти у проведенні діагностики, а також моніторингу розвитку хвороби.

Аналіз досліджень. «Хвороба Паркінсона є другим за частотою нейродегенеративним захворюванням людини (після хвороби Альцгеймера), загальна поширеність хвороби Паркінсона становить приблизно 200 випадків на 100 000 населення. Зазвичай захворювання розвивається у похилому віці – після 60 років, у той же час приблизно у кожного десятого пацієнта БП маніфестує до 50 років, а у кожного двадцятого – до 40 років» [1].

У 5-10% випадків причиною захворювання є мутації певних генів. Кожна генетична форма захворювання має особливості залежно від ураженого гена. Тип успадкування може бути як аутосомно-домінантним (і тоді захворювання, як правило, простежується в сім'ї), так і аутосомно-рецесивним (у цьому випадку захворювання може виявитися в сім'ї вперше). Однак у переважній більшості випадків захворювання є спорадичним, і точна причина його розвитку на сьогоднішній день не відома.

Як при генетичній, так і при спорадичній формах хвороби Паркінсона в основі лежить накопичення патологічних форм особливого білка – альфа-синуклеїну, скупчення якого знаходять в уражених нервових клітинах [2]. Вони викликають порушення правильного функціонування нейронів і передаються від однієї області головного мозку до іншої, викликаючи прогрес захворювання та поширення симптомів. Одним із основних регіонів головного мозку, який уражається при хворобі Паркінсона, є чорна субстанція, загибель її клітин призводить до основних рухових проявів захворювання. При цьому на сьогоднішній день показано, що захворювання не обмежується тільки цією областю і торкається багатьох інших регіонів головного мозку. Головною причиною інтересу до хвороби Паркінсона є її невиліковність, отже необхідно виявлення захворювання на ранніх стадіях. Зважаючи на те що, за допомогою спіралі Архімеда можливо доволі точно встановити діагноз на ранніх стадіях, то можливість проведення такої діагностики за допомогою нейронної мережі допоможе у боротьбі з хворобою[3].

Мета статті. У даній роботі автори мають намір розробити та навчити нейронну мережу для встановлення діагнозу хвороби Паркінсона на ранніх стадіях за спіраллю Архімеда. Для досягнення вище поставленої мети доцільно вирішити наступні завдання:

1. здійснити аналіз сучасних наукових праць стосовно проведення діагностики хвороби Паркінсона.

2. розробити нейронної мережі для обробки зображень намальованих спіралей та оцінити точності нейронної мережі.

Виклад основного матеріалу. Можливості нейронних мереж допомагають трансформувати сферу радіології, заощаджуючи час та гроші медичних організацій. Після того, як медичне зображення отримано за допомогою МРТ, комп'ютерної томографії, ультразвукового або рентгенологічного дослідження, лікар повинен проаналізувати його на наявність відхилень або ознак захворювань. Для виявлення скільки-небудь серйозного стану потрібна інтерпретація кількох візуалізаційних досліджень.

Після навчання з використанням великих наборів даних досліджень системи на основі штучного інтелекту здатні аналізувати медичні зображення та повідомляти про виявлені особливості, наприклад, невеликі пухлини, які людське око може втратити. Такі системи виявляють закономірності та надають інформацію про характеристики будь-яких відхилень від норми, заощаджуючи час лікаря.

У тих випадках, коли пацієнт має кілька знімків, зроблених протягом деякого часу, штучний інтелект також може аналізувати динаміку захворювання. Так, для перевірки роботи своєї системи на основі штучного інтелекту в корпорації Google провели експеримент: знімки запропонували вивчити шістьох сертифікованих радіологів. У тих випадках, коли діагноз ставився за єдиним знімком, штучний інтелект впорався так само або навіть краще за людей. Системі вдалося діагностувати на 5% більше випадків раку та скоротити хибнопозитивні вердикти на 11% [4].

Найбільша потенційна перевага штучного інтелекту – можливість допомогти людям залишатися бадьорими, щоб їм не доводилося відвідувати лікаря чи принаймні робити це не надто часто. Штучний інтелект та інтернет медичних речей вже поступово змінюють парадигму з «реактивної» охорони здоров'я на «проактивну».

Поєднання штучного інтелекту та інтернет медичних речей з часом зробить підключені пристрої для моніторингу стану здоров'я більш інтелектуальними. Нейронні мережі та величезні обсяги даних, що генеруються інтернет медичних речей, також можуть використовуватися для встановлення діагнозу.

Правильним інструментом для завдання класифікації зображень є згортова нейронна мережа [5], тож давайте спробуємо навчити його на наших даних як початковий базовий рівень. Оскільки ми маємо лише кілька прикладів, нашою проблемою номер один має бути переобладнання. Переобладнання відбувається, коли модель, на яку наведено занадто мало прикладів, вивчає закономірності, які не узагальнюються на нові дані, тобто коли модель починає використовувати нерелевантні функції для прогнозування. Наприклад, якщо ви, як людина, бачите лише три зображення людей, які є лісорубами, і три зображення людей, які є моряками, і серед них лише один лісоруб носить кашкет, ви можете подумати, що носити кепку — це ознака того, що ви лісоруб, а не моряк. Тоді ви зробили б досить паскудний класифікатор лісоруба/матроса [6, 10].

Збільшення даних є одним із способів боротьби з переобладнанням, але цього недостатньо, оскільки наші доповнені вибірки все ще дуже корелюють. Основна увага в боротьбі з переобладнанням має бути на ентропійній ємності моделі – скільки інформації дозволено зберігати вашій моделі. Модель, яка може зберігати багато інформації, може бути більш точною, використовуючи більше функцій, але вона також ризикує почати зберігати невідповідні функції. Між тим, модель, яка може зберігати лише кілька функцій, повинна буде зосередитися на найбільш значущих ознаках, знайдених у даних, і вони, швидше за все, будуть справді релевантними та краще узагальнювати [9].

Існують різні способи модуляції ентропійної ємності. Основним з них є вибір кількості параметрів у вашій моделі, тобто кількості шарів і розміру кожного шару. Іншим способом є використання регуляризації ваг, наприклад L1 або L2, яка полягає в примусовому примусовому примуванні ваг моделі приймати менші значення [8].

У нашому випадку ми будемо використовувати дуже невелику мережу з кількома шарами і кількома фільтрами на шар, поряд із збільшенням даних і випаданням. Відмова також допомагає зменшити переобладнання, не даючи шару бачити двічі однаковий шаблон, таким чином діючи аналогічно доповненню даних (ви можете сказати, що як відсівання, так і збільшення даних, як правило, порушують випадкові кореляції, що виникають у ваших даних).

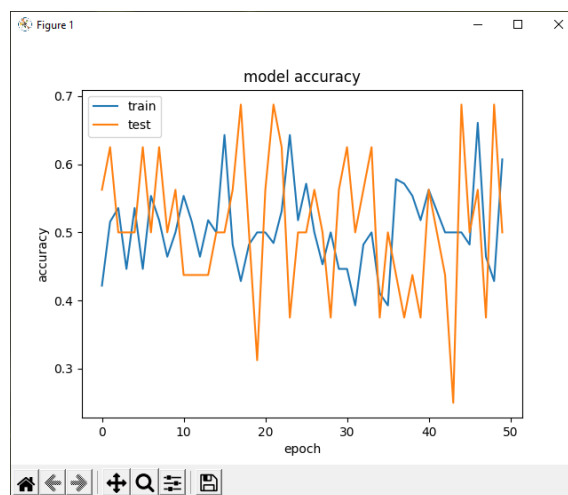


Рис. 1. Результат навчання невеликої нейронної мережі

Наступним кроком буде використання функцій вузького місця попередньо навченої мережі. Більш досконалим підходом було б використовувати мережу, попередньо навчену на великому наборі даних. Така мережа вже засвоїла б функції, корисні для більшості проблем комп'ютерного зору, і використання таких функцій дозволило б нам досягти кращої точності, ніж будь-який метод, який покладався б лише на доступні дані.

Стратегія буде наступною: створимо лише згорткову частину моделі, все до повністю пов'язаних шарів. Потім запусимо цю модель на даних навчання та перевірки один раз, записавши вихід ("характеристики вузького місця" з моделі VGG: останні карти активації перед повністю підключеними шарами) у двох масивах чисел. Потім навчимо невелику повністю підключену модель поверх збережених функцій.

У якості згорткової мережі було вирішено обрати саме VGG, адже вона може досягати точності до 92.7% під час тестування на задачах розпізнавання об'єктів на зображенні [6, 7].

Причина, чому ми зберігаємо функції в автономному режимі, а не додаємо нашу повністю підключену модель безпосередньо на заморожену згорткову базу і запускаємо все, полягає в ефективності обчислень. Запуск VGG дорогий, особливо якщо ви працюєте на ЦП, і ми хочемо зробити це лише один раз. Зауважте, що це не дозволяє нам використовувати розширення даних.

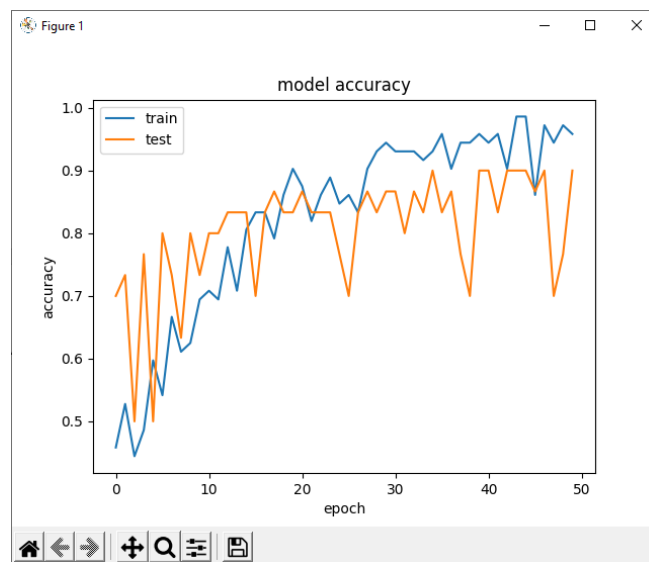


Рис. 2. Навчання за допомогою згорткової нейронної мережі

На малюнку 2 видно, що результати навчання мають більш точні показники, і на епоха 50 нам вдалося отримати точність 90%. Отже, ми зберігаємо ваги цієї мережі та будемо використовувати їх для подальшого навчання нейромережі.

Виконуємо останній крок, який представляє з себе тонке налаштування верхніх шарів попередньо навченої мережі. Щоб ще більше покращити наш попередній результат, ми можемо спробувати «точно налаштувати» останній згортковий блок моделі VGG19 поряд з класифікатором верхнього рівня. Таке налаштування полягає в тому, щоб почати з навченої мережі, а потім перенавчати її на новому наборі даних з використанням дуже малих оновлень. У нашому випадку це можна зробити в 3 кроки:

- створити екземпляр згорткової бази VGG19 і завантажити її ваги;
- додайте нашу попередньо визначену повністю підключену модель зверху та завантажте її ваги;
- заморозити шари моделі VGG19 до останнього згорткового блоку.

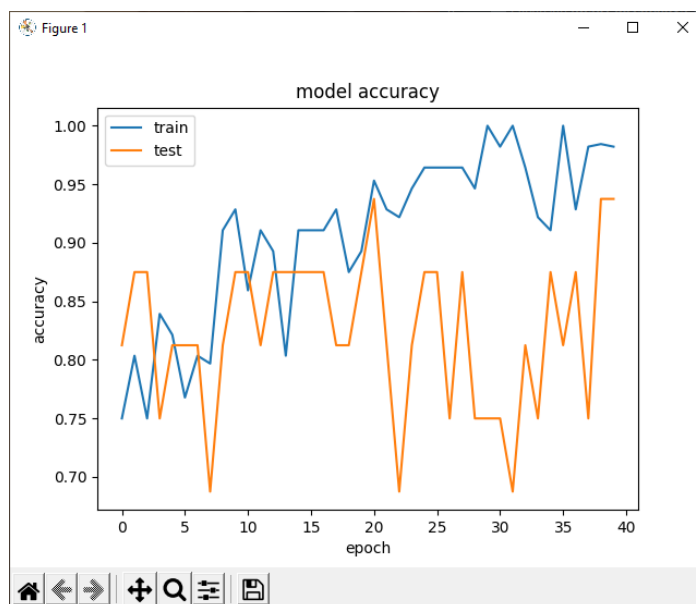


Рис. 3. Результат навчання нейронної мережі після налаштування верхніх шарів

На малюнку видно, що цього разу було проведено лише 40 епох, щоб запобігти перенавчанню нейронної мережі. В результаті, цього було отримано точність у 93.7%.

Висновки. Отже, в вищенаведеній роботі було створено нейронну мережу для діагностики хвороби Паркінсона. Зважаючи на невелику вибірку зображень для навчання та тренування моделі було прийняте рішення про збільшення вибірки шляхом перетворення зображень, а також використання згорткової нейронної мережі з попереднім навчанням. У результаті проведеної роботи було створено модель, яка має точність 93.7 відсотків. Така модель дозволить автоматизувати процес діагностики хвороби на ранніх стадіях.

Список бібліографічного опису.

1. Болезнь Паркинсона. *Научный центр неврологии*. URL: <https://www.neurology.ru/simptom-y-i-zabolevaniya/bolezni-parkinsona> (дата обращения: 30.11.2021)
2. Пчелина С. Н. Альфа-синуклеин как биомаркер болезни Паркинсона. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2011. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/alfa-sinuklein-kak-biomarker-bolezni-parkinsona> (дата обращения: 30.11.2021).
3. Левин О.С., Артемьев Д.В., Бриль Е.В., Кулуа Т.К. Болезнь Паркинсона: современные подходы к диагностике и лечению. *Практическая медицина*. 2017. №1 (102). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bolezni-parkinsona-sovremennye-podhody-k-diaagnostike-i-lecheniyu> (дата обращения: 30.11.2021).
4. Харченко Н. С., Сердаковський В. С. Ознайомчий аналіз методів діагностики хвороби Паркінсона та покращення алгоритму для обробки оцифрованого зображення спіралі Архімеда. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2021. №8. URL: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/16245399295923.pdf> (дата звернення: 30.11.2021).
5. Землевский А. Д. Исследование архитектуры сверточных нейронных сетей для задачи распознавания образов. *Вестник науки и образования*. 2017. №6 (30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-arhitektury-svertochnyh-neuronnyh-setey-dlya-zadachi-raspoznavaniya-obrazov> (дата обращения: 30.11.2021).
6. Сравнение фреймворков для глубокого обучения: TensorFlow, PyTorch, Keras, MXNet, Microsoft Cognitive Toolkit, Caffe, etc. URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/443874/> (дата обращения: 30.11.2021).

References.

1. Pahwa R., Lyons K. E. Early diagnosis of Parkinson's disease: recommendations from diagnostic clinic guidelines *Am J Manag Care*. 2010. Vol. 16 (4). P. 94-99.
2. Hughes R. C. Parkinson's Disease and its Management. *BMJ: British Medical Journal*. 1994. Vol. 308(6923). P. 281.
3. Rizek P., Kumar N., Jog M. S. An update on the diagnosis and treatment of Parkinson disease. *Cmaj*. 2016. Vol. 188(16). P. 1157-1165.
4. An early diagnosis is not the same as a timely diagnosis of Parkinson's disease / R. N. Rees et al. *F1000Research*. 2018. Vol. 7. P. 1106. URL: <https://doi.org/10.12688/f1000research.14528.1> (date of access: 29.11.2021).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-09>

УДК 004.912

Гарбузенко Олександр Віталійович, магістр

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

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

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

ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТІ ЗАСВОЄННЯ СЕМАНТИЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ СЛОВАМИ ПРИРОДНОЇ МОВИ МОДЕЛЯМИ МЕТОДУ WORD2VEC У ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ НАСТРОЇВ

Гарбузенко О. В. П'ятикоп О. Є. Порівняння властивості засвоєння семантичних зв'язків між словами природної мови моделями методу Word2Vec у задачі аналізу настроїв. Дана робота присвячена дослідженню ефективного визначення настрою англійських постів з соціальних мереж, що базується на перетворенні слів у векторні представлення за допомогою методу Word2Vec. У роботі описані та проаналізовані існуючі методи сентимент аналізу, проаналізовано моделі Continuous Bag of Words (CBOW) та Skip-gram у складі методу Word2Vec, проведено порівняння їх властивостей при засвоєнні семантичних зв'язків між словами природної мови. Описано експериментальне дослідження щодо використання зазначених моделей при різних функціях тренування.

Ключові слова: сентимент аналіз, визначення настроїв, англійський пост, векторне представлення, машинне навчання, skip-gram, CBOW.

Гарбузенко А. В. Пятикоп Е. Е. Сравнение свойства усвоения семантических связей между словами естественного языка моделями в составе метода Word2Vec в задаче анализа настроений. Данная работа посвящена исследованию эффективного определения настроения англоязычных постов из социальных сетей, базирующегося на преобразовании слов в векторные представления с помощью метода Word2Vec. В работе описаны и проанализированы существующие методы сентимента анализа, проанализированы модели Continuous Bag of Words (CBOW) и Skip-gram в составе метода Word2Vec, приведено сравнение их свойств при установлении семантических связей между словами естественного языка. Описано экспериментальное исследование использования указанных моделей при различных функциях тренировки.

Ключевые слова: сентимент анализ, определение настроений, англоязычный пост, векторное представление, машинное обучение, skip-gram, CBOW.

Harbuzenko O. V. Piatyko E. E. Comparison of the properties of learning semantic relationships between words of a natural language by models of the Word2Vec method in the problem of sentiment analysis. This article is devoted to the research of the effective sentiment analysis method of English-language posts from social networks, based on the conversion of words into vector representations using the Word2Vec method. The paper describes and analyzes the existing methods of sentiment analysis, analyzes the Continuous Bag of Words (CBOW) and Skip-gram models as part of the Word2Vec method, provides a comparison of their properties when establishing semantic relationships between words in a natural language. An experimental study of the use of these models for various training functions is described.

Keywords: sentiment analysis, mood determination, social media post, vector representation, machine learning, skip-gram, CBOW.

Постановка наукової проблеми.

Сьогодні вже важко уявити без можливостей Інтернету та безлічі соціальних мереж, які надають людині можливість обмінюватися думками та емоціями у електронному вигляді. Щодня у соціальних мережах користувачі висловлюють свою точку зору або передбачення про той чи інший об'єкт або подію. Такі записи, частіш за все, мають на меті передавати інформацію та, зокрема, настроїв. Ці відомості представляють собою емоційно забарвлений текст, а множина таких текстів – це актуальне і цінне джерело для соціально-економічних досліджень: від глобальної статистики до думок про певний товар чи послугу. Тому останнім часом швидкий розвиток отримала область аналізу емоційності (sentiment analysis) - сімейство методів обробки природної мови, присвячене ідентифікованню та визначенню емоційного забарвлення тексту.

При цьому, пости з соціальних мереж мають свої особливості – невелике повідомлення може у собі граматичні помилки, неологізми, сарказм та ін. Отже так важливо винаходити та покращувати методи аналізу настроїв для сучасного інформаційного середовища. Актуальним підходом є використання методів машинного навчання, що можуть переймати контекст та зміст сучасної мови у соціальних мережах. При цьому, склад попередньої обробки даних залежить від конкретних обраних методів для визначення настроїв. Як представник методів машинного навчання, у дослідженнях використовується Word2Vec. Цей інструмент, розроблений компанією Google, може навчатися на текстових даних та перетворювати слова у їх векторне представлення, при цьому зберігає семантичні зв'язки всіх слів у певній мірі.

Word2Vec — це назва класу моделей нейронних мереж, які, маючи немаркований навчальний корпус, створюють вектор для кожного слова в корпусі, що кодує його семантичну інформацію. Ці вектори корисні з двох основних причин [6, 10, 11]:

– можна виміряти семантичну подібність між двома словами, обчислюючи косинусну схожість між відповідними векторами слів.

– можна використовувати ці вектори слів як функції для різних контрольованих завдань NLP, таких як класифікація документів, розпізнавання іменованих об'єктів та аналіз настроїв.

Семантична інформація, що міститься в цих векторах, робить їх потужними функціями для виконання цих завдань.[7]

Створені векторні представлення та експертні оцінки настроїв текстів вже використовуються для навчання моделі-класифікатора, що добре працює з векторами характеристик (ознак), за якими слова відносяться до певного класу (у даному випадку, настрою). Зазвичай, це лінійні моделі з різними функціями втрат, наприклад, метод опорних векторів. З точки зору завдання класифікації за настроями, перетворення слів на вектори є способом зниження розмірності та/або стандартизації вихідних даних.

Щоб визначення настроїв англійських постів було ефективним з точки зору правильного визначення класу настрою, необхідно провести експериментальне дослідження, що дозволить виявити, яку з моделей, що представлені методом Word2Vec, доцільніше використовувати для перетворення вихідних текстів у вектори для моделі-класифікатора.

Щоб обрати модель з кращою ефективністю з точки зору кінцевого визначення настроїв тексту, слід вирішити наступні завдання:

– забезпечити моделі навчальною та тестовою вибірками англійських текстів (постів) з соціальних мереж, що мають експертні оцінки (щонайменше – позитивні, негативні чи нейтральний зміст);

– організувати процес попередньої обробки текстів: визначити надлишкові елементи текстів (імена користувачів, посилання, теги, знаки пунктуації, тощо); визначити спосіб попередньої обробки текстів, згідно з NLP підходами, що може покращити навчання семантичним зв'язкам;

– організувати процес навчання моделі перетворення тексту на вектори та визначення якості відображення семантичних зв'язків у векторних представленнях;

– організувати процес навчання класифікатора з оцінкою ефективності класифікації за декількома спеціальними метриками (precision, recall, f1-score та accuracy);

– організувати процес класифікації цільових даних та застосувати методи візуального представлення інформації за результатами класифікації (розподіл екземплярів у класах) для остаточної оцінки ефективності визначення настроїв.

Метою роботи є аналіз та порівняння властивостей моделей Continuous Bag of Words (CBOW) та Skip-gram у складі методу Word2Vec при засвоєнні семантичних зв'язків між словами природної мови; вибір моделі з кращим показником для застосування при визначенні (класифікації) настрою англійських постів із соціальних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як зазначається у багатьох роботах – для вирішення задач сентимент аналізу можна використовувати лексемний метод, метод опорних векторів, наївний класифікатор Баєса та метод максимальної ентропії та ін. Недоліком методу опорних векторів є те, що він здійснює бінарну класифікацію, яка дозволить розділити дані тільки на дві категорії: дані без інформаційно-психологічних впливів та дані з інформаційно-психологічними впливами. Основний недолік наївного класифікатора Баєса - неможливість врахування залежності результату від комбінації ознак (слів). Спільним недоліком лексемного методу, наївного класифікатора Баєса та методу максимальної ентропії є необхідність складання словників, що вимагає тісної співпраці з лінгвістами [1-3].

Для лексемного та деяких інших методів мається складність попереднього етапу сентимент-аналізу: побудова словника та лінгвістична обробка. Але, незважаючи на те, що деякі методи обходяться без попередньої лінгвістичної обробки, точність класифікації може бути нижчою, ніж при зниженні розмірності та приведення вихідних даних до стандартного вигляду. Прикладом стандартизації вихідних даних може бути перетворення слів, речень, або цілих документів у вектори ознак для подальшої класифікації доступними моделями. Це значить, що якість класифікації залежить від вигляду документу, у якому він поданий для обробки та з яких компонентів складається вектор ознак [4, 5].

Було виявлено, що зважування векторів більш ефективне. Це означає, що наявність терміну в тексті важливіше, ніж його частота. Такі вектори представляють собою набір одиниць, на місці, де термін зустрічається у тексті; та нулів, якщо навпаки. Вектори на основі частоти створюються від кількості надходжень певного об'єкту в класі текстів. [7].

Також, є інші підходи, що полягають у створенні, так званих, вкладень слів (англ. word embedding). У цих підходах моделі навчаються на великій кількості вихідних текстів природною мовою, та можуть повертати векторні представлення переданих слів, знаходити схожі слова за допомогою складення та віднімання векторів. При цьому, модель намагається зберегти семантичні зв'язки слів з вихідних даних. До таких методів відносяться набір моделей Word2Vec або GLOVE. Наприклад, Word2Vec складається з двох пов'язаних моделей: Skip-gram та Continuous Bag of Words. Ці моделі використовуються для створення так званих вкладень слів. Skip-gram та Continuous Bag of Words представляють собою плоскі двошарові нейронні мережі. Після навчання вони можуть відтворювати певний лінгвістичний контекст слів, зокрема, семантичні зв'язки різних типів. Для навчання Word2Vec використовує великий набір текстів, наприклад, складом у декілька мільйонів слів. На основі проаналізованих текстів виробляється векторний простір, зазвичай з декількома сотнями вимірів, де для кожного унікального слова з цього навчального набору текстів призначається спеціальний вектор. Дані вектори слів розташовуються в побудованому векторному просторі так, що слова, які мають певні семантичні зв'язки у текстах, представляють схожі вектори, тобто розташовані близько один до одного в побудованому моделями векторному просторі [6, 8]. Використання таких методів у задачі сентимент аналізу є досить новим підходом і має багато аспектів для вивчення. Наприклад, як визначається якість навчання моделі методу Word2Vec і як це впливає на подальшу класифікацію текстів за настроями.

Дослідження методів автоматичного аналізу настроїв в соціальних мережах показало, що найбільш придатними для виявлення у текстах та мультимедійних даних інформаційно-психологічних впливів та емоційної забарвленості є нейронні мережі, оскільки вони не потребують складання словників, обов'язкової попередньої лінгвістичної обробки текстів, можуть застосовуватися до різних типів даних та здатні здійснювати класифікацію за декількома категоріями, що дозволить виявляти різні типи інформаційно-психологічного впливу [2, 3].

Навчання моделей-класифікаторів, заснованих на нейронних мережах, проводиться з вчителем. Рекомендується проводити навчання як експеримент із зворотнім зв'язком та аналізом результатів. Для такого експерименту потрібно визначити систему та її компоненти, у якій проводиться навчання та методи цього навчання. Невід'ємним є визначення підходів до тестування системи, вимірювання характеристик та їх аналіз. Важливим є визначення відношення навчальних та тестових даних. Вдалим рішенням є вибирати для навчання більшу кількість екземплярів (80-90% від загальної кількості), при цьому, випадковим чином вибираючи дані з загального набору на кожній епісі навчання [3, 5].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

При вивченні підходів до аналізу настроїв було з'ясовано, що методи засновані на лексичному підході (зі словниками), мають слабкості:

- велика залежність від предметної області;
- помилкове визнання нейтрального контексту полярним;
- нездатність обробки сарказму, помилкових слів та неологізмів (до реорганізації).

Отже, доцільним буде використання моделей, що перетворюють слова на вектори, бо вони можуть бути менш залежними від предметної області, а також визначають значущість слів у певних випадках.

З описаних підходів, найновішим є проєкт Word2Vec. При навчанні, може використовуватись одна з двох головних моделей: або skip-gram та CBOW (Continuous Bag of Words), архітектура яких наведена на рисунку 1.

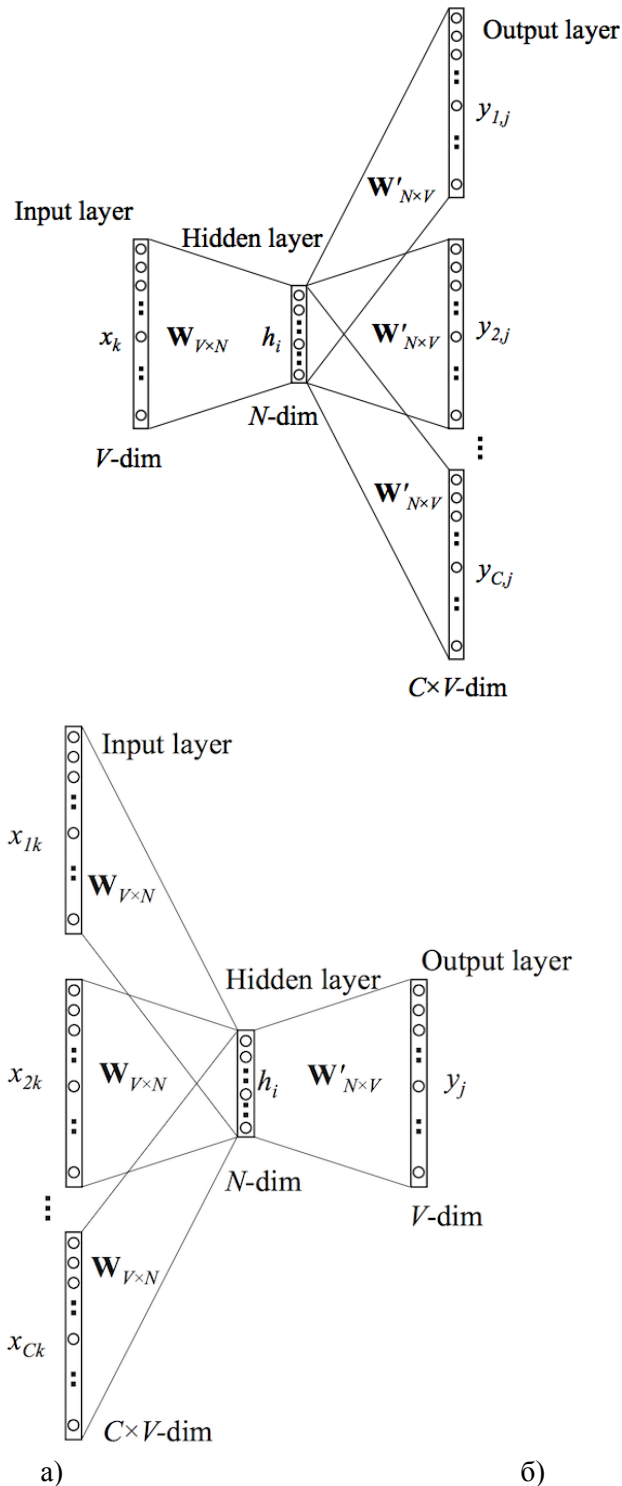


Рисунок 1 – Архітектура нейронних мереж skip-gram [9] та CBOW [10]

Skip-gram – це підклас імовірнісної мовної моделі для передбачення наступного елемента в такій послідовності у вигляді моделі Маркова $(n - 1)$ порядку. Моделі n -gram зараз широко використовуються в теорії ймовірності, комунікації, комп'ютерній лінгвістиці (наприклад, статистичній обробці природної мови), обчислювальній біології (наприклад, аналізі біологічної послідовності) та стиснення даних. [13] На рисунку 1 а) представлено схематичне зображення нейронної мережі skip-gram. На представленій схемі x представляє вектор із одноразовим кодуванням, що відповідає вхідному слову в навчальному екземплярі, а $\{y_1, \dots, y_C\}$ — вектори, закодовані одноразовим способом, що відповідають вихідним словам у навчальному екземплярі. Матриця $V \times N$ W є ваговою матрицею між вхідним шаром і прихованим шаром, i -й рядок якого представляє ваги, що відповідають i -му слову у словнику. Інтерес представляє навчання вагової матриці W , оскільки вона містить векторні кодування всіх слів нашого словника (як його рядки).

Кожен вектор вихідного слова також має асоційовану вихідну матрицю $W' N \times V$. Також є прихований шар, що складається з N вузлів (точний розмір N є навчальним параметром).

На рисунку 1 б) представлено схематичне зображення нейронної мережі Continuous Bag of Words. Зі схеми можна побачити, що модель CBOW є дзеркальним відображенням skip-gram. Вхідний шар складається з одноразово закодованих вхідних контекстних слів $\{x_1, \dots, x_C\}$ для вікна слів розміру C і словника розміру V . Прихований шар є N -вимірним вектором h . Нарешті, вихідний рівень є вихідним словом y у навчальному прикладі, яке також кодується одноразово. Вхідні вектори з'єднані з прихованим шаром за допомогою матриці W ваги $V \times N$, а прихований шар підключений до вихідного шару через матрицю $W' N \times V$.

Зазначені моделі, CBOW та skip-gram, видають подібні результати при різних обчислювальних витратах. Але головна особливість цих моделей – здатність уловлювати певні ступені подібності слів: семантичні та синтаксичні закономірності, що однак може бути корисним при аналізі тональності. Деякими дослідженнями було доведено, що модель skip-gram краще навчається семантичним зв'язкам слів, отже, може бути більш доцільною для створення усереднених векторних представлень текстів для подальшої класифікації [4].

Метою навчання моделі skip-gram є пошук уявлень слів, які є корисними для передбачення навколишніх слів у реченні чи документі. Ідея моделі Continuous Bag of Words полягає ж у тому, щоб отримувати визначене за контекстом слово, передаючи набір слів у якості вхідних параметрів.

Модель Word2Vec може бути треновано за допомогою функцій: hierarchical softmax (ієрархічна нормалізована експоненціальна функція) та/або негативним вибиранням (negative sampling) [14-15].

Softmax (нормалізована експоненціальна функція) - це функція вихідного рівня, яка активує кожен із вузлів на останньому етапі обчислення нейронної мережі. Має вигляд, як вираз (1):

$$p(w_j | w_l) = \frac{\exp(v'_{w_j} \cdot v_{w_l})}{\sum_{w=1}^W \exp(v'_w \cdot v_{w_l})} \quad (1)$$

де: v_w – вхідне векторне представлення слова w ; v'_w – вихідне векторне представлення слів; W – кількість слів у словнику (унікальні слова з навчального набору).

Ієрархічний softmax використовує двійкові дерева, де листя є ймовірністю слів – лист з індексом j є ймовірністю j -го слова та має позицію j у вихідному векторі softmax.

Кожне зі слів може бути досягнуто від кореня до внутрішніх вузлів, які являють собою ймовірнісну масу на цьому шляху.

Ідея використання negative sampling (негативної вибірки) полягає в концепції контрастної оцінки шуму (аналогічно генеративним змагальним мережам), за якою хороша модель має відрізнити підроблений сигнал від реального з допомогою логістичної регресії. Крім того, мотивація негативної мети вибірки аналогічна стохастичному градієнтному спуску: замість того, щоб щоразу змінювати всі ваги з урахуванням усіх тисяч спостережень, які є, використовується тільки K з них і різко збільшуючи обчислювальну ефективність (залежить від кількості негативних зразків).

Авторами досліджено, що hierarchical softmax дає кращі показники для рідкісних слів, тоді як negative sampling показує кращі показники для слів, що зустрічаються частіше. При цьому, остання функція краще працює з векторами з меншим числом вимірів. Зі збільшенням числа тренувальних епох ієрархічна softmax бути корисною перестає [6, 8, 4]. Проведено дослідження щодо цих тверджень.

Розмір навчального набору текстів та налаштування параметрів моделей може сильно вплинути на якість їх якості. Точність моделей можна покращити наступними способами:

- вибрати більш релевантну, з огляду на навчальні дані та параметри, архітектуру;
- збільшити кількість навчальних текстів;
- збільшенням кількості вимірів для побудови векторних представлень;
- змінити розмір вікна, за яким розглядається контекст слів.
- налаштувати параметри навчання, наприклад, випадкове ігнорування слів з пороговою частотою.

Кожен зі способів може подовжувати час, необхідний для навчання, через збільшення обчислювальної складності задачі [8].

Точність моделей, зазвичай, зростає зі збільшенням кількості навчальних слів, та зі зростанням кількості вимірів векторних представлень. Було досліджено, що збільшення обсягу тренувальних

даних у два рази призводить до зростання обчислювальної складності, що еквівалентно до подвоєння кількості вимірів векторних представлень [6].

При визначенні настроїв для моделей Word2Vec важливо передавати семантичні залежності у векторних представленнях слів. Перевірити навчену модель можна за допомогою еталонних пар слів з семантичними зв'язками типу «однина-множина», «країна-столиця» та ін. Оцінкою в такому випадку можна вважати відношення правильно визначених пов'язаних слів у парах до загальної кількості перевірюваних пар [12].

Мінімальна обробка вхідних даних повинна включати у себе видалення зайвих символів з текстів, наприклад, як переноси рядків. Сам текст повинен розбиватися на токени, наприклад, за допомогою відповідного методу NLTK. Тільки в такому вигляді дані придатні для навчання Word2Vec.

В експериментальній програмі було використано реалізацію Word2Vec у бібліотеці gensim. Оскільки задачею є створення векторних представлень англійських постів із соціальних мереж, то й навчання вкладенням слів потрібно проводити на вибірці постів із соціальних мереж. У таблиці 1 представлені результати обчислення коефіцієнта передачі семантичних зв'язків для різних архітектур моделей у Word2Vec та різних функцій для навчання.

Таблиця 1. Коефіцієнти засвоєння семантичних зв'язків для різних моделей Word2Vec

Алгоритм навчання / архітектура моделі	skip-gram	CBOW
hierarchical softmax	0.04208	0.00203
negative sampling	0.01239	0.00132

З результатів видно, що комбінація архітектури skip-gram з функцією hierarchical softmax дає кращі результати передачі семантичних зв'язків. Слід також зазначити, що для Word2Vec, вибірка в 200 тисяч текстів не є великою, отже, можна досягти кращих результатів навчання цих моделей. Тим не менш, такого результату достатньо для того, щоб створювати векторні представлення постів для подальшої класифікації з точністю (accuracy) 0.6 – 0.6. За 5 експериментів модель skip-gram навчалася в середньому за 21 секунду, а CBOW за 16 секунд.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Було проведено ряд експериментів з моделями Word2Vec. З'ясовано, що модель skip-gram видає найвищу точність при великому обсязі навчальних текстів. При цьому, дана модель, при використанні функції hierarchical softmax для навчання на постах з соціальних мереж, також надає найвищу точність у визначенні семантично пов'язаних слів. Проте CBOW є менш обчислювальною витратною, й видає результати подібної, але меншої точності.

На якість навчання моделей Word2Vec може впливати безліч факторів. Обрані методи попередньої обробки даних потенційно впливають на склад навчальних даних та на передані таким чином зв'язки між словами. Параметри при навчанні нейронних мереж також мають великий вплив на точність моделей, наприклад, налаштування випадкового викидання частин слів у текстах може позитивним чином вплинути на організацію векторного простору слів. Усе це може стати об'єктом подальших досліджень.

Беручи до уваги отримані результати, можна створювати більш ефективні підходи до реалізації систем аналізу / моніторингу настроїв у соціальних мережах. Такі системи можна використовувати у соціально-економічних дослідженнях, маркетингу, тощо.

Список бібліографічного опису

1. Sentiment Analysis and Opinion Mining Techniques [Електронний ресурс] : стаття / Bing Liu – 2012 – Режим доступу: <https://www.cs.uic.edu/~liub/FBS/SentimentAnalysis-and-OpinionMining.pdf>
2. Sentiment analysis algorithms and applications: A survey [Електронний ресурс] : стаття / Medhata, Wala; Hassan, Ahmed – 2014 – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447914000550>
3. Методи автоматичного аналізу тональності контенту у соціальних мережах для виявлення інформаційно-психологічних впливів. [Електронний ресурс] : стаття / Д. В. Шингалов, С. В. Мелешко, Р. М. Минайленко, В. А. Резніченко // Machinery in agricultural production, industry machine building, automation – 2017 – Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/6737/1/29.pdf>
4. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality [Електронний ресурс] : стаття / Tomas Mikolov, Ilya Sutskever, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean – 2013 – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1310.4546.pdf>

5. Machine learning methods: An overview [Електронний ресурс] : стаття / Ravil Muhamedyev – 2015 – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/320550516_Machine_learning_methods_An_overview
6. Logistic Regression Relating Patient Characteristics to Outcomes Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space [Електронний ресурс] : стаття / Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean – 2013 – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1301.3781.pdf>
7. Feature Selection and Weighting in Sentiment Analysis [Електронний ресурс] : стаття / O'Keefe, Tim; Koprinska, Irena – 2006 – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.709.1463&rep=rep1&type=pdf>
8. Google Code | Archive – Word2Vec [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Tool for computing continuous distributed representations of words – 2013 – Режим доступу: <https://code.google.com/archive/p/Word2Vec/>
9. Word2Vec Tutorial Part I: The Skip-Gram Model [Електронний ресурс] : стаття / Alex Minnaar – 2015 – Режим доступу: <http://alexminnaar.com/2015/04/12/word2vec-tutorial-skipgram.html>
10. Word2Vec Tutorial Part II: The Continuous Bag-of-Words Model [Електронний ресурс] : стаття / Alex Minnaar – 2015 – Режим доступу: <http://alexminnaar.com/2015/05/18/word2vec-tutorial-continuousbow.html>
11. Sentiment Analysis with Word Embedding [Електронний ресурс] : стаття / Deho Oscar Blessed, A. William Agangiba, Felix Larbi Aryeh, Jeffery Antwi Ansah – 2018 – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/328523241_Sentiment_Analysis_with_Word_Embedding
12. Gensim | Documentation | Word2Vec Model | Evaluation [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] – Режим доступу: https://radimrehurek.com/gensim/auto_examples/tutorials/run_word2vec.html#evaluating
13. Syntactic Dependency-based N-grams as Classification Features [Електронний ресурс] : стаття / Features Grigori Sidorov, Francisco Velasquez, Efstathios Stamatatos, Alexander Gelbukh, Liliana Chanona-Hernández – 2013 – Режим доступу: https://www.cic.ipn.mx/~sidorov/sn_grams_MICA2012.pdf
14. Effectiveness of Hierarchical Softmax in Large Scale Classification Tasks [Електронний ресурс] : стаття / Abdul Arfat Mohammed, Venkatesh Umaashankar – 2015 – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1812.05737.pdf>
15. Incremental Skip-gram Model with Negative Sampling [Електронний ресурс] : стаття / Nobuhiro Kaji, Hayato Kobayashi – 2015 – Режим доступу: <https://aclanthology.org/D17-1037.pdf>

References

1. Bing Liu. Sentiment Analysis and Opinion Mining, Morgan & Claypool Publishers, May 2012;
2. Walaa Medhat, Ahmed Hassan, Hoda Korashy, Sentiment analysis algorithms and applications: A survey, Ain Shams Engineering Journal, Volume 5, Issue 4, 2014, Pages 1093-1113, ISSN 2090-4479;
3. Dmitry Shyngalov, Yelyzaveta Meleshko, Roman Mynaylenko, Vitaliy Reznichenko. Methods of automated sentiment analysis on social networks, Machinery in agricultural production, industry machine building, automation, 2017, Col.30, ISSN 2409-9392;
4. Tomas Mikolov, Ilya Sutskever, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. arXiv:1310.4546v1;
5. Muhamedyev, Ravil. (2015). Machine learning methods: An overview. CMNT. 19. 14-29;
6. Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean. Logistic Regression Relating Patient Characteristics to Outcomes Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. arXiv:1301.3781v3;
7. Tim O'Keefe, Irena Koprinska. Feature Selection and Weighting in Sentiment Analysis. DOI:10.1.1.709.1463;
11. Oscar Blessed, Deho & Agangiba, A. & Aryeh, Felix & Ansah, Jeffery. (2018). Sentiment Analysis with Word Embedding. 1-4. 10.1109/ICASTECH.2018.8506717.
13. Sidorov G., Velasquez F., Stamatatos E., Gelbukh A., Chanona-Hernández L. (2013) Syntactic Dependency-Based N-grams as Classification Features. In: Batyrshin I., Mendoza M.G. (eds) Advances in Computational Intelligence. MICAI 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7630. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37798-3_1
14. Mohammed, A.A., & Umaashankar, V. (2018). Effectiveness of Hierarchical Softmax in Large Scale Classification Tasks. 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 1090-1094.
15. Kaji, N., & Kobayashi, H. (2017). Incremental Skip-gram Model with Negative Sampling. EMNLP.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-10>

УДК 621.3

Каганюк Олексій Казимирович к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0003-4616-8768>**Черняшук Наталія Леонідовна** д.пед.н., професор<https://orcid.org/0000-0003-4616-8768>**Подоляк Володимир Миколайович**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-8521-1258>**Багнюк Наталія Володимирівна**, к.т.н., доц.,<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>**Свиридюк Катерина Анатоліївна**, магістр<https://orcid.org/0000-0003-0138-3931>

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО РОЗРОБЦІ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ.

Каганюк О. К., Черняшук Н.Л., Подоляк В. М., Багнюк Н.В., Свиридюк К.А. Дослідження статичних характеристик по розробці мобільного додатку. У цій статті розглядаються питання щодо дослідження статичних характеристик. Проводиться аналіз отриманих результатів, виходячи з яких формується базова платформа зі створення програмного забезпечення. Здійснюється порівняльна оцінка. Для дослідження використовуються найбільш доступні та практичні інструменти, які дозволяють провести аналіз статичних характеристик для подальшого застосування у побудові мобільних додатків.

Ключові слова: автоматизований процес, комп'ютерна підсистема, супутникова антенна, мікроконтролер.

Каганюк А. К., Черняшук Н.Л., Подоляк В. Н., Багнюк Н.В., Свиридюк Е.А. Исследование статических характеристик по разработке мобильного приложения. В данной статье рассматриваются вопросы по исследованию статических характеристик. Проводится анализ полученных результатов, на основании которых формируется базовая платформа по созданию программного обеспечения. Осуществляется сравнительная оценка. Для исследования, используются наиболее доступные и практические инструменты, которые позволяют провести анализ статических характеристик для дальнейшего применения в построении мобильных приложений.

Ключевые слова: : web – сайти, мобільні програми, статичні характеристики, кластери..

Kaganyuk A., Chernyashchuk N., Podoliak V., Bahniuk N., Svyrydiuk K. Investigation of static characteristics for the development of a mobile application. This article discusses questions on the study of static characteristics. The analysis of the results obtained is carried out, on the basis of which the basic platform for the creation of software is formed. Comparative evaluation is in progress. For research, the most accessible and practical tools are used that allow analyzing static characteristics for further use in building mobile applications.

Key words: : websites, mobile applications, static characteristics, clusters.

Постановка проблеми

Кількість користувачів Інтернет у світі і в Україні зокрема, щороку збільшується. Сьогодні Всесвітня мережа стала невід'ємною частиною життя як у розвинених країнах, так і у таких, що розвиваються. Завдяки стрімким темпам зростання Інтернет, дедалі частіше у його користувачів постає питання щодо розроблення якщо не власного веб - сайту, то хоча б індивідуальної веб - сторінки. Саме через це ми все частіше чуємо слово «CMS».[1].

З розвитком сучасних інноваційних технологій стає можливість втручатись в різні сфери сьогодення.[2, 9, 10]. Мобільні пристрої заповнили майже всю планету. А оскільки вони мають доступ до Інтернет, вони стають все більш популярні і відповідно, кількість користувачів, постійно збільшується. Це пояснюється тим, що вони використовуються не тільки для зв'язку або для ігор, їх можна використовувати і для вирішування більш складних задач. Це зручно, комунікабельно та оперативно.[3]. При розробці мобільного веб-сайту на базі системи керування вмістом Drupal постає багато проблем під час налаштування мультисайтингу та бази даних. Найбільш вивченими є питання вибору необхідних модулів та налаштування шаблону. Однією з найпотужніших компаній по розробці веб-сайтів на базі СКВ Drupal є InternetDevels.[4].

Drupal — система керування вмістом, яка використовується також як каркас для веб-додатків, які дозволяють написання мовою PHP де використовується як сховище бази даних. Drupal є вільним програмним забезпеченням, захищеним ліцензією GPL, якій розвивається зусиллями ентузіастів з усього світу[5].

Мета дослідження: Залишаються актуальними питаннями щодо доцільності створення мобільних версій веб-сайтів за допомогою Drupal. Для цього необхідно, перш за все, дослідити та порівняти характеристики створеного програмного забезпечення та його аналогів [3].

В якості методів дослідження, для розробки мобільних версій веб – сайтів, ми будемо використовувати найбільш доступні та практичні інструменти, які дозволять провести аналіз

статичних характеристик, а також проведення множино – регресійні та кластерні аналізи. Для проведення досліджень, будемо використовувати програмне забезпечення – IBM SPSS Statistics [6, 7, 8].

Для проведення якісного дослідження, перш за все, необхідно знайти достовірні дані, оглянувши безліч мобільних веб-сайтів. Для цього було обрано більш як 50 сайтів, які були схожі між собою по алгоритму розробки. За допомогою он-лайн сервіса <http://prlog.ru/> були зазначені наступні характеристики, як:

- час завантаження сторінки;
 - найбільший ресурс;
 - найменший ресурс;
 - найшвидший ресурс;
 - найповільніший ресурс;
 - загальний час усіх ресурсів.
- Інструментами для збору даних стали також додатки для браузеру Mozilla Firefox – Yslow та Page Speed. З їх допомогою було виміряно:
- розмір сторінки;
 - кількість HTTP запитів;
 - загальну кількість ресурсів;
 - загальний розмір усіх ресурсів.

Для визначення коефіцієнта мобільності, тобто значення, що у відсотках показує наскільки сайт оптимізований під мобільні пристрої, було використано он-лайн сервіс W3C mobileOK Checker.

1. Аналіз статистичних характеристик

Представлені дані відносяться до інтервальної шкали, що сприяє розрахунку статистичних характеристик, оскільки, в основному вони розраховуються для змінних величин, які відносяться до інтервальної шкали.

В результаті була отримана статистична таблиця, частина якої наведена нижче (табл.1), яка містить наступні змінні [9]:

середнє значення – це арифметичне середнє виміряних значень; воно визначається як сума значень, поділена на їх кількість;

стандартна помилка середнього значення. В інтервалі шириною, рівній подвоєній стандартній помилці, відкладеному навколо середнього значення, розташовується середнє значення генеральної сукупності з імовірністю приблизно 67%. Стандартна помилка визначається як стандартне відхилення, поділене на квадратний корінь з обсягу вибірки;

медіана – це точка на шкалі виміряних значень, вище і нижче якої лежить по половині всіх виміряних значень;

мода – це значення, яке найбільш часто зустрічається у вибірці. Якщо одна і та ж найбільша частота зустрічається у декількох значень, то вибирається найменше з них;

стандартне відхилення – це міра розкидання виміряних величин; воно дорівнює квадратному кореню з дисперсії. В інтервалі шириною, рівній подвоєному стандартному відхиленню, який відкладений по обидві сторони від середнього значення, розташовується приблизно 67% всіх значень вибірки, що підкоряється нормальному розподілу;

дисперсія – це квадрат стандартного відхилення і, отже, ця характеристика також є мірою розкидання виміряних величин. Вона визначається як сума квадратів відхилень всіх виміряних значень від їх середньоарифметичного значення, поділена на кількість вимірювань мінус один;

- коефіцієнт асиметрії – це міра відхилення розподілу частоти від симетричного розподілу, тобто такого, у якого на однаковому віддаленні від середнього значення по обидві сторони вибірки даних розташовується однакова кількість значень. Якщо спостереження підкоряються нормальному розподілу, то асиметрія дорівнює нулю;

- коефіцієнт варіації або ексцес вказує, чи є розподіл пологим (при великому значенні коефіцієнта) або крутим. Коефіцієнт варіації дорівнює нулю, якщо спостереження підкоряються нормальному розподілу;

- розмах – це різниця між найбільшим значенням (максимумом) і найменшим значенням (мінімумом);

- мінімум – найменше значення;
- максимум – найбільше значення;
- сума – сума всіх значень.

Таблиця 1 – Статистична таблиця

Параметри	Час завантаження (мс)	Кількість HTTP запитів	Розмір сторінки (кб)	Кількість ресурсів	Загальний розмір ресурсів (кб)
Середнє значення	2804,00	25,68	207,42	27,28	284,94
Стд. помилка середнього	146,172	2,921	29,021	3,096	39,335
Медіана	2654,50	20,00	142,00	23,00	182,00
Мода	2656	8	40	23	377
Стд. відхилення	1033,591	20,651	205,211	21,892	278,137
Дисперсія	1068309,714	426,467	42111,473	479,267	77360,302
Асиметрія	0,986	2,767	1,598	2,579	1,667
Стд. помилка асиметрії	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337
Екссес	1,159	10,734	2,135	8,723	2,182
Стд. помилка екссесу	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662
Розмах	4730	120	862	121	1090
Мінімум	1271	6	10	6	11
Максимум	6001	126	872	127	1101
Сума	140200	1284	10371	1364	14247

Проаналізувавши результати даних, які наведені в таблиці, можна зробити наступний висновок: щодо гіпотези про те, що дані взяті з нормально розподіленої генеральної сукупності, слід відкинути, оскільки значення коефіцієнта асиметрії та коефіцієнта варіації значно відрізняються від нуля. На рисунках наведених нижче, наочно продемонстровано відсутність підпорядкування нормальному розподілу.

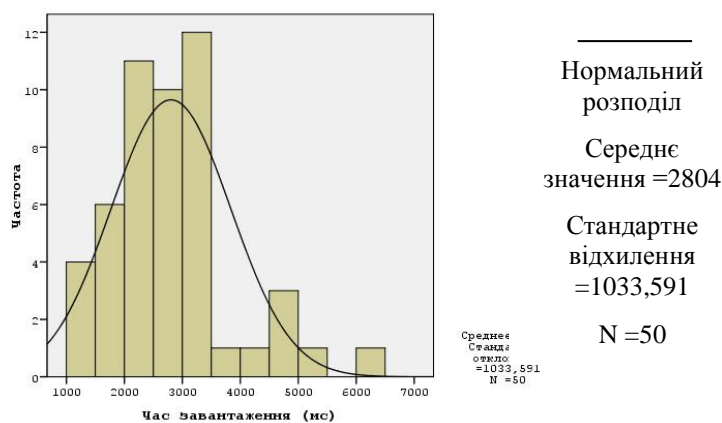
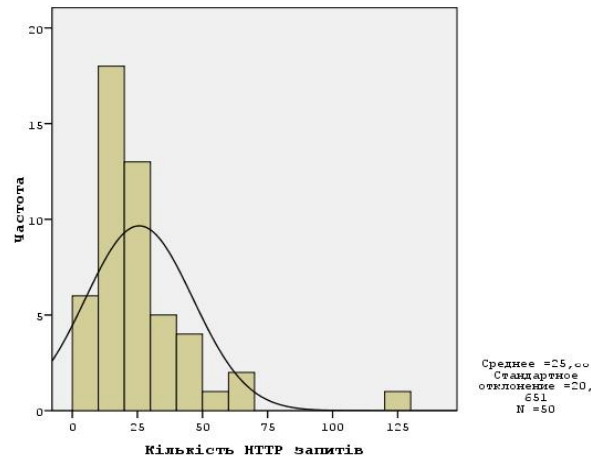
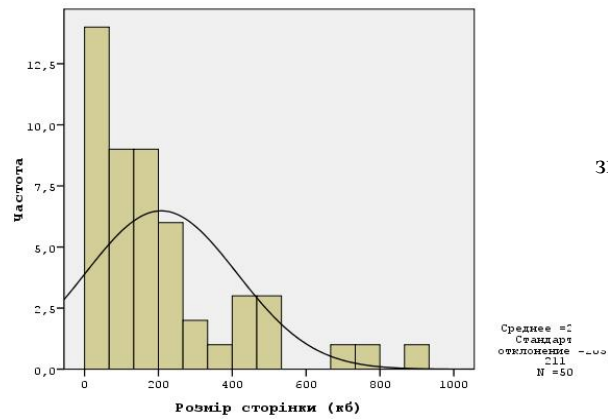


Рисунок 1 – Час завантаження



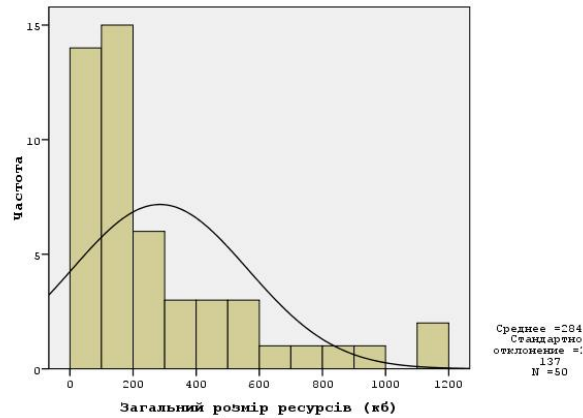
Нормальний розподіл
 Середнє значення = 25,68
 Стандартне відхилення = 20,651
 N = 50

Рисунок.2 – Кількість HTTP запитів



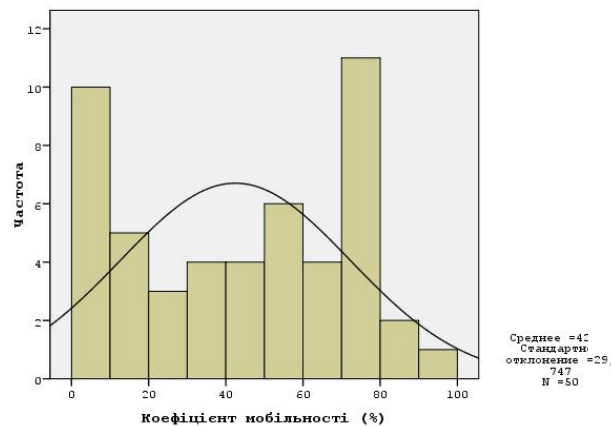
Нормальний розподіл
 Середнє значення = 207,42
 Стандартне відхилення = 205,211
 N = 50

Рисунок 3 – Розмір сторінки



Нормальний розподіл
 Середнє значення = 284,94
 Стандартне відхилення = 278,137
 N = 50

Рисунок 4 – Загальний розмір ресурсів



Нормальний розподіл
 Середнє значення = 42,46
 Стандартне відхилення = 29,747
 N = 50

Рисунок 5 – Коефіцієнт мобільності

Отже, для зібраних даних, котрі відносяться до інтервальної шкали і не підпорядковуються нормальному розподілу, в якості основної характеристики використовується медіана або перший та третій квартал.

Після одержання статистичних результатів, можна виконати порівняння найважливіших характеристик розробленого веб-сайту та досліджуваних аналогів (рис.5.6).

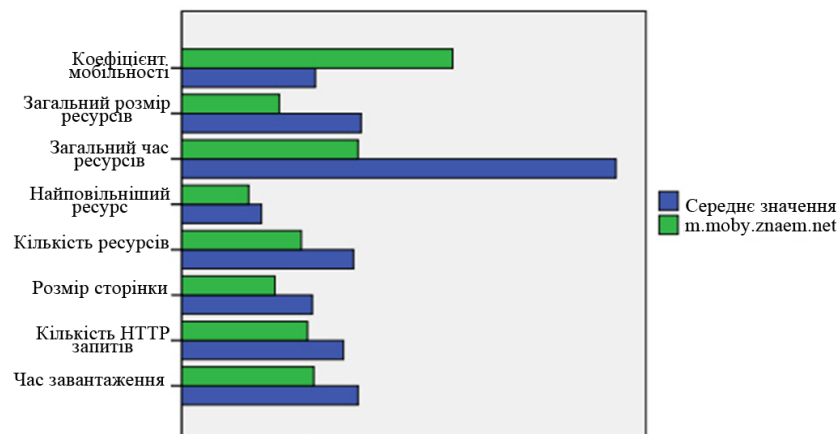


Рисунок 6 – Порівняння характеристик

Вищенаведений рисунок демонструє, що розроблений сайт переважає по всім характеристикам середньостатистичний аналог. Найбільша розбіжність по коефіцієнту мобільності та загальному часу ресурсів, де перевага збільшується до 2 разів.

2. Множинно-регресійний аналіз

Множинно-регресійний аналіз призначений для вивчення взаємозв'язку однієї змінної (залежної) і декількох інших змінних (незалежних) в інтересах передбачення деякого результату або суттєвості впливу тієї чи іншої змінної на передбачуваний результат.

Зв'язок однієї змінної (залежної) y та кількох інших змінних (незалежних) x_n висловлюють лінійним рівнянням:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + e$$

де, y – залежна змінна;

$x_{1, 2 \dots n}$ – незалежні змінні;

$b_{1, 2 \dots n}$ – параметри моделі;

e – помилка передбачення.

Змінні, оголошені незалежними, можуть корелювати між собою. Цей факт необхідно обов'язково враховувати при визначенні коефіцієнтів рівняння регресії для того, щоб уникнути помилкових кореляцій.

Для множинного аналізу з декількома незалежними змінними не рекомендується використовувати метод включення всіх змінних. Цей метод відповідний одночасній обробці всіх незалежних змінних, обраних для аналізу, і тому він корисний при використанні тільки в разі простого аналізу з однією незалежною змінною. Для множинного аналізу, слід вибирати один з покрокових методів.

При прямому методі, незалежні змінні, які мають найбільші коефіцієнти часткової кореляції з залежною змінною, покроково додаються в регресійне рівняння [9]. При зворотньому методі все починається з результату, що містить всі незалежні змінні і потім виключаються незалежні змінні з найменшими частковими кореляційними коефіцієнтами, поки відповідний регресійний коефіцієнт не виявляється незначущим.

Для проведення множинно-регресійного аналізу, в якості залежної змінної обрано – час завантаження сторінки, а незалежними будуть виступати всі змінні, що залишились.

В результаті проведення аналізу були отримані результати, які зведені у таблицю моделі (табл.2), з якої слідує, що додавання змінних в розрахунок виконується за 3 кроки, тобто змінні найповільніший ресурс, загальний розмір ресурсів та загальний час ресурсів по чергово додавалися у рівняння регресії.

Таблиця 2 – Зведена таблиця моделі

Модель	R	R квадрат	Скоректований R квадрат	Стд. помилка оцінки

1	0,722(a)	0,521	0,511	722,438
2	0,843(b)	0,710	0,698	568,028
3	0,864(c)	0,747	0,731	536,523

a – предиктори: (константа) Найповільніший ресурс(мс);

b – предиктори: (константа) Найповільніший ресурс(мс), Загальний розмір ресурсів (кб);

c – предиктори: (константа) Найповільніший ресурс(мс), Загальний розмір ресурсів (кб), Загальний час ресурсів(мс).

Проаналізувавши таблицю покрокового додавання коефіцієнтів регресії (табл.3) було зроблено висновок, що змінна «загальний час ресурсу» може бути виключена з рівняння регресії, оскільки її коефіцієнт значимості $p = 0,13 > 0,01$, тобто він майже не впливає на рівняння.

Таблиця 3 – Покрокове додавання коефіцієнтів

Модель		Нестандартизовані коефіцієнти		Стандарт. коефіцієнти	t	Знч.
		B	Стд. помилка	Бета		
1	(Константа)	1665,807	187,642		8,878	0,000
	Найповільніший ресурс(мс)	0,898	0,124	0,722	7,232	0,000
2	(Константа)	1214,486	168,565		7,205	0,000
	Найповільніший ресурс(мс)	0,891	0,098	0,716	9,125	0,000
	Загальний розмір ресурсів (кб)	1,615	0,292	0,435	5,536	0,000
3	(Константа)	1177,077	159,872		7,363	0,000
	Найповільніший ресурс(мс)	0,824	0,096	0,663	8,614	0,000
	Загальний розмір ресурсів (кб)	1,260	0,308	0,339	4,094	0,000
	Загальний час ресурсів(мс)	0,016	0,006	0,221	2,585	0,013

Коефіцієнти β (Бета) – це регресійні коефіцієнти, стандартизовані відповідній області знань. Вони вказують на важливість незалежних змінних, що включені в регресійне рівняння.

Отже, рівняння регресії для прогнозування значення часу завантаження виглядає наступним чином:

$$(\text{Час завантаження сторінки}) = 1177,077 + 0,824 \cdot (\text{Найповільніший ресурс}) + 1,26 \cdot (\text{Загальний розмір ресурсів})$$

Важливим моментом є аналіз залишків, тобто відхилень спостережуваних значень від теоретично очікуваних (рис. 7).

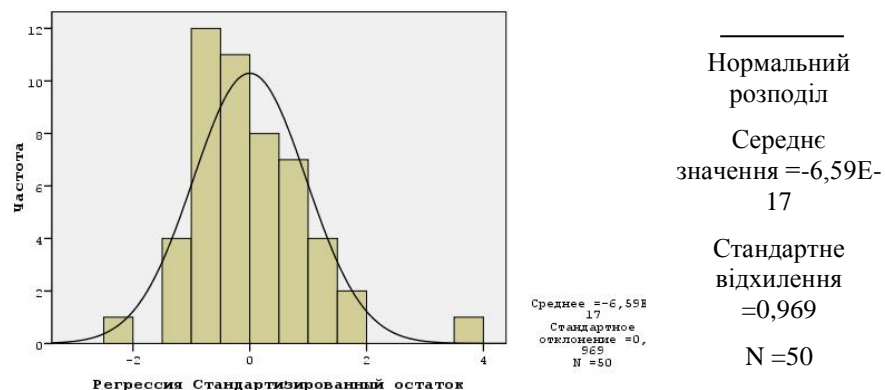


Рисунок 7 – Графік залишків

На вищеведеному рисунку спостерігається доволі непогана узгодженість залишків з нормальним розподілом, що є позитивним результатом.

3. Кластерний аналіз

В результаті кластерного аналізу, за допомогою попередньо заданих змінних, формуються групи спостережень. Під спостереженнями розуміються окремі характеристики, або будь-які інші об'єкти. Члени однієї групи (одного кластера) повинні володіти схожими проявами змінних, а члени різних груп – різними.

В кластерному аналізі важливу ролі відіграє ієрархічний метод. В ньому кожне спостереження створює спочатку свій окремий кластер. На першому кроці два сусідні кластери об'єднуються в один. Цей процес може продовжуватись до тих пір, поки не залишаться тільки 2 кластери.

Після проведення кластерного аналізу, перш за все, наводиться огляд приналежності, з котрого можливо в'яснити почерговість побудови кластерів, а також їх оптимальну кількість (табл.4).

Таблиця 4 – Кроки агломерації

Етап	Кластер об'єднаний з		Коеф.	Етап	Кластер об'єднаний з		Коеф.
	Кластер 1	Кластер 2			Кластер 1	Кластер 2	
1	13	19	0,000	26	6	15	0,090
2	14	42	0,002	27	3	4	0,115
3	12	17	0,004	28	25	26	0,127
4	26	37	0,007	29	3	8	0,127
5	3	11	0,009	30	1	24	0,135
6	7	45	0,011	31	28	34	0,174
7	25	41	0,013	32	6	18	0,182
8	33	50	0,015	33	3	7	0,251
9	18	44	0,017	34	13	25	0,281
10	3	12	0,018	35	2	28	0,293
11	15	40	0,018	36	9	36	0,312
12	8	32	0,019	37	1	30	0,375
13	26	29	0,026	38	13	20	0,399
14	7	16	0,029	39	9	21	0,446
15	4	23	0,031	40	1	6	0,642
16	2	22	0,033	41	2	49	0,694
17	6	46	0,036	42	5	27	0,706
18	20	31	0,048	43	3	13	0,757
19	7	33	0,048	44	9	47	0,850
20	21	39	0,051	45	1	3	1,599
21	8	10	0,051	46	5	9	3,578
22	1	43	0,053	47	1	5	5,897
23	25	35	0,061	48	1	2	6,353
24	14	48	0,073	49	1	38	18,12
25	9	14	0,083				

Для визначення оптимальної кількості кластерів вирішальне значення має показник, виведений під заголовком "Коефіцієнт". За цим коефіцієнтом мається на увазі відстань між двома кластерами, визначена на підставі обраної дистанційної міри з урахуванням передбаченого перетворення значень. У даному випадку це квадрат евклідової відстані, визначений з використанням стандартизованих значень. На етапі, де міра відстані між двома кластерами збільшується стрибкоподібно, процес об'єднання в нові кластери необхідно зупинити, тому що в іншому випадку були б об'єднані кластери, що знаходяться на відносно великій відстані один від одного.

У даному випадку – це стрибок з 0,850 до 1,599. Оптимальним вважається число кластерів рівне різниці кількості спостережень (50) і кількості кроків, після якого коефіцієнт збільшується стрибкоподібно (44). Це означає, що після утворення 6 кластерів не потрібно більше робити ніяких наступних об'єднань, а результат з 6 кластерами є оптимальним.

Результати належності сайтів до певних кластерів наводяться в (табл.5) з якої видно, що розроблений веб-сайт потрапив до кластера номер 3.

На рис.8 зображено кількість учасників кожного з кластерів. З нього слідує, що найбільшим виявився кластер під номером 3. Найменшими стали 4 та 6 кластери, які містять по 2 і 1 учасника відповідно.

Таблиця 5 – Належність до кластерів

Спостереження		№ класт.	Спостереження		№ класт.
1	2	3	4	5	6
1	m.sports.ru	1	26	m.novostimira.com	3
2	m.sportbox.ru	2	27	mob.telegraf.com.ua	4
3	mobisports.ru	3	28	wapn.ukrinform.ua	2
4	m.liveresult.ru	3	29	m.focus.ua	3
5	m.eurosport.ru	4	30	pda.interfax.com.ua	1
6	m.football.ua	1	31	m.expres.ua	3
7	m.0332.ua	3	32	pda.utro.ru	3
8	m.ua-football.com	3	33	gazeta.ua/pda	3
9	m.segodnya.ua	5	34	pda.mk.ru	2
10	m.kp.ua	3	35	pda.lenta.ru	3
11	pda.korrespondent.net	3	36	m.rbc.ru	5
12	pda.bagnet.org	3	37	pda.itar-tass.com	3
13	pda.i.ua	3	38	m.maximonline.ru	6
14	m.tochka.net	5	39	m.gazeta.ru	5
15	m.liga.net	1	40	m.ixbt.com	1
16	m.for-ua.com	3	41	m.habrahabr.ru	3
17	m.myscore.ru	3	42	m.europaplus.ru	5
18	m.shakhtar.com	1	43	m.rg.ru	1
19	m.footboom.com	3	44	m.tophotels.ru	1
20	m.metalist.ua	3	45	m.rst.ua	3
21	pobeda.od.ua	5	46	m.mapia.ua	1
22	m.24boxing.com.ua	2	47	m.rozetka.ua	5
23	ua-gol.com/news_mobile	3	48	m.trial-sport.ru	5
24	m.mail.ru	1	49	m.notebook-center.ru	2
25	pda.pravda.com.ua	3	50	m.moby.znaem.net	3

Всі учасники 3 кластера відмічені в таблиці з початковими даними (див. табл.6).

Таблиця 6 – Данні для проведення досліджень

Адреса	Час завантаження (мс)	Кількість НГТР запитів	Розмір сторінки (кб)	Кількість ресурсів	Найвидиший ресурс (мс)	Найповільніший ресурс(мс)	Загальний час ресурсів(мс)	Найменший ресурс (байт)	Найбільший ресурс (байт)	Загальний розмір ресурсів (кб)	Коефіцієнт мобільності
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
http://m.sports.ru	3337	20	157	23	21	886	9628	32	43651	216	21
http://m.sportbox.ru	4940	29	168	34	4	3751	24327	25	93868	377	38
http://mobisports.ru	2364	26	46	26	123	776	11828	149	15143	55	55
http://m.liveresult.ru	2656	24	40	23	20	795	9470	32	63720	96	45

http://m.eurosport.ru	2783	24	760	24	17	934	5864	73	60946	863	50
http://m.football.ua	2945	28	227	36	90	1102	14390	1	58690	377	0
http://m.0332.ua	2293	22	139	23	93	773	5904	32	39604	167	77
http://m.ua-football.com	2393	15	101	23	90	968	6686	1	39614	151	71
http://m.segodnya.ua	3369	40	442	48	80	1082	20253	32	95492	563	20
http://m.kp.ua	2656	18	93	23	86	850	9508	32	85293	222	0
http://pda.korrespondent.net	2270	19	53	20	94	735	6049	35	39601	95	57
http://pda.bagnet.org	2204	10	28	11	85	1234	3960	74	42090	53	68
http://pda.i.ua	1271	8	10	7	306	498	3067	43	2547	11	78
http://m.tochka.net	3060	67	443	73	94	1034	24696	35	102973	692	0
http://m.liga.net	3113	29	215	24	88	1402	10992	35	42090	262	55
http://m.for-ua.com	2162	12	106	16	89	1084	11996	32	39601	154	19
http://m.myscore.ru	2237	8	40	9	92	1049	4082	35	66000	77	58
http://m.shakhtar.com	2609	32	272	34	96	1132	17549	35	47646	402	14
http://m.footboom.com	1272	6	14	6	119	680	2019	35	21098	34	70
http://m.metalist.ua	1511	39	182	39	241	896	3594	243	18815	198	73
http://pobeda.od.ua	3610	13	497	16	22	912	23368	35	76921	513	0
http://m.24boxing.com.ua	5037	11	136	11	246	3538	8133	1783	4148	142	52
http://ua-gol.com/news_mobile	2526	8	15	7	127	1718	4345	43	3001	17	74
http://m.mail.ru	2987	47	98	51	4	1698	34372	32	26068	115	14
http://pda.pravda.com.ua	1837	20	55	21	95	625	8056	38	57728	65	31
http://m.novostimira.com	1563	19	83	18	247	772	6098	178	8615	87	62
http://mob.telegraf.com.ua	3443	126	872	127	83	1398	53667	32	140360	1101	0
http://wapn.ukrinform.ua	4935	12	54	17	5	4805	5603	121	77746	183	43
http://m.focus.ua	1494	10	64	10	89	809	4927	35	39601	78	69
http://pda.interfax.com.ua	3437	9	30	9	93	1822	4606	35	39601	59	75
http://m.expres.ua	1384	31	145	32	86	567	4009	35	39601	170	74
http://pda.utro.ru	2474	16	78	20	88	778	10424	32	42090	103	0
http://gazeta.ua/pda	2201	16	162	15	92	834	7971	35	39601	195	75
http://pda.mk.ru	4520	29	77	28	95	2296	16743	32	39601	126	44
http://pda.lenta.ru	1993	10	33	10	18	666	3082	35	39601	70	81
http://m.rbc.ru	3300	66	321	87	100	904	39626	35	39601	350	0
http://pda.itar-tass.com	1609	13	97	11	86	725	5729	35	42090	152	77
http://m.maximonline.ru	6001	41	720	47	89	1307	36167	2	68721	998	92
http://m.gazeta.ru	3447	59	530	50	8	886	14722	32	42090	1100	21
http://m.ixbt.com	3158	25	241	27	95	1056	7476	58	95189	440	44
http://m.habrahabr.ru	1725	7	63	8	90	889	2738	35	39601	99	74
http://m.europaplus.ru	3107	31	439	29	86	1382	30976	35	48990	517	0
http://m.rg.ru	3104	49	148	50	93	1611	33759	32	39601	181	0
http://m.tophotels.ru	2653	11	247	12	2	1105	5079	32	42090	268	13
http://m.rst.ua	2282	23	118	23	91	613	6230	32	57741	194	39
http://m.mapia.ua	2759	19	215	18	98	1611	4819	503	81125	290	60
http://m.rozetka.ua	2542	17	527	22	54	1217	6381	35	61051	775	0
http://m.trial-sport.ru	3188	17	390	16	94	1630	16295	35	39601	405	36
http://m.notebook-center.ru	4344	33	232	31	144	2506	72222	32	33371	234	18
http://m.moby.znaem.net	2095	20	148	19	128	1064	5602	166	14122	155	86

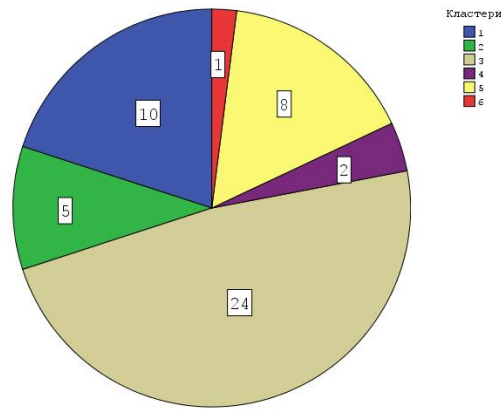


Рисунок.8 – Розмірність кластерів

Розділивши 50 спостережень на 6 груп, необхідно їх порівняти між собою, щоб встановити особливості кожного з кластерів. Для порівняння обрані такі характеристики як: час завантаження сторінки, кількість HTTP запитів, розмір сторінки, кількість ресурсів, найповільніший ресурс, загальний час ресурсів, загальний розмір ресурсів та коефіцієнт мобільності (рис.9).

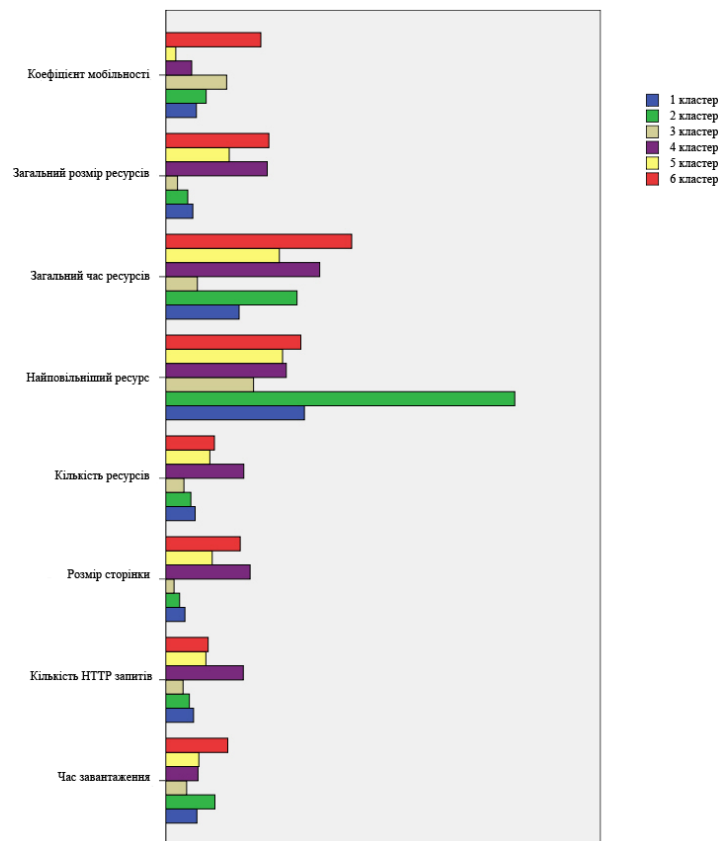


Рисунок 9 – Порівняння кластерів

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що 1 та 5 кластери по всім параметрам показують середні результати, що в загальному є дуже непогано. Кластер під номером 2 вирізняється найгіршим результатом у спостереженні найповільніший ресурс, та одним з найгірших у – час завантаження та загальний час ресурсів. Кластер, куди потрапив розроблений сайт, тобто 3, показує найкращі результати у всіх спостереженнях, окрім коефіцієнта мобільності, але це пояснюється тим, що кращий у даній категорії 6 кластер містить лише 1 сайт. Кластери під номерами 4 і 6 загалом показують одні з найгірших результатів по всіх параметрам, що є не дуже добре.

Визначивши, що 3 кластер є найкращим, необхідно прослідкувати, наскільки добре туди вписується розроблений веб-сайт (рис. 10).

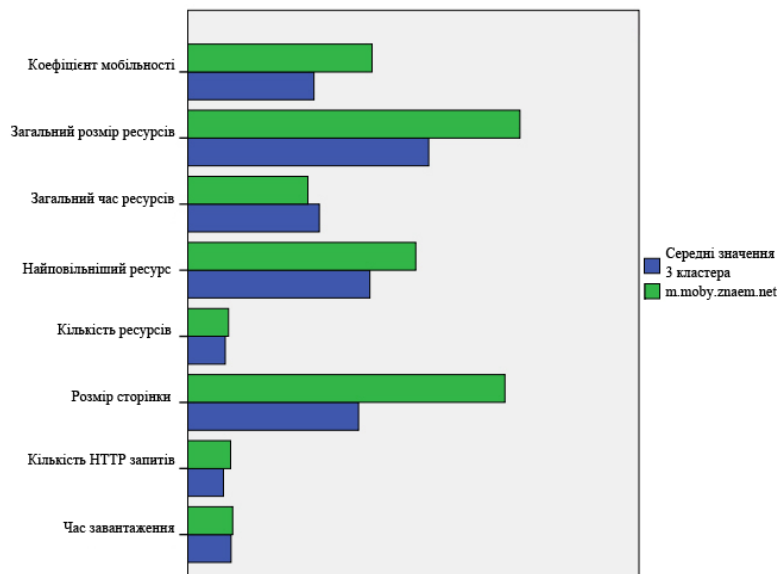


Рисунок 10 – Порівняння характеристик 3 кластера

З вищенаведеного ринку видно, що розроблений веб-сайт в більшості випадків має ідентичні показники з середньостатистичний сайтом 3 кластера. Винятками є два спостереження – загальний розмір ресурсів та розмір сторінки, де він показує дещо гірший результат. Цей факт можна пояснити тим, що в даний кластер потрапила велика кількість сайтів з примітивним дизайном та повною відсутністю зображень на сторінках, що є повною протилежністю до розробленого сайту. Це, звичайно, дає шалену швидкодію, але тим самим наносить збитки привабливості, що зменшує відвідуваність. У спостереженні – загальний час ресурсів, у розробленого сайту є невелика перевага, а коефіцієнт мобільності значно перевищує середньостатистичний.

Отже, після проведення всіх досліджень, можна зробити висновок, що система керування вмістом Drupal повністю підходить для створення мобільних веб-сайтів. При розумному підході, з її допомогою можна отримати багатофункціональну, яскраву, а головне – швидко мобільну версію сайту.

Висновки

В результаті проведених досліджень визначено:

1. Зібрані дані для якісного проведення досліджень за допомогою он-лайн сервісів та спеціальних плагінів для браузера
2. Складена таблиця із швидкісними характеристиками, яка налічує 50 спостережень.
3. Проведений аналіз статичних характеристик досліджуваних сайтів.
4. Встановлено, що зібрані дані не підпорядковуються нормальному розподілу, оскільки значення коефіцієнта асиметрії коефіцієнта варіації значно відрізняються від нуля.
5. Проведений множинно-регресійний аналіз, в результаті якого було відсіяні характеристики, які майже не впливають на швидкість завантаження сторінки, а за допомогою важливих характеристик – складене рівняння регресії, що має вигляд: (Час завантаження сторінки) = $1177,077 + 0,824 \cdot (\text{Найповільніший ресурс}) + 1,26 \cdot (\text{Загальний розмір ресурсів})$
6. Проведений кластерний аналіз, який дозволив визначити якісний кластер, де чудово поєднується дизайн та швидкодія.

Список бібліографічного опису

1. Каганюк О.К., Карбовський В.В. Мультисайтінг в CMS DRUPAL. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – Луцьк: РРВ Луцького НТУ 2013. – Вип. 12, с28 – 32.
2. Мельник, В., Козленко, М., Черняшук, Н., Щерблюк, А Каганюк О. Залежність інтенсивності обробки даних в кластері від продуктивності сокетів без врахування гетерогенності Науковий журнал «Комп'ютерно – інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-40-20> Луцьк НТУ 2020. Випуск №40 с 128 – 139.
3. Каганюк О.К., Богомазюк А.О. Аналіз та обґрунтування модуля DRUPAL для мобільних пристроїв. Тези. Науково-практична онлайн-конференція «Сучасна наука та освіта». 20 листопада 2020 р.
4. Вандюк Д. CMS Drupal. Руківодство по розробке системи управління сайтом - Вільямс, 2009 – 576 с.
5. Вікіпедія Інтернет ресурс. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
6. Прохоренко Н. А. HTML, javascript, PHP и MySQL. Джентльменский набор Web-мастера - БХВ-Петербург, 2011 – 912 с.
7. Купар Б.І., Грицюк Ю.І. Сучасні технології веб-сайтів - Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.7

8. Кудряшев А.В., Светашков П.А. Введение в современные веб-технологии – Институт, 2010 – 241 с.
9. Вентцель Е.С Теория вероятностей. Москва: Высшая школа, 2006. – 575с.: ил. – ISBN 5 – 06 – 005688-0
10. Каганюк О.К., Парфенюк Б.О. Розробка компютерного маніпулятора з використанням емнісних сенсорів. Студентський науковий вісник. – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. Вип. 15, 2014, с.186 – 196
11. Каганюк О.К., Панчук Р.Я. Дослідження швидкодії роботи з базами даних різних типів програм, та вибір раціональних параметрів апаратних ресурсів при однаковому функціоналі. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво».Луцьк: РРВ Луцького НТУ. Вип.24-25, 2016. – с33-36

References

1. Kaganyuk O.K, Karbovskiy V.V. Multisighting in CMS DRUPAL. Science magazine "Comp'terno-integrated technologies: education, science, virobnstvo". - Lutsk: RRV Lutsk NTU 2013. - VIP. 12, c28 - 32.
2. Melnik, V..., Kozlenko, M., Chernyashchuk, N., Shcherblyuk, A. Kaganyuk O. Degree of the intensity of the processing of data in the cluster of productivity of sockets without the possibility of heterogeneity. , virobnstvo "https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-40-20 Lutsk NTU 2020. Issue No. 40 p. 128 - 139.
3. Kaganyuk O.K., Bogomazyuk A.O. Analysis and priming of the DRUPAL module for mobile attachments. Naukovo - practical online conference "Modern Science and Education". 20 leaf fall 2020 r.
4. Vandyuk D. CMS Drupal. Content Management System Development Guide - Williams, 2009 - 576 p.
5. Vikipediya Internet resource. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
6. Prokhorenok N. A. HTML, javascript, PHP and MySQL. Gentleman's set of the Web-master - BHV-Petersburg, 2011 - 912 p.
7. Kupar B.I., Gritsyuk Yu.I. Modern technologies of websites - Science Newsletter of NLTU of Ukraine. - 2010. - VIP. 20.7
8. Kudryashev A.V., Svetashkov P.A. Introduction to modern web technologies - Institute, 2010 - 241 p.
9. Wentzel ES Probability theory. Moscow: Higher school, 2006.-- 575s.: Ill. - ISBN 5-06-005688-0
10. Kaganyuk O.K., Parfenyuk B.O. Development of a computer manipulator with vicistories of electronic sensors. Student Science Visnik. - Lutsk: Vidavnytstvo LNTU. Vip. 15, 2014, pp. 186 - 196
11. Kaganyuk O.K., Panchuk R.Ya. Pre-update of shvidkody robots with bases of given new types of programs, and vibir rational parametersiv of hardware resources with the same functionality. Science magazine "Comp'terno-integrated technologies: education, science, virobnstvo". Lutsk: RRV of Lutsk NTU. Vip. 24-25, 2016.-- p. 33-36

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-11>

УДК 004.53

Коровий Олександр Сергійович., студент VI-го курсу
Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут Ігоря Сікорського»

АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ DISTILLING KNOWLEDGE В ОБРОБЦІ ПРИРОДНОЇ МОВИ ДЛЯ ТОНАЛЬНОГО ЗАБАРВЛЕННЯ ТЕКСТІВ

Коровий О. С. Адаптація методу Distilling Knowledge в обробці природної мови для аналізу тонального забарвлення текстів. У цій статті описано, як адаптувати прикладний метод «дистиляції знань» для аналізу настроїв для української та російської мов. Показано, як мінімізувати ресурси без втрати значної точності, але прискорити розпізнавання тексту, а також як зменшити витрати на хмарі за допомогою методу «перегонки знань». Для дослідження ми використовували два типи архітектури різних нейронних мереж для обробки природної мови: BERT замість моделей ансамблю та FastText як невелику модель. Поєднання цих двох нейронних мереж (BERT як викладач і FastText як учень) дозволило нам досягти прискорення до 5 разів і без великої точності в задачі аналізу настроїв.

Ключові слова: BERT, FastText, дистиляція знань, нейронна мережа, природня обробка мови, аналіз настроїв

Коровий А. С. Адаптація метода дистиляції знань в обработке естественного языка для анализа тональности. В этой статье описывается, как адаптировать прикладной метод «дистиляции знаний» для анализа тональности для украинского и русского языков. Показано, как минимизировать ресурсы без потери точности, но ускорить распознавание тональности текста, а также как снизить расходы на облако с помощью метода «дистиляции знаний». Для исследования мы использовали два типа различных архитектур нейронных сетей для обработки естественного языка: BERT вместо ансамблевых моделей и FastText как небольшая модель. Комбинация этих двух нейронных сетей (BERT в качестве учителя и FastText в качестве учащегося) позволила нам добиться ускорения до 5 раз без ущерба для точности в задаче анализа тональности.

Ключевые слова: BERT, FastText, дистиляция знаний, нейронная сеть, обработка языка природы, анализ тональности.

Korovii O. S. Adaptation of distilling knowledge method in Natural Language Processing for sentiment analysis. This paper describes how to adapt an application method of "knowledge distillation" for sentiment analysis for Ukrainian and Russian languages. It is demonstrated how to minimize resources without losing much accuracy, but speeding up the text sentiment recognition, and how to decrease expenses on cloud by using the method of "knowledge distillation". For research we used two types of different neural networks architecture for natural language processing: BERT instead of ensemble models and FastText like a small model. Combination of these two neural networks (BERT as a teacher and FastText as a learner) allowed us to achieve the speedup up to 5 times and without sacrificing much accuracy in sentiment analysis task.

Keywords: BERT, FastText, distill knowledge, neural network, natural language processing, sentiment analysis

Постановка наукової проблеми: Розвиток штучного інтелекту у світі стимулює майже всі області нашого життя. Останні досягнення в області штучного інтелекту, а саме природної обробки мови, показують актуальність вивчення даної теми. Кожен день хтось робить пошуковий запит в інтернеті, пише відгук, коментар тощо. Це генерує великий об'єм текстової інформації яку потрібно обробляти та зберігати. Але на те щоб обробити великі об'єми текстових даних, штучним інтелектом потрібно дуже багато дороговартісних ресурсів, а саме графічних процесорів. Тому використання процесу «дистиляції знань» дозволяє скоротити витрати на дороговартісні ресурси, і перекласти обчислення нейронних мереж з графічного процесора на центральний. Що в свою чергу набагато дешевше.

Аналіз досліджень. У часи розвитку технологій ми переважно отримуємо інформацію в цифровому вигляді: наукові статті, новини, публікації користувачів у соціальних мережах, електронні листи – все це приклади текстової інформації. Раніше комп'ютери не могли аналізувати природну мову як людську істоту. Але з розвитком штучних нейронних мереж (ШНМ) це стало можливим. Використання ШНМ дозволило комп'ютеру перейти до обробки природної мови на рівні людини, а в певні моменти навіть перевершити її: зрозуміти текст на рівні значення, а не лише на рівні окремих слів [1]. Але з більшими досягненнями та новими можливостями для нас з високою точністю та повнотою вирішувати всі проблеми в області обробки природної мови, ми створили кілька великих моделей, щоб обробляти велику кількість необроблених даних, а це потребувало більше обчислювальних ресурсів. Сьогодні ця проблема є важливою для різних компаній, стартапів тощо. Сьогодні багато сучасних моделей вимагають графічного процесора для етапу навчання та розгортання. Він споживає багато електроенергії і створює високий вуглецевий слід. Для навчання глибоких нейронних мереж (кількість нейронів перевищує 100 мільйонів) потрібно використовувати хмарну технологію, а саме оренду цілого кластера з високопотужними графічними процесорами. Наприклад, автори архітектури сучасної нейронної мережі під назвою Transformer використовували для запуску моделі сервер з вісьмома графічними процесорами P100 [2]. Крім того, у нас є істотна

проблема з відсутністю графічних процесорів, тому що багато людей купують потужні графічні процесори та використовують їх у блокчейні для майнінгу криптовалюти та цифрових монет. Дослідження пропонує адаптацію методу «дистиляції знань» до обробки природної мови для вирішення завдань аналізу настроїв для української та російської мов, а також зменшення обчислювальних ресурсів, збільшення швидкості обчислень та перенесення всіх обчислень з GPU на CPU. Аналіз настроїв [3-5] не нова тема, але для української та російської мов ми не знайшли жодного дослідження, пов'язаного з цією темою. Крім того, це велике завдання, щоб показати, як працює метод «дистиляції знань» у сфері обробки природної мови.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. В оригінальній статті «distill knowledge with neural networks» [6] автори використовували ансамбль нейронних мереж як «вчителя», але в дослідженні ми замінили модель ансамблю на велику глибоку нейронну мережу, засновану на архітектурі двонаправлених репрезентацій кодера від трансформера (англ. Bidirectional Encoder Representations from Transformers – BERT) [9], яка має близько 300 мільйонів параметрів навчання. Сьогодні BERT є найсучаснішою моделлю для моделювання природної мови і може використовуватися для вирішення багатьох інших проблем обробки природної мови: аналіз настроїв, тексти класифікації, розпізнавання іменованих об'єктів, запитання та відповіді тощо. Для невеликої моделі в якості «учень» обрано архітектуру неглибокої нейронної мережі FastText [7], яка має близько 1 мільйона параметрів навчання. Архітектура FastText адаптована для вирішення завдань класифікації в обробці природної мови «учень» модель має невеликий розмір і не потребує графічних процесорів для навчання і може бути розрахована на ЦП. Завдання, над яким ми використовуємо дистиляцію знань, це аналіз настроїв тексту української та російської мов. За інформацією проекту Tatoeba [11] українська мова ще не вирішила багатьох завдань у сфері обробки природної мови. Тому ми вибираємо українську та російську, вони схожі, і багато людей розмовляють обома мовами.

У цій роботі в якості вхідних текстів були використані новини. Завантажено близько ~180 тисяч новин з відкритих інтернет-ресурсів українською та російською мовами. Проте близько ~17 тисяч новин для вивчення було позначено такими мітками: негативні, нейтральні та позитивні. Усі інші новини, тобто ~163 тисячі новин, використані як синтетичні дані. Дані були позначені великою глибокою нейронною мережею BERT для створення синтетичного набору даних і передачі знань для неглибокої нейронної мережі на основі архітектури FastText.

Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) - це глибока нейронна мережа, розроблена для попереднього навчання глибокого двонаправленого кодера на основі архітектури Transformer [12]. BERT - це глибока мовна нейронна мережа, яка попередньо навчена на немаркованих текстових даних, щоб розуміти контекст зліва направо і справа наліво (двонаправлена модель). Інновацією цієї моделі є використання кодера з так званою трансформаторною архітектурою, заснованою на технології уваги [2]. Попереднє навчання цієї мережі проводилося на великій кількості текстів різними мовами. Також був використаний новий підхід для навчання мовної моделі. Основна ідея цього підходу для попереднього навчання полягає в тому, що речення надсилається на вхід нейронної мережі, але одне слово маскується спеціальним маркером, і нейронна мережа намагається передбачити слово, яке має бути замість лексеми, тобто це різновид навчання без вчителя і не вимагає попередньо розмічених даних. Такий підхід дозволяє дати мовній моделі «розуміння на рівні контексту», а не лише на рівні слів.

FastText - невелика модель, з невеликою кількістю параметрів для навчання. Він ефективний для перевірки гіпотез у задачі класифікації тексту (у нашій задачі ми класифікуємо текст на три мітки: негативний, нейтральний, позитивний). Ефективність цієї ШНМ полягає в її невеликій кількості параметрів для навчання [13]. Об'єкти кодуються у векторах та усереднюються на вході прихованого рівня. Завдяки простій архітектурі ми можемо навчити нейронну мережу для більш ніж мільярда слів на ЦП менш ніж за 10 хвилин. Це дає перевагу різноманітним дослідженням в області штучного інтелекту для отримання базової лінії точності при навчанні ШНМ, що може бути використано для подальшого ускладнення нейронної мережі та підвищення точності її роботи. Під час навчання ця нейронна мережа має кілька властивостей, які підвищують точність її роботи. FastText можна викладати як у словах, так і в N-грамах, тобто коли на одному вході ми одночасно надаємо закодовану фразу з кількох слів і звичайних слів, як приклад речення, яке буде закодовано в біграмах: «Привіт, Я штучний інтелект», на вході ми отримуємо такий список таблицок: «Привіт, я», «Я штучний», «штучний інтелект». Для трьох грам в одному знаку вже буде три слова і т. д. це збільшує кількість вхідних функцій і розмір словника, що зберігається, але водночас підвищує точність правильної класифікації тексту [13].

Для дослідницьких цілей ми використали власний набір даних з онлайн-новин українською та російською мовами. Набір даних, який використовується для навчання великої нейронної мережі –

BERT, за нашими термінами називається «учитель». Для задачі аналізу настроїв дані, попередньо підготовлені та позначені трьома мітками: негативні (Negative), нейтральні (Neutral), позитивні (Positive). Наступним кроком було розділити цю вибірку на три підвибірки:

1. для навчання - у цьому зразку навчалася нейронна мережа;
2. для перевірки - у цьому зразку ми перевіряли точність нейронної мережі та коригували її параметри в процесі навчання;
3. для тестування - у цьому зразку ми вже перевіряли точність кінцевого результату нейронної мережі.

Кількість текстів, уже позначених новинами для кожної мітки та підмножин, показано в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння кількості елементів у кожній підмножині для навчання, перевірки та тестового набору даних для великої нейронної мережі – BERT.

Назва мітки	Кількість елементів для навчання	Кількість елементів для валідації	Кількість елементів для тестування
Negative	4627	243	269
Neutral	6334	352	351
Positive	4135	244	219

Для навчання та тестування, призначених для невеликої нейронної мережі – архітектури FastText, яка називається «учень» модель, ми створили синтетичний набір даних, який після навчання промаркована моделлю «учитель». Крім того, ми розділили синтетичний набір даних на дві підмножини: для навчання та для тестування. Усі дані розподілу на підмножини наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Розподіл даних за кожною міткою настроїв у синтетичному наборі даних, який був згенерований великою моделлю BERT для навчання та тестування, виготовленої для невеликої нейронної мережі – FastText, яка називається «учень».

Назва мітки	Кількість елементів для навчання	Кількість елементів для тестування
Negative	23630	1294
Neutral	117237	3102
Positive	10393	566

Щоб навчити архітектуру BERT, названа «учитель», для завдань аналізу настроїв, ми повинні змінити архітектуру глибокої нейронної мережі BERT, оскільки ця нейронна мережа працює в режимі кодера, ми додали один верхній шар прямого розповсюдження, який був необхідний для класифікації. Він складався з трьох вихідних нейронів, кожен із трьох нейронів відповідав отриманій мітці. Оскільки BERT – це глибока нейронна мережа, її практично неможливо навчити на домашньому комп'ютері, який не має графічного процесора і використовується лише короткий час. Тому я використовував безкоштовні хмарні ресурси платформи Kaggle з графічним процесором Nvidia Tesla P100 [11]. Для навчання невеликої нейронної мережі, заснованої на архітектурі FastText, яка називається «студент», ми використовували комп'ютер Apple MacBook Pro 2018, на процесорі Intel Core i7-8850H 2,60 ГГц, 12 ядер ЦП. Для навчання цієї нейронної мережі не потрібно було використовувати хмарну потужність, що є великою перевагою. Тому нам не потрібні будь-які зміни в архітектурі [13].

Тренування великої нейронної мережі відбувалося епохами (тобто кількістю разів, коли навчальні дані проходять через нейронну мережу), оскільки BERT є досить глибокою нейронною мережею, заснованою на оригінальній роботі [12], для точного налаштування BERT для завдання класифікації достатньо використовувати не більше 5 епох. Як видно з графіка, показаного на рисунку 1, після 1-ї епохи, точність навчальної вибірки та валідаційної вибірки

однакові. Після 1-ї епохи точність зростає, але не суттєво. З цього графіка можна зробити висновок, що для навчання нейронної мережі архітектури BERT для завдання аналізу настроїв достатньо 2 епох. Точність після 5-ї епохи у вибірці перевірки становить 0,8235995232419546. Тепер для порівняння ми протестували нейронну мережу на тестовому зразку. Точність на тестовій вибірці становила 0,8224076281287246. При порівнянні точності на останньому валідаційному та тестовому зразках результат відрізнявся на 0,001 пунктах, що свідчить про високу якість навчання глибокої

нейронної мережі та відсутність ефекту перенавчання. Більш детальні результати після тренування показані на рисунку 2.

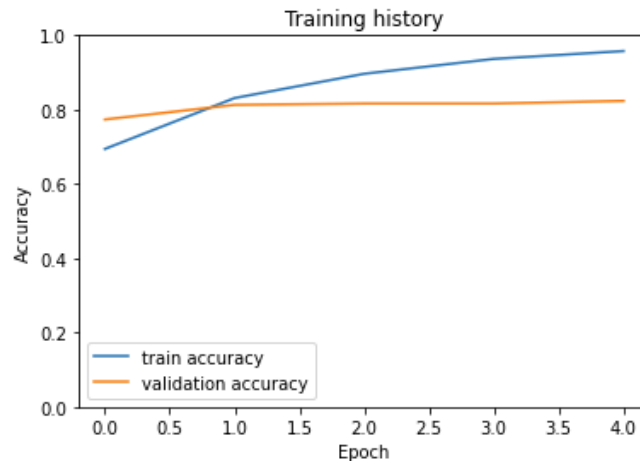


Рисунок 1. Залежність точності від вибірки навчання та валідації в кожній епосі. Епоха почала рахуватися від 0 до 4. Вісь X відображає кількість епох. Вісь Y відображає точність. Синя лінія відповідає точності тренування, після кожної епохи, обчислена точність для всього набору навчальних даних. Жовта лінія – точність валідації, тобто точність розрахунку на валідаційних зразках.

	precision	recall	f1-score
negative	0.81	0.85	0.83
neutral	0.83	0.74	0.78
positive	0.82	0.92	0.87
accuracy			0.82
macro avg	0.82	0.84	0.83
weighted avg	0.82	0.82	0.82

Рисунок 2. Звіт про класифікацію на тестовій вибірці для кожної мітки настроїв для моделі BERT. Точність є найбільшою для нейтральної мітки, а відкриття найкраще виражено у позитивній мітці. Якщо розглядати значення *f1-score* (це середнє значення між точністю і повнотою), то можна сказати, що глибока нейронна мережа найкраще ідентифікує позитивні тексти, тоді негативні, і більшість проблем викликали – нейтральні, вона зробила там найбільше помилок.

Після навчання невеликої нейронної мережі ми провели тестування на синтетичних даних, які раніше були позначені моделлю «учитель». Результати показані на рисунку 3.

	precision	recall	f1-score
negative	0.81	0.61	0.70
neutral	0.79	0.93	0.86
positive	0.73	0.42	0.53
accuracy			0.79
macro avg	0.78	0.65	0.69
weighted avg	0.79	0.79	0.78

Рисунок 3. Звіт про класифікацію на тестовій підмножині із синтетичних даних для кожної мітки настроїв для моделі FastText, яка називається «учень». Підсумкова точність моделі - 0,79081.

Точність вища для негативної мітки, але повнота вище для нейтральної мітки, *f1-score* для нейтральної мітки є найбільшим, але для позитивної мітки - 0,53, що є досить поганим результатом, це вказує на те, що нейронна мережа буде найчастіше помилятися у визначенні позитивних новин.

Виходячи з результатів, наведених у таблиці 3, ми бачимо різницю між великою нейронною мережею, заснованою на архітектурі BERT, яка називається «учитель», і маленькою нейронною мережею, заснованою на архітектурі FastText, яка називається «учень». У результаті модель «вчителя» показала точність - 0,822, а модель «учня» - 0,79. Ми втратили приблизно 0,022 пунктів точності, що є хорошим результатом, коли використовували процес «дистиляції знань». Але якщо порівнювати більш детально для кожної мітки, то модель BERT має кращу точність і повноту, для позитивних і негативних

міток, і майже не помиляється, коли текст негативний, не визначає його як негативний, і навпаки. У моделі FastText було більше помилок у цьому аспекті. На основі результатів, показаних на рис. 2 і рис. 3, можна зробити висновок, що модель BERT може розуміти контекст тексту, а не тільки наявність певних слів, а модель FastText зосереджується тільки на словах.

Якщо порівняти продуктивність цих двох моделей, то модель FastText в 5 разів швидше, ніж модель BERT. Використовуючи тільки ресурси процесора Intel Core i7 (12 ядер), модель FastText показала продуктивність близько 1000 текстів в секунду, розмір тексту ~ 1 КБ. Модель BERT, використовуючи ресурси графічного процесора Nvidia Tesla P100, показала швидкість близько 200 текстів в секунду. Якщо порівняти вартість оренди сервера CPU і GPU, то різниця становить близько 680 євро на місяць. 12-ядерний CPU-сервер коштує 120 євро на місяць, а GPU-сервер з одним GPU – 800 євро на місяць [15].

Таблиця 3. Порівняння моделей «учень» і «вчитель».

	FastText («учень») мала модель	BERT («вчитель») Громіздка модель
Negative/Neutral/ Positive <i>f1</i> -score кожної мітки	0.70/0.86/0.53	0.83/0.78/0.87
Точність	0.790	0.822
Розмір моделі	300 Mbytes	1.89 Gbytes
Споживання RAM	1.2 Gbytes	6 Gbytes (GPU)
Продуктивність, кількість новин за сек (1 article ≈ 1KB)	~ 1000 on CPU (Core i7, 12 Cores)	~ 200 on GPU (Nvidia Tesla P100), ~ 25 on CPU
Вартість оренди сервера, в місяць	120€	800€

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У роботі було проведено дослідження з використанням методу «дистиляції знань» для вирішення проблеми природно-мовної обробки аналізу настроїв тексту. Використовувалися дві архітектури нейронних мереж: модель BERT як викладач і модель FastText як студент. Ми створили власний набір даних, щоб показати, як нейронні мережі можуть допомогти у вирішенні завдань аналізу настроїв українською та російською мовами. BERT був обраний через цю сучасну мовну модель і FastText – найшвидшу нейронну мережу для класифікації тексту. Запропонований підхід показав, як досягти кореляції між високою швидкістю обчислень і точністю, використовуючи ці два типи нейронних мереж, втративши певну точність, але отримавши високу швидкість обчислень і знизивши вартість оренди хмарних екземплярів. Використовуючи цей підхід для аналізу настроїв, ми втратили 0,022 бали точності, але збільшили швидкість обчислення нейронної мережі на ЦП у 5 разів. Для майбутньої роботи ми реалізуємо «перегін знань» для завдання розпізнавання іменованих об'єктів, таким же способом, який ми запропонували в статті для аналізу настроїв. Загалом, використання методу «дистиляції знань» дозволяє компаніям і стартапам збільшити швидкість визначення аналізу настроїв на етапі розгортання.

References.

1. Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville, A., 2016. Deep learning. Cambridge (EE. UU.): MIT Press.
2. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., Kaiser, L. and Polosukhin, I., 2021. Attention Is All You Need. [online] arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
3. Abdur Rahman, Mobashir Sadat, Saeed Siddik, "Sentiment Analysis on Twitter Data: Comparative Study on Different Approaches", International Journal of Intelligent Systems and Applications(IJISA), Vol.13, No.4, pp.1-13, 2021. DOI: 10.5815/ijisa.2021.04.01
4. Golam Mostafa, Ikhtiar Ahmed, Masum Shah Junayed, "Investigation of Different Machine Learning Algorithms to Determine Human Sentiment Using Twitter Data", International Journal of Information Technology and Computer Science(IJTCS), Vol.13, No.2, pp.38-48, 2021. DOI: 10.5815/ijitcs.2021.02.04

5. Khalid Mahboob, Fayyaz Ali, Hafsa Nizami, "Sentiment Analysis of RSS Feeds on Sports News – A Case Study", International Journal of Information Technology and Computer Science(IJITCS), Vol.11, No.12, pp.19-29, 2019. DOI: 10.5815/ijitcs.2019.12.02
6. Hinton, G., Vinyals, O. and Dean, J., 2021. Distilling the Knowledge in a Neural Network. [online] arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/1503.02531>
7. C. Buciluța, R. Caruana, and A. Niculescu-Mizil. Model compression. In Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD '06, pages 535–541, New York, NY, USA, 2006. ACM.
8. N. Srivastava, G.E. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. R. Salakhutdinov. Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. The Journal of Machine Learning Research, 15(1):1929–1958, 2014.
9. Dalal AL-Alimi, Yuxiang Shao, Ahamed Alalimi, Ahmed Abdu, "Mask R-CNN for Geospatial Object Detection", International Journal of Information Technology and Computer Science(IJITCS), Vol.12, No.5, pp.63-72, 2020. DOI: 10.5815/ijitcs.2020.05.05
10. Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi, 2016. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. [online] arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/1506.02640>
11. Tatoeba: Collection of sentences and translations, 2021. [online] tatoeba.org. Available at: <https://tatoeba.org/en/>
12. Devlin, J., Chang, M., Lee, K. and Toutanova, K., 2021. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. [online] arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/1810.04805>
13. Joulin, A., Grave, E., Bojanowski, P. and Mikolov, T., 2021. Bag of Tricks for Efficient Text Classification. [online] arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/1607.01759>
14. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community, 2021. [online] Available at: <https://www.kaggle.com/>
15. Scaleway. 2021. Cloud, Compute, Storage and Network models and pricing. [online] Available at: <https://www.scaleway.com/en/pricing/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-12>

УДК 343.9:004.056.5

Міскевич Оксана Іванівна, асистент

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

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГРОЗ ВІД КІБЕРАТАК ТА ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Міскевич О. І. Дослідження загроз від кібератак та захист персональної інформації. У даній статті представлено основні групи для отримання кібердоступу до засобів обчислювальної техніки. Детально розглянуто безпосереднє, електромагнітне, аудіо та відео перехоплення. Досліджено куб кібербезпеки та недавні кібератаки а також безпеку інфраструктури Google для нашої персональної інформації.

Ключові слова: кібератака, цілісність, доступність, конфіденційність, аутентифікація, Куб Мак-Камбера, CIA Triad, Атака TalkTalk.

Міскевич О. И. Исследование угроз от кибератак и защита персональной информации. В данной статье представлены основные группы для получения кибердоступа к средствам вычислительной техники. Рассмотрены непосредственное, электромагнитное, аудио и видео перехваты. Исследованы куб кибербезопасности и недавние кибератаки а также безопасность инфраструктуры Google для нашей персональной информации.

Ключевые слова: кибератака, целостность, доступность, конфиденциальность, аутентификация, Куб Мак-Камбер, CIA Triad, Атака TalkTalk.

Miskevich O. Cyberattack threat research and protection of personal information. This article presents the main groups for obtaining cyber access to computer equipment. Direct, electromagnetic, audio and video interception are considered in detail. We've explored the cybersecurity cube and recent cyberattacks, as well as the security of Google's infrastructure for our personal information.

Keywords: cyberattack, integrity, availability, confidentiality, authentication, McCumber Cube, CIA Triad, TalkTalk Attack.

Постановка наукової проблеми: Незалежно від нашої сфери діяльності кібербезпека на сьогодні займає головне місце, а основна задача, яка стоїть перед кожним – це як захистити себе від кіберзлочинців та атак, які так стрімко зростають не тільки в Україні, а й у світі та проаналізувати як впливають атаки та збої соціальних мереж на суспільство.

Аналіз досліджень. На сьогоднішній день комп'ютери, смартфони та інша техніка та програми стають більш поширеними і застосовуються не тільки для особистого користування – а й на державному рівні. Тому чим більше ми оцифруємо дані та завантажуюмо у мережу, тим більший ризик витоків інформації на зовні для зловмисників.

Досліджуючи триаду СІА (КЦЦ-тріада) можна впевнено сказати - конфіденційною інформацією є інформація, доступ до якої обмежено фізичною або юридичною особою та може поширюватися у визначеному ними порядку за їхнім бажанням відповідно до передбачених ними умов. Першим експертом, який широко працював над захистом Інтернет, мереж, доменів та розробив конструкцію у вигляді Куба (кубик Рубик) був Джон Мак-Камбер.[1]. За його кубиком інформаційна безпека має три виміри. Перший – це конфіденційність, цілісність, доступність. Другий - це три стани інформації. Третій – це основні дії для захисту. Усі ці три виміри і є майже гарантією кібербезпеки.

Наприклад, якщо взяти цілісність та її порушення. Це означає видалення даних сторонньою особою, додавання нових бітів (зокрема абсолютно нових даних) третьою стороною, інверсія бітів та ін. Якщо розглядати доступність - це можливість за прийнятний час одержати необхідну інформаційну послугу. Якщо критично важлива комп'ютерна система стане недоступною – користувачі не зможуть отримувати особисті дані, для того, щоб оперувати ними у реальному житті чи при використанні певних додатків, які залежить від інформації користувача: банки, лікарні і т.д. Конфіденційність (приватність) гарантує, що інформація не буде доступна і розкрита тим людям, які є не авторизовані. [2]

Якщо розглядати другий простір, а саме стан інформації – то він базується на проблемах захисту інформації та даних у кіберпросторі. Це дані, які передаються, обробляються та зберігаються. Третій простір – це як кожен з нас, як фахівець може захищати свої дані, використовуючи набуті знання під час навчання та навички під час роботи. І тому дуже важливо для захисту своїх конфіденційних даних включати контроль та аутентифікацію.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.

Можна виділити п'ять основних груп для отримання доступу до засобів обчислювальної техніки:

вилучення засобів комп'ютерної техніки; перехоплення інформації; несанкціонований доступ; маніпулювання даними та керуючими командами; комплексні методи.[4]

Перехоплення зазвичай здійснюється коли відбувається підключення до телекомунікаційного обладнання мережі, системи або самого комп'ютера. Це може бути: принтер, телефонний провід, який застосовують для передачі інформації. Ці методи допомагають підключати з головною метою, а саме отримати пароль або важливу секретну інформацію за допомогою телекомунікаційних систем. Це відбувається різноманітними шляхами - підключення до кабелю або перехват мікрохвиль.

Електромагнітне перехоплення працює наступним чином - сигнали з дисплея можна як і приймати, так і записувати, а також проводити аналіз на великій відстані (більше 1000 метрів) за допомогою відповідного устаткування, яке знаходиться, для прикладу в будь-якому автотранспорті.

Аудіоперехоплення – спосіб, який на даний час є найбільш небезпечним та розповсюдженим. Захист інформації є дуже складним. Аудіоперехоплення можна реалізувати за допомогою підслуховуючого пристрою - "таблетки", "клопа", "жучка" і т. п. Часто злочинці можуть використовувати спеціальні датчики :акустичні та вібраційні. Основна задача яких має знімати інформацію, не проникаючи до потрібного приміщення.

Відеоперехоплення – спосіб, який отримує необхідну інформацію, використовуючи відеотехніку. В деяких випадках це також може бути: пристрій нічного бачення, підзорна труба, бінокль та багато іншої спеціальної відеоапаратури.

Реальні кіберзлочини та атаки, які відбуваються у світі

Перший приклад, крадіжка даних в історії урядової системи США, яка полягала насамперед в крадіжці інформації, як і фінансової так і медичної даних 19,7 мільйона людей, які проходили перевірки уряду.

Другий приклад, одна із великих компаній, яка мала глобальні проблеми через хакерів це ліцензована медична страхова некомерційна компанія - Premiera Blue Cross. Хакери могли забрати до 11 мільйонів записів клієнтів. Ці записи включають номери кредитних карток, номери соціального страхування та медичну інформацію.

Третій приклад, атака TalkTalk. Це була крадіжка інформації - банківські дані, електронні адреси та номери мобільних телефонів. В результаті цієї атаки у 2015 року були доступні особисті дані більше 157000 клієнтів. Після розслідування цього порушення було виявлено багато помилок в процесах безпеки самої компанії TalkTalk, яка заплатила рекордний штраф у 400000 фунтів стерлінгів.

Наступним прикладом є атака у понеділок 4 жовтня 2021 року, яка відбулася з найвідвідуванішим сайтом Facebook. Facebook та її дочірні компанії стали недосяжними на сім годин для всього світу. Звичайно це призвело до збитків у мільйони доларів. За словами Цукрберга – це були «зміни конфігурації на магістральних маршрутизаторах, які координують мережевий трафік між центрами обробки даних». Хоча в Інтернеті було багато інформації, що під час збою постраждали дані користувачів. Сама компанія та її керівництво все це заперечила.

Можливості функцій безпеки, які використовує Google для захисту персональних даних

Сервіс Google надає кожному користувачу безпечно спілкуватися через Інтернет та зберігати свої дані із захистом конфіденційності. Усі дані в системах Google зашифровані та зберігаються у кількох місцях. Google також використовує рандомізацію даних, щоб ускладнити пошук даних. Усі жорсткі диски регулярно контролюються та перевіряються. Якщо диск вказує на ознаки потенційної несправності, його замінюють до того, як він вийшов з ладу. Усі вилучені диски фізично знищені. Дані, які зберігаються на вашому локальному комп'ютері (ноутбучі, планшеті або смартфоні) також повинні бути захищені. Потрібно використовувати надійні паролі та/або двоетапний логін, очищати історію свого браузера або файли cookie. [4,5]

Двоетапна перевірка - це покращення звичайного входу в обліковий запис Google. Користувачі можуть створити спеціальний ідентифікаційний номер або свій ключ безпеки. Якщо ключа безпеки немає тоді працює код підтвердження.



Рисунок 1 - Шари безпеки інфраструктури Google

Google гарантує, що сервери, які вони встановлюють у своїх центрах обробки даних (ЦОД) є безпечними для користувачів. Сервери періодично перевіряють на зміну даних, порівнюють їх. Контейнери автоматично скануються на наявність шкідливого програмного забезпечення (ПЗ), при наявності ураженого контейнера буде відповідне позначення. За цей процес відповідає менеджер тегів Google, який не запустить теги зі зловмисним ПЗ. А власник отримає сповіщення на електронну пошту. Цей тег буде позначено як зловмисний. Це повідомлення дублюється в історії версій.

ЦОД Google розташовані по всьому світу але без доступу третім особам. Географічне розташування таких центрів ретельно обирається, щоб було безпечним від будь-яких катастрофічних наслідків. Відповідальні за це співробітники компанії, які мають доступ до ЦОД та серверів. Контроль стану безпеки здійснюється дуже ретельно. Це відбувається і на місцях, і в контрольних центрах безпеки в цілому світі. [5]

Основна задача компанії – це охорона від зловмисних атак; наявності вірусів та спамів. А головна задача хакерів - пошкодження або проникнення мережних прикладних програм. Типи атак, які часто використовують хакери - міжсайтовий скриптинг, IP-спуфінг, фальсифікація пакетів даних.

Чи вразливі наші дані та де їх можна знайти під час пошуку в системі? Звичайно, пошукові запити та дії зберігаються у обліковому записі. При активності в Інтернеті кожен має швидший пошук та корисні рекомендації. Якщо вимкнути історію активності - то видаляється попередня активність. Нам відомо, що Google вони збирає такі дані:

- IP -адреса та дані cookie
- Місцезнаходження
- Інформація про пристрій
- Веб-сайти, які переглядалися
- Відео, які переглядалися
- Оголошення, які переглядалися

Google постійно відстежує діяльність кожного користувача, збирає про вас багато інформації. Наприклад, за допомогою файлів cookie, які відповідають на їх рекламний код та ідентифікують вас та особистий ваш пристрій. [9]

Як захистити наші дані?

Перший захист – паролі. Надійний пароль - це найкращий вибір та дія. Не можна користуватися досить простими паролями та використовувати один і той же як на декількох пристроях так і на сайтах. При необхідності є онлайн-генератора паролей, які допоможуть створити безпечний та надійний пароль. Ніколи не варто прив'язуватися до особистих даних. На телефоні бажано користуватися додатково і відбитком пальця або Touch ID.

Другий захист – правильний пошук. Найбезпечнішим є використання віртуальної приватної мережі (VPN) у громадських місцях, де безкоштовна точка Wi-Fi. VPN приховує від інших особисту інформацію.

Третій захист – шифрування, адже для того щоб зрозуміти іншим особам необхідно мати ключ. І тому це дуже корисно при захисті інформації як на персональному комп'ютері так і на телефоні, щоб ваші електронні листи та повідомлення не підлягали стороннім очам.

Важливим для кожного є налаштування, які можна змінювати в Google Chrome, адже їх є велика кількість. Бажано вмикати тільки ті функції, які потрібні в даний момент, оскільки зловмисники можуть цим скористатися. У розділі Конфіденційність є захист від фішингу та шкідливих програм. Chrome попереджає про сайт підозрілий у фішингу або зловмисних програм.

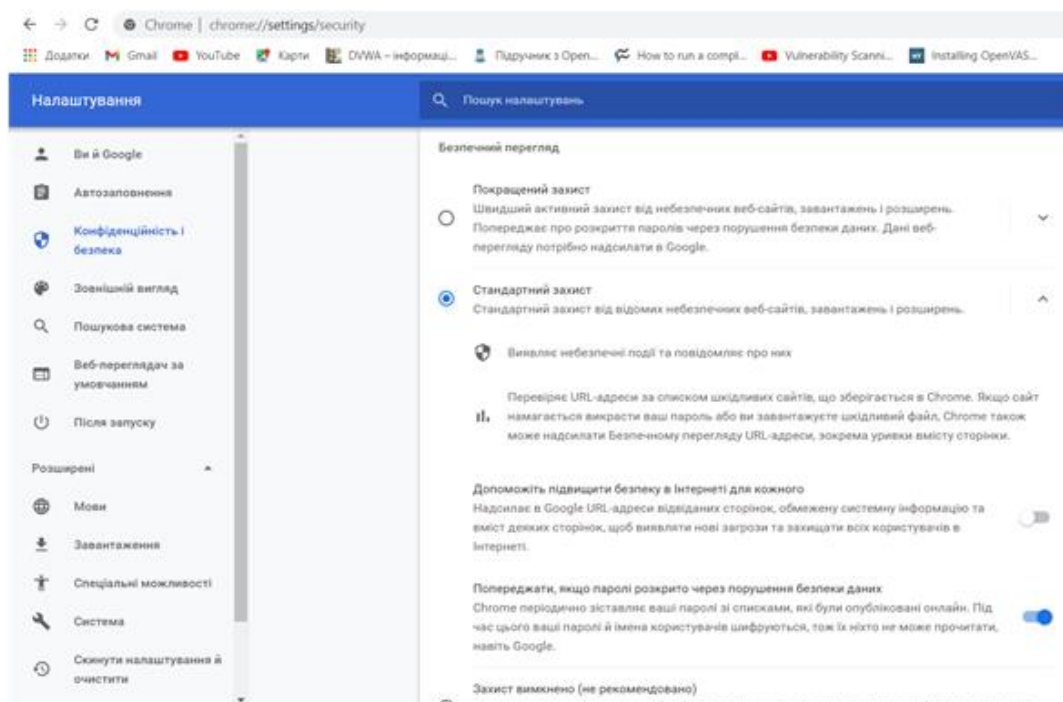


Рисунок 2 — Функція для безпечного використання сайтів

У розділі HTTPS/SSL - Керування сертифікатами встановлені сертифікати. Дані SSL сертифікати використовуються для шифрування інформації під час передачі її по інтернету від точки А в точку Б. Тобто, всі дані – будь-то особиста інформація, банківські координати, геолокація, зображення та інші важливі відомості, які можуть використовувати зловмисники, буде шифруватися і доставлятися до одержувачу в безпеці, без втручання з боку.

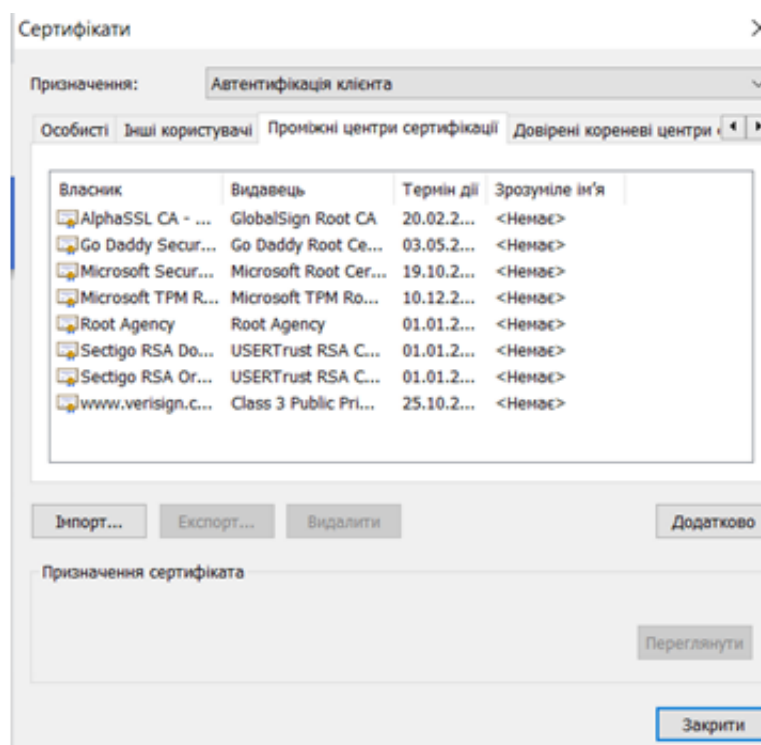


Рисунок 3 — Сертифікати безпеки

Щоб браузер Google Chrome автоматично видаляв файли cookie при закритті усіх вікон необхідно у налаштуваннях встановити - Зберігати локальні дані лише до закриття веб-оглядача. Якщо заблокувати всі файли cookie встановити - Не дозволяти сайтам зберігати дані. Якщо необхідно швидко видалити всі файли cookie - натиснути кнопку Видалити все. Якщо є винятки - натиснути Керувати винятками, вказавши ім'я домену, наприклад улюблений сайт або вказати його IP-адресу,

IPv6-адресу або URL. Параметр - Очищати під час виходу- файли cookie видаляються під час закриття браузера.

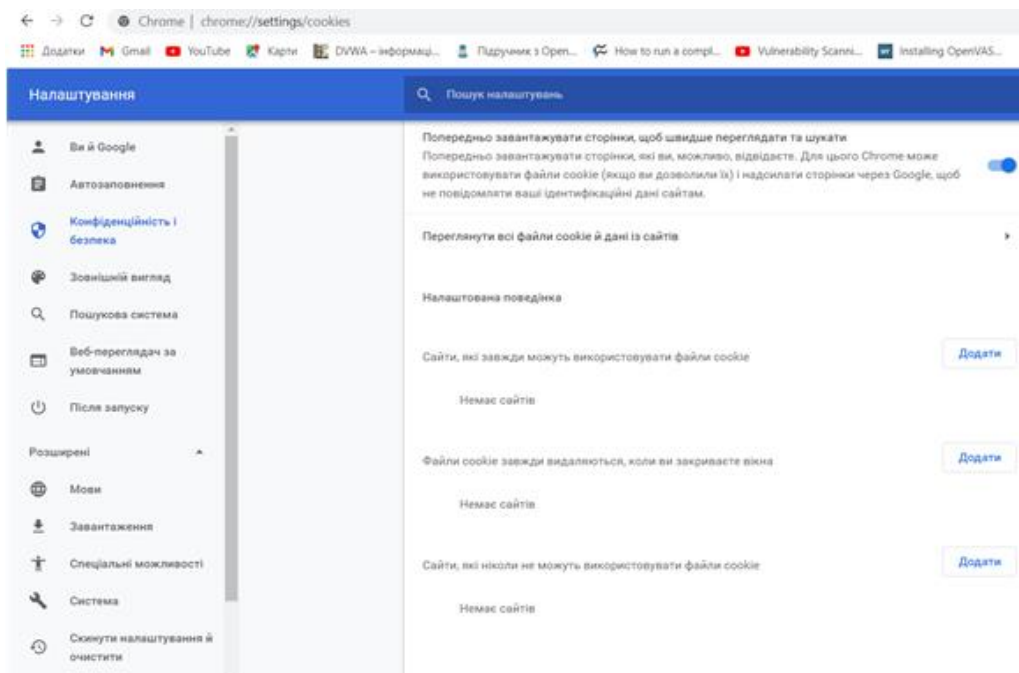


Рисунок 4 — Налаштування файлів cookie для безпечного використання

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Провівши аналіз наймасштабніших атак та збоїв соціальних мереж прийшли до висновку – суспільство стало набагато залежніше від соціальних мереж, як приклад є недавній збій 4 жовтня 2021 року у Facebook, основні атаки проводяться вночі, де відбувається крадіжка інформації – банківські дані, електронні адреси та номери мобільних телефонів.

Провели аналіз функцій безпеки, які використовує Google для захисту персональних даних. Досліджувалися функції по забезпеченню безпечного використання сайтів, та SSL сертифікати, які використовуються для шифрування інформації від зловмисників.

Список бібліографічного опису

1. Забезпечення інформаційної безпеки держави. Навчальний посібник / В. Б. Дудикевич, І. Р. Опірський, П. І. Гаранюк, В. С. Зачепило, А. І. Партика. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. 204 с.
2. Основи інформаційної безпеки : навч. пос. / Дудикевич В. Б., Хорошко В. О., Яремчук Ю. Є. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 316 с.
3. Баглай Р. О. Загрози безпеки хмарних технологій для банків / Р. О. Баглай // Системи обробки інформації. 2018. Вип. 1. С. 127-135. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2018_1_20
4. Інформаційна безпека. Навчальний посібник / Ю. Я. Бобало, І. В. Горбатий, М. Д. Кіселичник, А. П. Бондарев, С. С. Войтусік, А. Я. Горпенюк, О. А. Немкова, І. М. Журавель, Б. М. Березюк, Є. І. Яковенко, В. І. Отенко, І. Я. Тишик. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 580 с
5. Лісовська Ю.П. Кібербезпека: ризики та заходи: навч. посібник. — К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. — 272 с.
6. Стратегічна безпека системи “об’єкт – інформаційна технологія” - Монографія. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 260
7. Міскевич О. І., Косоша М. С. Додаток «Системний монітор» засобами бібліотеки QT. // Науковий журнал “Комп’ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво” – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. – Вип. 26. – 2017. – С. 138-142.
8. S.V. Grynyuk, K.Ya. Bortnik, O.I. Miskevych, D.I. Palivoda An overview of tools for creating games on Android. / Computer-integrated technologies: education, science, production. No. 35, Art. 124-128, 2019.
9. N. A. Khrystynets, A. A. Sakhnyuk, E. A. Sviridyuk, O. I. Miskevich. Use of bem-blocks when creating a site. / Computer-integrated technologies: education, science, production. №35., Art. 206-210, 2019
10. Miskevich O., Bagniu, N., Khrystynets, N., Marchevska O. Automation of detection of defective products by machine learning methods. Computer-integrated technologies: education, science, production, №39, 175-180. 2020

References

1. Ensuring information security of the state. Textbook / VB Dudykevych, IR Opirsky, PI Garanyuk, VS Zachepyllo, AI Partyka. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2017. 204 p.
2. Fundamentals of information security: textbook. pos. / Dudykevych VB, Khoroshko VO, Yaremchuk YE - Vinnytsia: VNTU, 2018. - 316 p.

3. Baglay RO Threats to the security of cloud technologies for banks / RO Baglay // Information processing systems. 2018. Vip. 1. pp. 127-135. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2018_1_20
4. Information security. Textbook / Yu. Ya. Bobalo, IV Gorbaty, MD Kiselychnyk, AP Bondarev, SS Voitusk, A. Ya. Gorpenyuk, OA Nemkova, IM Zhuravel , BM Bereznyuk, EI Yakovenko, VI Otenko, IY Tyshyk. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2019. 580 p
5. Lisovska Yu.P. Cybersecurity: risks and measures: textbook. manual. - Kyiv: Condor Publishing House, 2019. - 272 p.
6. Strategic security of the system "object - information technology" - Monograph. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2020. 260
7. Miskevich OI, Kokosha MS Application "System Monitor" by means of the QT library. // Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production" - Lutsk: LNTU Publishing House. - Vip. 26. - 2017. - P. 138-142.
8. S.V. Grynyuk, K.Ya. Bortnik, O.I. Miskevych, D.I. Palivoda An overview of tools for creating games on Android. / Computer-integrated technologies: education, science, production. No. 35, Art. 124-128, 2019.
9. N. A. Khrystynets, A. A. Sakhnyuk, E. A. Sviridyuk, O. I. Miskevich. Use of gem-blocks when creating a site. / Computer-integrated technologies: education, science, production. №35., Art. 206-210, 2019
10. Miskevich O., Bagniuk, N., Khrystynets, N., Marchevska O. Automation of detection of defective products by machine learning methods. Computer-integrated technologies: education, science, production, №39, 175-180. 2020

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-13>

УДК 004.05

Радченко Костянтин Олександрович, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-1282-6307>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕБСЕРВЕР КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Радченко К. О. Застосування дискретних вейвлет-перетворень для прогнозування рівня навантаження на вебсервер комп'ютерних мереж загального призначення. Дана стаття присвячена застосування дискретних вейвлет-перетворень для розробки ефективного методу прогнозування навантаження, яке визначається розміром веб-трафіка, на вебсервер комп'ютерних мереж загального призначення. Проведено аналіз існуючих методів прогнозування у комп'ютерних мережах та запропоновано критерій для способу підвищення точності і швидкодії прогнозування навантаження. Проведено експеримент та визначено найбільш ефективний метод прогнозування навантаження на вебсервер.

Ключові слова: вейвлет-перетворення, вебсервер комп'ютерних мереж загального призначення, прогнозування навантаження, вейвлети Добеші.

Радченко К. О. Применение дискретных вейвлет-преобразований для прогнозирования уровня нагрузки на вебсервер компьютерных сетей общего назначения. Данная статья посвящена применению дискретных вейвлет-преобразований для разработки эффективного метода прогнозирования нагрузки, определяемого размером веб-трафика, на веб-сервер компьютерных сетей общего назначения. Проведен анализ существующих методов прогнозирования в компьютерных сетях и предложен критерий для способа повышения точности и быстродействия прогнозирования нагрузки. Проведен эксперимент и определен наиболее эффективный метод прогнозирования нагрузки на веб-сервер.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, веб-сервер компьютерных сетей общего назначения, прогнозирование нагрузки, вейвлеты Добеші.

Radchenko K. Application of discrete wavelet transforms for forecasting the level of load on the web server of general purpose computer networks. This article focuses on the application of discrete wavelet transforms to develop an effective method of predicting the load, which is determined by the amount of web traffic, on the web server of general-purpose computer networks. The analysis of existing forecasting methods in computer networks is carried out and the criterion for a way of increase of accuracy and speed of forecasting of loading is offered. An experiment was performed and the most effective method of forecasting the load on the web server was determined.

Keywords: wavelet transform, web server of general purpose computer networks, load forecasting, Daubechies wavelets.

Вступ. Задача прогнозування навантаження на вебсервер – складова частина системи захисту інформації, що визначає роботу вебсервера, який обслуговує запити від віддалених клієнтів браузера з метою забезпечення безперебійного доступу джерел інформації.

Зауважимо, що найпопулярніший вебсервер Apache за стандартною конфігурацією не може одночасно обслуговувати більше 30 клієнтів. Задача прогнозування навантаження на вебсервер може бути вирішена шляхом розробки відповідних моделей. У зв'язку з тим, що процес підключення віддалених клієнтів до комп'ютерної мережі має чітко виражений випадковий характер, то доцільно використовувати статистичні моделі для прогнозування навантаження.

Очевидно, що тип і параметри моделі прогнозу в значній мірі залежать від тих параметрів, які визначають навантаження на вебсервер. Базуючись на типових завданнях, що виконуються вебсервером, а також на протоколах передачі даних, навантаження можна оцінити за групами параметрів, які характеризують використання:

1. Апаратні ресурси комп'ютер-сервер – оперативна пам'ять, жорсткий диск, мікропроцесор.

2. Ресурси операційної системи – довжина черги мережі, кількість відкритих файлів, кількість виконуваних процесів тощо.

3. Мережеві ресурси – обсяг вхідного та вихідного трафіку, розмір мережевих пакетів, кількість клієнтів на одиницю часу, кількість "невідповідних" мережевих пакетів для кожного з використовуваних мережевих протоколів тощо.

Одним з найсучасніших методів частотно-часового аналізу нестационарних процесів є вейвлет-перетворення, яке дозволяє розрахувати частотно-часові характеристики вебсерверів. Однак ця модель заснована на теорії неперервного вейвлет-перетворення, і тому має значну надмірність і вимагає адаптації до дискретних даних, які відповідають типовій статистиці параметрів вебсервера.

Можливим ефективним способом усунення цих недоліків може бути використання дискретного вейвлет-перетворення.

Пов'язані роботи. Як правило у ранніх роботах [2], [4], [5], [8] для навантаження на вебсервер у часі використовувалися моделі прогнозування задані простими аналітичними виразами, а саме лінійна, поліноміальна, експоненціальна, ковзного середнього, експоненціального згладжування тощо. Їх основною перевагою є простота математичного апарату. У той же час практичний досвід їх використання показує серйозні недоліки. У разі реалізації задачі прогнозування навантаження ці моделі не дозволяють адекватно враховувати нестационарний і багатоперіодичний характер типових залежностей більшості експлуатаційних параметрів вебсервера від часу.

У роботах [12], [13] з метою підвищення точності предикатів веб-трафіку, був запропонований метод предикації на основі інтеграції вейвлет-аналізу та нейронних мереж. Часовий ряд веб-трафіку, який є нелінійним і нестационарним, був розкладений і потім перебудований у кілька гілок методом вейвлета. Ці гілки були передбачені нейронними мережами причому кінцеве значення було комбінацією цих прогнозованих результатів.

Проведений теоретичний аналіз та результати експериментів показують, що вейвлет-аналіз може розкласти вихідний ряд трафіку на кілька часових рядів, які мають простіші частотні компоненти і легші у прогнозуванні. Таким чином, показано, що розроблений метод має більш високу предиктивну точність, ніж традиційні підходи прогнозування. У роботі [16] представлена модель прогнозу навантаження на вебсервер з урахуванням аналізу вейвлет-пакетів. Модель припускає, що часові ряди динамічного рівня веб-трафіка для вебсервера розкладаються та реконструюються за допомогою аналізу вейвлет-пакетів, щоб отримати набір вейвлет-коефіцієнтів однакової довжини за певний період часу. Експериментальним шляхом доводиться, що запропонований метод перевершує традиційний підхід до прогнозування.

У роботі [6] розроблено підхід для прогнозування короткострокового навантаження. Підхід використовує векторні машини (LS-SVM) та теорію вейвлет-перетворень. Часовий ряд аналізується за допомогою вейвлет-перетворень, результати якого прогноуються окремою модифікацією LS-SVM. Нова модель прогнозу поєднує перевагу вейвлет-перетворень з LS-SVM. Здекларовано, що в порівнянні з іншими предикторами ця модель прогнозу має більшу узагальнюючу здатність і більш високу точність.

В результаті проведеного аналізу [17], [18], [19] можна стверджувати, що застосування вейвлет-перетворень є одним із найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності систем прогнозування навантаження на вебсервер. При цьому теорія вейвлет-перетворень свідчить, що неправильний вибір цих параметрів може в значній мірі знизити ефективність системи прогнозування.

З точки зору дискретного вейвлет-аналізу, статистичні дані вебсервера мають такі особливості: обмежені інтервалом $t \in [t_{min}, t_{max}]$, дані реєструються з певною дискретністю Δt , для діадного перетворення кількість точок ряду N має дорівнювати $N = 2z$ (z – ціле число).

Модель прогнозування рівня веб-трафіку вебсервера комп'ютерних мереж загального призначення. Представлена модель базується на принципі визначення очікуваного рівня веб-трафіка вебсервера комп'ютерних мереж загального призначення, процедурах експертного прогнозування рівня веб-трафіка та його масштабування для досліджуваного вебсервера. Основою математичного забезпечення моделі є вирази для прямого та зворотнього вейвлет-перетворення:

$$W(m, k) = 2^{0.5m} \sum_{i=1}^N (f(t_i) \psi^*(2^m t_i - k)),$$

$$f(t_i) = \frac{\pi}{\ln 2} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{L-1} \psi(t) W(m, k),$$

де N – кількість точок ряду, L – кількість масштабів, m – параметр масштабу, k – параметр зсуву, ψ – базисний вейвлет, $*$ – процедура комплексного спряження, $f(t_i)$ – відновлення дискретної функції по набору вейвлет-коефіцієнтів у момент t_i .

Задача прогнозування формулюється наступним чином: маючи наявні попередні l значень часового ряду $x(t)$, передбачити наступні значення $x(t+d)$:

$$x(t+d) = \Psi(x(t), (t-1), \dots, (t-l), \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_q),$$

де d – крок прогнозування; q – кількість незалежних змінних ξ ; Ψ – вейвлет-функція, що використовується для прогнозування.

Архітектура такої моделі безпосередньо залежить від множини тих параметрів, які власне і визначають навантаження на вебсервер. Виходячи з типових задач, які виконуються вебсервером комп'ютерних мереж загального призначення, а також використовуваних мережевих комунікаційних

протоколах визначені три групи параметрів, кожна з яких характеризують використання: апаратних ресурсів комп'ютера-сервера; ресурсів операційної системи; мережевих ресурсів.

Для визначення довгострокового прогнозу треба проаналізувати природу подій, їх можливий зв'язок з рядом інших подій, легко прогнозованих.

Зокрема, аналізуючи роботу вебсервера комп'ютерних мереж загального призначення потрібно врахувати зв'язок з ритмами життя людей, які користуються досліджуванним вебсервером. Має простежуватись добова періодичність, тижнева, сезонна, річна. Таким чином потрібно мати дані спостережень за період, який становить не менше 1 року. Виявлення періодів та їх повторюваність – це вже ключ до прогнозу. Оскільки спостереження відбуваються у часі, то і отриманий трафік навантаження на вебсервер також будемо розглядати як функцію, що залежить від часу.

$$\langle S, IO, D, K, K_t, K_s, T, Z_{nb}, W_n \rangle \rightarrow \langle Z \rangle,$$

$$Z = \{z^{(\phi_k)}\}_{K_\phi} = \left\{ \left(x^{(\phi_k)}, y^{(\phi_k)} \right) \right\}_{K_\phi},$$

де S – множина спостережуваних типів сервера, K – множина зареєстрованих клієнтів, IO – множина співвідношення вхідного/вихідного трафіку в залежності від типу дня (робочий, вихідний, передсвятковий, святковий, рухоме свято тощо), D – множина несподіваних збурень вебтрафіку даних, згідно зібраної статистики, K_t – множина середньої тривалості користування вебсервером серед клієнтів, K_s – множина середньої кількості перегляданих вебсторінок, T – тренд зміни навантаження на вебсервер за період спостереження, Z – статистична вибірка, приклади якої містять періодичні (доба, тиждень, рік) особливості досліджуваного вебтрафіку, Z_{nb} – множина обмежень на формування прогнозованої вибірки, W_n – обчислювальна потужність вебсерверу, $z^{(\phi_k)}$ – пронормовані приклади виду Z для k -го досліджуваного елемента, $x^{(\phi_k)}$ – множина вхідних параметрів для k -го елемента, $y^{(\phi_k)}$ – очікуваний вихідний сигнал для k -го елемента, K_ϕ – кількість елементів, які мають бути враховані.

Вибір факторів для кожного випадку є окремою задачею, що вимагає заздалегідь оцінити вплив прогнозованих факторів прогнозування до початку самого прогнозування.

Якість прогнозування оцінювалася показником середньо-відсоткової похибки MAPE (Mean Absolute Percentage Error):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{Z}_t - Z_t|}{Z_t} 100\%,$$

де \hat{Z}_t – прогнозоване значення, Z_t – фактичний показник веб-трафіку, n – розмір вибірки.[2]

Практичний досвід та зібрані результати вказують на те, що ефективність більшості вітчизняних корпоративних інформаційних систем безпосередньо залежить від якості функціонування вебсерверу, за допомогою якого забезпечуються відповіді на запити віддалених клієнтів. Очевидно, що обчислювальні ресурси вебсерверу повинні відповідати його навантаженості. В протилежному випадку вебсервер або не зможе адекватно забезпечувати потреби користувачів інформаційної системи, або резервування надлишкових потужностей призведе до економічних та енергетичних втрат.

Експериментальна оцінка. В ході дослідження були проведені порівняльні оціночні експерименти наведених вище методів прогнозування навантаженості на вебсервер з використанням статистики досліджуваного вебсервера за звітний період з липня 2019 року по червень 2021 року.

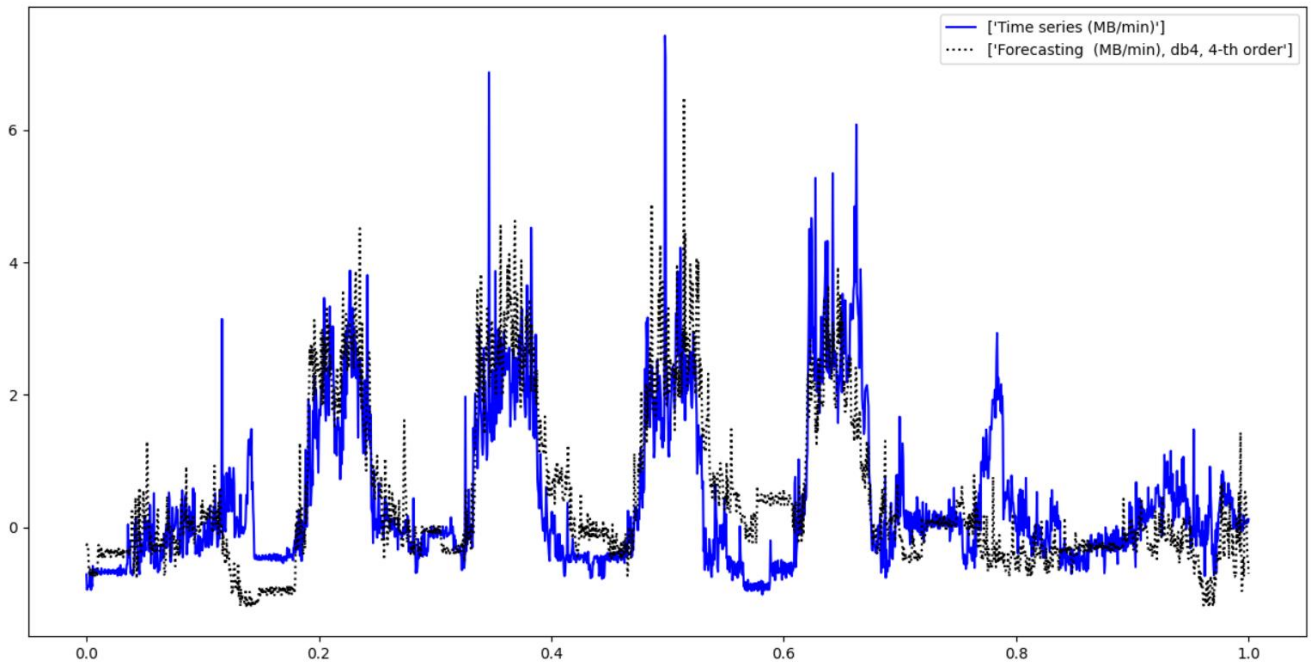


Рис.1. Експериментальні дослідження методу застосування вейвлет-перетворень для прогнозування короткострокових (тижневих) навантажень на вебсервер

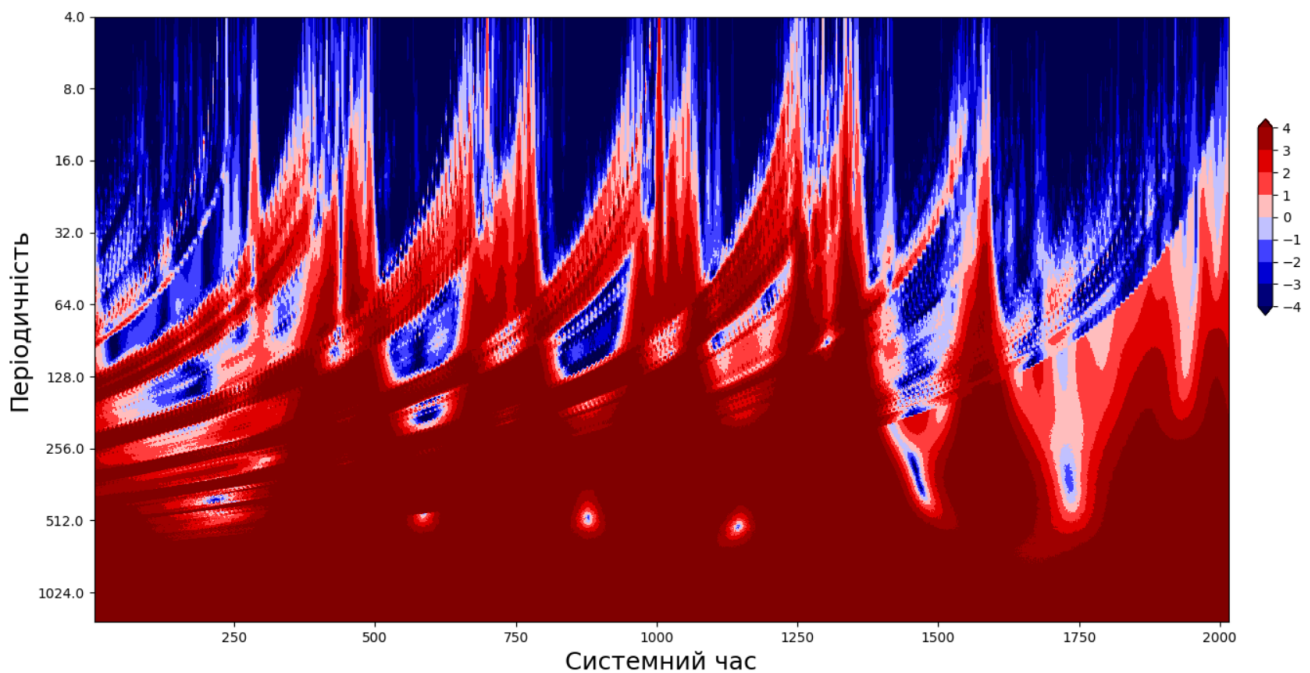


Рис.2. Скалограма вейвлет-перетворень для прогнозування короткострокових (тижневих) навантажень на вебсервер

На реальних даних було проведено вейвлет-аналіз Добеші статистики відвідуваності вебсайту. Розрахунки проводились за допомогою бібліотеки PyWavelets мови програмування Python. Аналіз даних вказує на те, що в досліджуваному процесі існують періодичні компоненти, які дорівнюють добовим, тижневим і сезонним коливанням.

Перед початком експерименту було проведено нормування даних. Дані були завантажені, розбиті на окремі періоди, очищені від аномальних викидів веб-трафіку.

Прогнозування навантаження проводилося у різних часових діапазонах. У роботі часові діапазони прогнозування класифікувалися наступним чином: у межах поточної доби – оперативний прогноз; від 1 доби до тижня наперед – короткостроковий прогноз; від тижня до 1 місяця наперед – середньостроковий прогноз; довгостроковий прогноз – більше 1 місяця до кварталу і більше.

На Рис. 1. можна побачити результати застосування методу дискретних вейвлет-перетворень для прогнозування короткострокових (тижневих) навантажень на досліджуваний вебсервер, а на Рис. 2 можна побачити представлення цих же вейвлет-перетворень у вигляді скалограми (трьохвимірне представлення значень одержаних вейвлет-коефіцієнтів). При аналізі екстрапольованого часового ряду середньо-відсоткова помилка апроксимації становила (2 – 3)%.

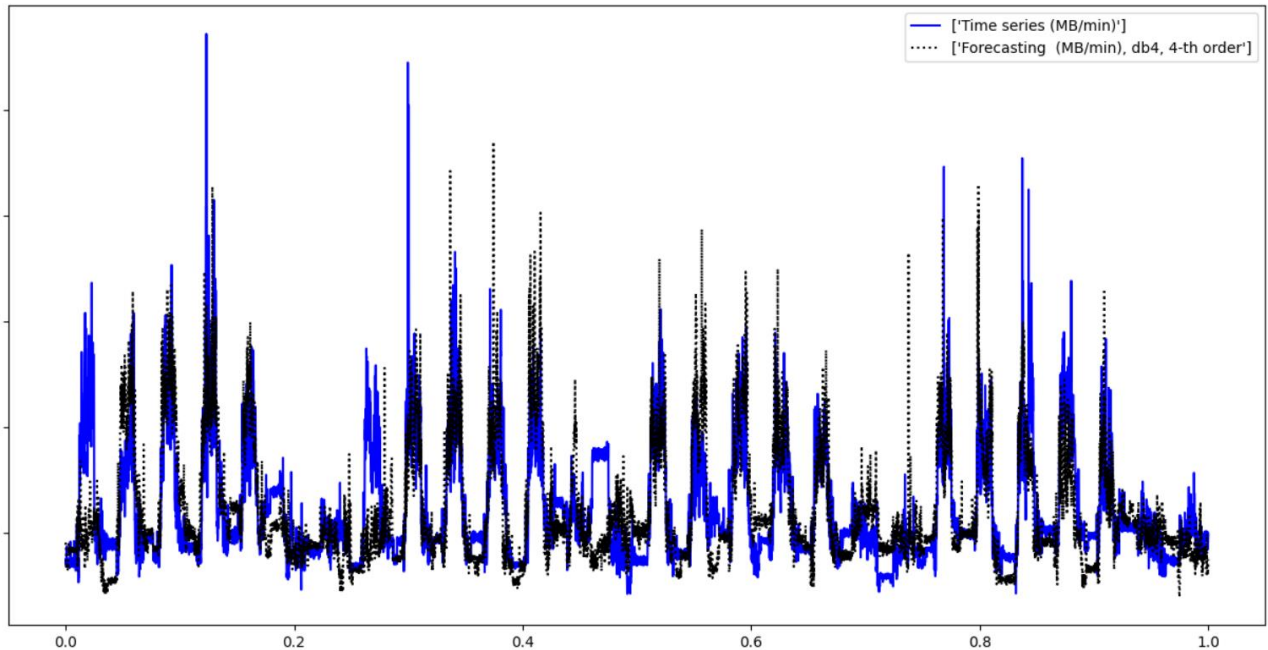


Рис.3. Експериментальні дослідження методу застосування вейвлет-перетворень для прогнозування середньострокових (місячних) навантажень на вебсервер

На Рис. 3. можна побачити результати застосування методу дискретних вейвлет-перетворень для прогнозування середньострокових (місячних) навантажень на досліджуваний вебсервер, а на Рис. 4 представлений той же досліджуваний період без урахування аномальних викидів трафіку, причому середньо-відсоткова помилка апроксимації становила (3 – 5)%.

На Рис. 5. можна побачити результати застосування методу дискретних вейвлет-перетворень для прогнозування довгострокових (квартальних) навантажень на досліджуваний вебсервер, причому середньо-відсоткова помилка апроксимації становила (5 – 7)%.

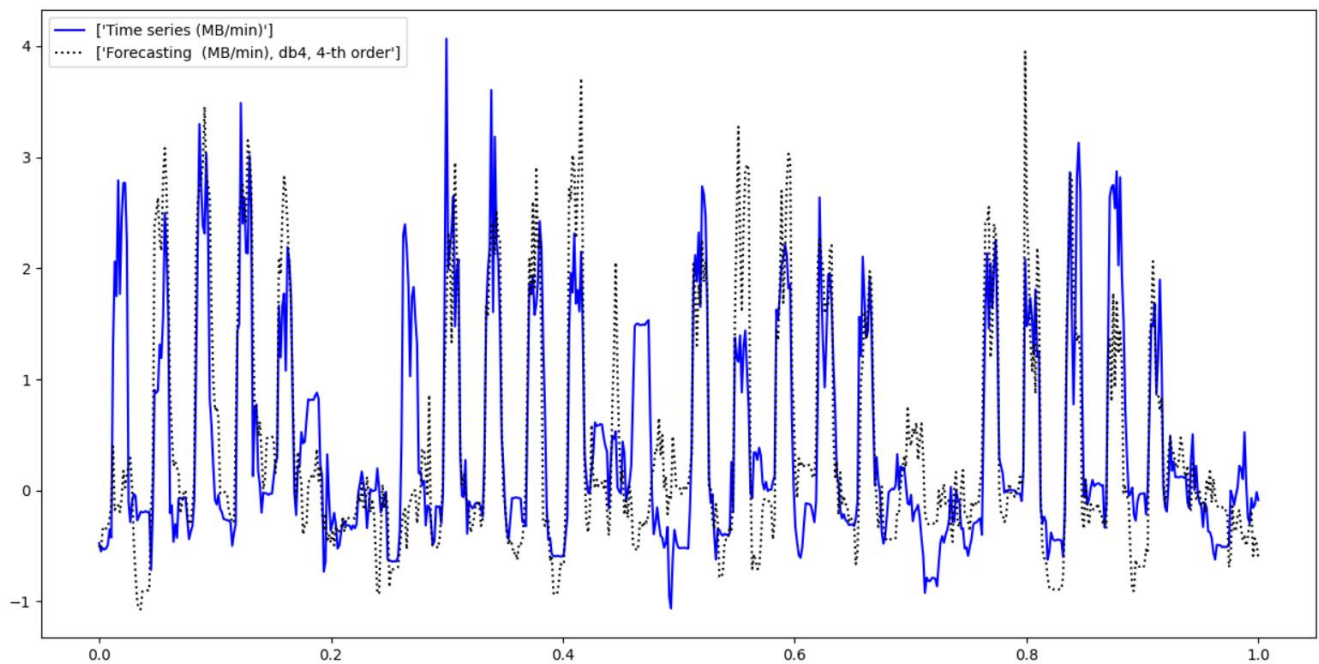


Рис. 4. Експериментальні дослідження методу застосування вейвлет-перетворень для прогнозування середньострокових (місячних) навантажень на вебсервер, без урахування аномальних викидів трафіку

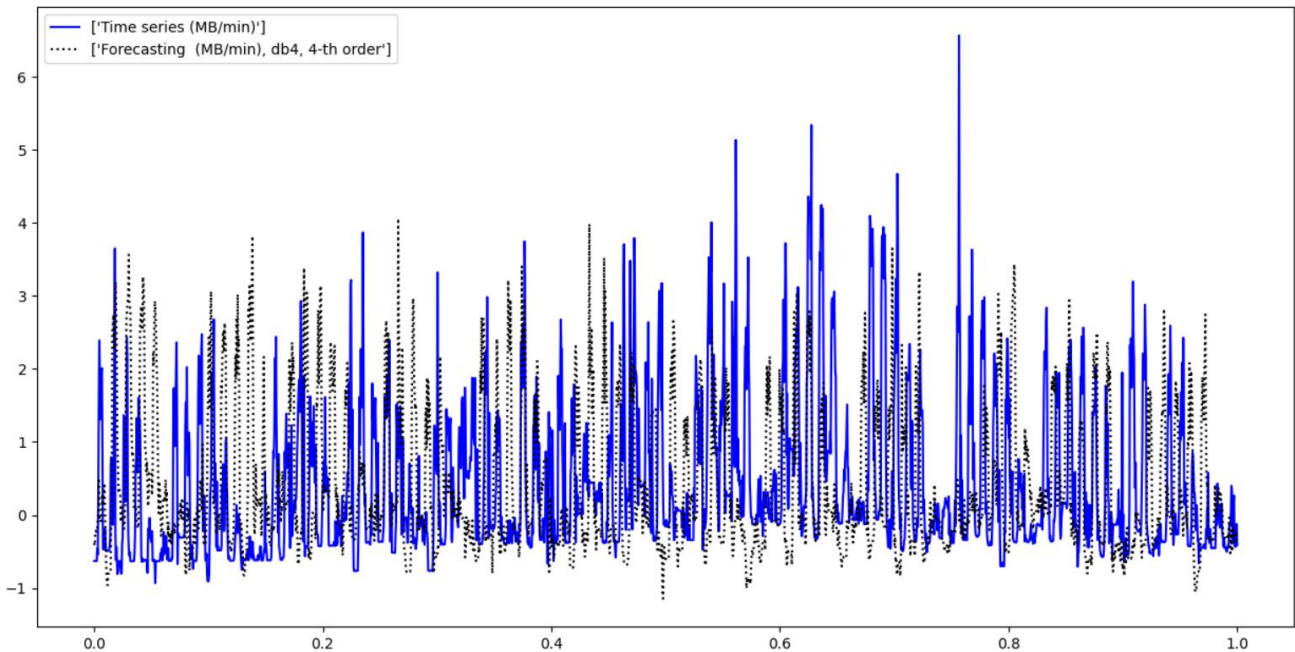


Рис. 5. Експериментальні дослідження методу застосування вейвлет-перетворень для прогнозування довгострокових (квартальних) навантажень на вебсервер

Для числових експериментів було застосовано різні набори ортогональних вейвлетів сімейства Добеші, що дозволило верифікувати отримані результати шляхом перевірки точності апроксимації статистичних даних та можливості використовувати вейвлет-коефіцієнти для визначення локальних особливостей динаміки рівня навантаження вебсервера:

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=1}^Q h_k \psi^*(2t - k),$$

де h_k – ортогональні нормовані коефіцієнти Добеші. Як найбільш ефективний тип базисного вейвлету цього сімейства було обрано Daubechies-5 з коефіцієнтами:

$$\begin{cases} h_1 = 0.0033357253; \\ h_2 = -0.0125807520; \\ h_3 = -0.0062414902; \\ h_4 = 0.0775714938; \\ h_5 = -0.0322448696; \end{cases} \begin{cases} h_6 = -0.2422948871; \\ h_7 = 0.1384281459; \\ h_8 = 0.7243085284; \\ h_9 = 0.6038292698; \\ h_{10} = 0.1601023980. \end{cases}$$

Отже, отриманий набір вейвлет-коефіцієнтів дозволяє екстраполювати періодичні особливості досліджуваного часового ряду веб-трафіка на період часу, що перевищує 1 квартал, причому при аналізі одержаного прогнозованого часового ряду середньо-відсоткова помилка апроксимації не перевищує (7 – 10)%.

Висновок

В даній статті були описані методи застосування дискретних вейвлет-перетворень для розробки ефективного методу прогнозування навантаження, яке визначається розміром веб-трафіка, на вебсервер комп'ютерних мереж загального призначення. Одержаний результат дає кращі результати порівняно з класичними поліноміальними методами прогнозування, менш ресурсоємний та дозволяє виконувати прогноз на більшу кількість кроків порівняно з рекурентними нейронними мережами, зокрема LSTM, що дозволяє успішно використовувати його для прогнозування нестационарного навантаження на вебсервер.

Таким чином результати експериментів підтверджують можливість застосування розробленого методу, перспективи вдосконалення якого полягають в уточненні розрахунку критеріїв ефективності і їх вагових коефіцієнтів. Крім того представляє інтерес деталізація запропонованого методу в напрямку розрахунку параметрів базисного вейвлета. Запропоновані моделі вимагають додаткового дослідження та можуть стати основою для подальших робіт.

Список бібліографічного опису.

1. Довлад О. А. Дослідження та розробка моделі процесу атаки та трафіку локальної мережі / О. А. Довлад // *Захист інформації*. – 2009. – № 1 – Р. 83 – 86.
2. Менаске Д. Производительность Web-служб. Анализ, оценка и планирование / Менаске Д., Виргилио А. ; пер. с англ. – СПб.: "ДиаСофтЮп", 2003, 480 с.
3. Переберин А. В., О классификации вейвлет-преобразований, Выч. мет. программирование, 2:3 (2001), 15–40.
4. Сыропятов А. А. Метод мониторинга трафика защищенных высокоскоростных коммерческих сетей нового поколения / А. А. Сыропятов // *Наукові записки УНДІЗ*. – 2009. – № 2(1) – С. 65-73.
5. Терейковская Л. А. Применение дискретного вейвлет-преобразования для определения частотно-временных параметров эксплуатационной нагрузки Web-сервера системы дистанционного образования [Текст] // *Науково-технічний збірник «Управління розвитком складних систем» КНУБА*. – 2011. – Вип. 5. – С. 124 – 128.
6. Дичка І., Терейковський І., Терейковська Л., Радченко К. Метод визначення ефективного типу базисного вейвлету для застосування в шаблонах нормальної поведінки веб-сервера // *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. – № 2 (36). – 2018. – С. 46 – 55.
7. Радченко К.О. Концептуальна модель забезпечення ефективності прогнозування навантаження на вебсервер // *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. – Том 31 (70). – № 6. – 2020. – С. 135 – 141.

References

1. Bariyev, I.M., Aitchanov, B.H., Tereikovskiy, I.A., Tereikovska, L.A., Korchenko, A.A. (2017), "Deep neural networks in cyber attack detection systems", *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Volume 8, Issue 11, November 2017, pp. 1086–1092.
2. Dychka, I., Tereikovskiy, I., Tereikovska, L., Pogorelov, V., Mussiraliyeva, S.(2018), "Deobfuscation of computer virus malware code with value state dependence graph", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp 370-379, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-91008-6.
3. Qi-Song Chen ; Xin Zhang ; Shi-Huan Xiong ; Xiao-Wei Chen Short-term power load forecasting with least squares support vector machines and wavelet transform 2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics Year: 2008 , Volume: 3. Pages: 1425 – 1429.
4. Sitnikov V.S., Bilenko A.A.. Classification of wavelet functions. Труды Одесского политехнического университета, 2008, вып. 1(29) с.168-171.
5. Starck, J.-L. Image and Data Analysis: the Multiscale Approach / J.-L. Starck, F. Murtagh, A. Bijaoui. — Cambridge University Press, 1998. — 307 с.
6. Steinbuch, M. Wavelet Theory and Applications A literature study / M. Steinbuch, M.J.G. van de Molengraft — Eindhoven University of Technology, 2005. - 39 с
7. Shuping Yao; Changzhen Hu; Mingqian Sun Prediction of Web Traffic Based on Wavelet and Neural Network 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation Year: 2006 , Volume: 1, Page s: 4026 – 4028.
8. Shuping Yao; Changzhen Hu; Wu Peng Server Load Prediction Based on Wavelet Packet and Support Vector Regression 2006 International Conference on Computational Intelligence and Security Year: 2006, Volume: 2 Pages: 1016 – 1019.
9. Tereykovska, L., Tereykovskiy, I., Aytkhozaeva, E., Tynymbayev, S., Imanbayev, A. (2017), "Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems", *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, Volume 6, Number 426, pp. 217 – 224, 2017.
10. Zhengbing Hu, Igor A. Tereykovskiy, Lyudmila O. Tereykovska, Volodymyr V. Pogorelov, "Determination of Structural Parameters of Multilayer Perceptron Designed to Estimate Parameters of Technical Systems", *International Journal of Intelligent Systems and Applications(IJISA)*, Vol.9, No.10, pp.57-62, 2017. DOI: 10.5815/ijisa.2017.10.07.
11. Zijiang Yang Research on Server Load Prediction Based on Wavelet Packet Theory 2007 First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education Year: 2007 Pages: 610 – 613.
12. Hu Z., Tereykovskiy I., Tereykovska L., Tsiutsiura M., Radchenko K. Applying Wavelet Transforms for Web Server Load Forecasting // *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 938, pp. 13–22 (2019). Springer, Cham. ISSN 2194-5365 (Online). https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_2

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-14>

УДК 004.6

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Лавренчук Світлана Василівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5453-3924>

Свиридюк Катерина Анатоліївна, магістр

<https://orcid.org/0000-0003-0138-3931>

Скригунець Василь Валерійович, студент

Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА МАСШТАБОВАНИХ ВЕБ-ДОДАТКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРЕЙМВОРКУ REACT ТА БАЗИ ДАНИХ MONGODB

Христинець Н.А., Лавренчук С.В., Свиридюк К.А., Скригунець В.В. Розробка масштабованих веб-додатків з використанням фреймворку React та бази даних MongoDB. Преставлено особливості кластерної структури баз даних MongoDB з динамічною схемою документів для створення веб-додатку у вигляді інтернет-магазину на платформі Read. Запропоновано використання хмарної опції для безпеки та конфіденційності даних. Також розглянуто способи доступу до бази даних через систему запитів, API ключ та дашборд.

Ключові слова: веб-додаток, інтернет-магазин, база даних, Mongo DB, API

Христинець Н.А., Лавренчук С.В., Свиридюк Е.А., Скригунець В.В. Разработка масштабируемых веб-приложений с использованием фреймворка React и базы данных MongoDB. Представлены преимущества кластерной структуры баз данных MongoDB с динамической схемой документов для создания веб-приложения в виде интернет-магазина на платформе Read. Предлагается использование облачной опции для безопасности и конфиденциальности данных. Также рассмотрены способы доступа к базе данных через систему запросов, ключ API и дашборд.

Ключевые слова: веб-приложение, интернет-магазин, база данных, Mongo DB, API

Khrystynets N., Lavrenchuk S., Svyrydiuk K., Skrygunets V. Development of scalable web applications using the React framework and the MongoDB database. The advantages of the cluster structure of MongoDB databases with a dynamic document scheme for creating a web application in the form of an online store on the Read platform are presented. It is suggested to use cloud option for data security and privacy. Methods of accessing the database through the query system, API key and dashboard are also considered.

Keywords: web-application, online store, database, Mongo DB, API

Постановка наукової проблеми. Однією з найпопулярніших сучасних технологій у сфері веб-розробок є MEAN – це абревіатура, до якої входять технології MongoDB, ExpressJs, Angular і NodeJs. Фактично це набір комплексного програмного забезпечення, який використовують для веб-розробок.

Зазвичай, коли постає необхідність вибирати базу даних для веб-додатку, розробники витрачають багато часу на порівняння кількох операційних баз даних, щоб вибрати ту, яка найкраще відповідає їхнім робочим навантаженням, вимогам, характеристикам. В одних випадках, якщо проектується сайт-візитка, чи промосайт, то потреби щодо баз даних можуть включати спрощене моделювання даних і виконання елементарних транзакцій, в інших випадках, зокрема в проектуванні інтернет-магазину, важливими характеристиками стають ще й продуктивність читання/запису, горизонтальне масштабування та відмовостійкість. Традиційно, початкове звернення уваги починається з категорій SQL або NoSQL. Популярним сучасним вибором з класу баз даних NoSQL є MongoDB [1]. База чудово працює для багатьох сучасних програм, таких як мобільні, ігрові та інтернет-додатки завдяки високій продуктивності та широкими функціональним можливостям, які забезпечують максимальну зручність її використання. Питання методів доступу до MongoDB, яка використовується при розробці інтернет-магазину у якості серверного кластера для розміщення основних елементів веб-ресурсу, є сьогодні надзвичайно актуальною задачею в плані безпеки та конфіденційності даних.

Аналіз досліджень. MongoDB пропонує як локальні, так і хмарні варіанти розгортання: Для локальних розгортань MongoDB пропонує як спільноту, так і корпоративну версію бази даних. Спільнота MongoDB є доступним і безкоштовним джерелом видання MongoDB. MongoDB Enterprise доступна як частина підписки MongoDB Enterprise Advanced і включає комплексну підтримку розгортання MongoDB. MongoDB Enterprise також додає такі корпоративні функції, як підтримка LDAP та Kerberos, шифрування на диску та аудит. MongoDB Atlas - це розміщена в хмарі опція

служби MongoDB Enterprise, яка не вимагає додаткових витрат на встановлення та пропонує безкоштовний рівень для початку роботи [2].

Завдяки вбудованій підтримці пошуку, аналітики та периферійної підтримки, доступній за допомогою спільного API запитів і побудованої на основі моделей даних, які люблять розробники, MongoDB робить роботу з даними легкою – для будь-якого випадку.

MongoDB побудована на масштабованій архітектурі, яка стала популярною серед розробників масштабованих додатків з еволюційними схемами даних. Як база даних документів, MongoDB спрощує розробникам зберігання структурованих або неструктурованих даних. Він використовує формат, подібний до JSON, для зберігання документів. База даних представлена у вигляді фізичного сховища колекцій. Кожна БД має свій власний набір файлів в файловій системі. Зазвичай, один MongoDB сервер має кілька БД. Досліджено [3], що протягом 2021 року трійка лідерів практично не змінилась: MS SQL та PostgreSQL набагато популярніші серед прихильників SQL, тоді як SQLite і MongoDB більш популярні серед тих, хто лише зрідка використовує SQL (рис. 1). Велика кількість розробників використовують дві або більше баз даних одночасно. Так, користувачі MongoDB також використовують утиліту MySQL Workbench.

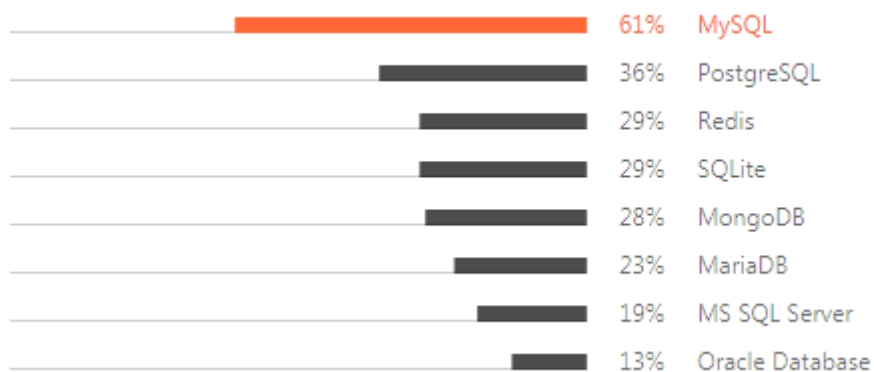


Рис. 1. Рейтинг баз даних за 2021 рік (версія Devecosystem)

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Інтернет-магазин розроблений на базі фреймворку React, який є популярним інструментом для створення інтерактивних програм. Використовуючи бібліотеку, можна розгорнути нові проекти React на будь-якому постачальнику статичного хостингу. Це чудово для продуктивності та безпеки, але також має обмеження: вміст часто має бути жорстко закодованим у програмі. Основний інструментарій створення веб-додатку – ReactJS. Це інтерфейсний фреймворк, який не взаємодіє з базою даних, якщо не створено REST API із серверною частиною. Щоб редагувати та оновлювати текст або зображення, потрібно внести зміни в код і повторно розгорнути всю програму. React дуже добре обробляє дані API. Щоб зробити вміст доступним для редагування, слід використовувати систему керування вмістом на основі API.

Процес створення дизайн-схеми (рис. 2) MongoDB під час роботи з обліковим записом одного користувача та кількома користувачами (обліковий запис організації з ролями) відбувався наступним чином: в обліковому записі компанії є адміністратор (власник) та інший запрошений користувач, і кожному користувачеві призначається рівень дозволу, або рівень доступу.

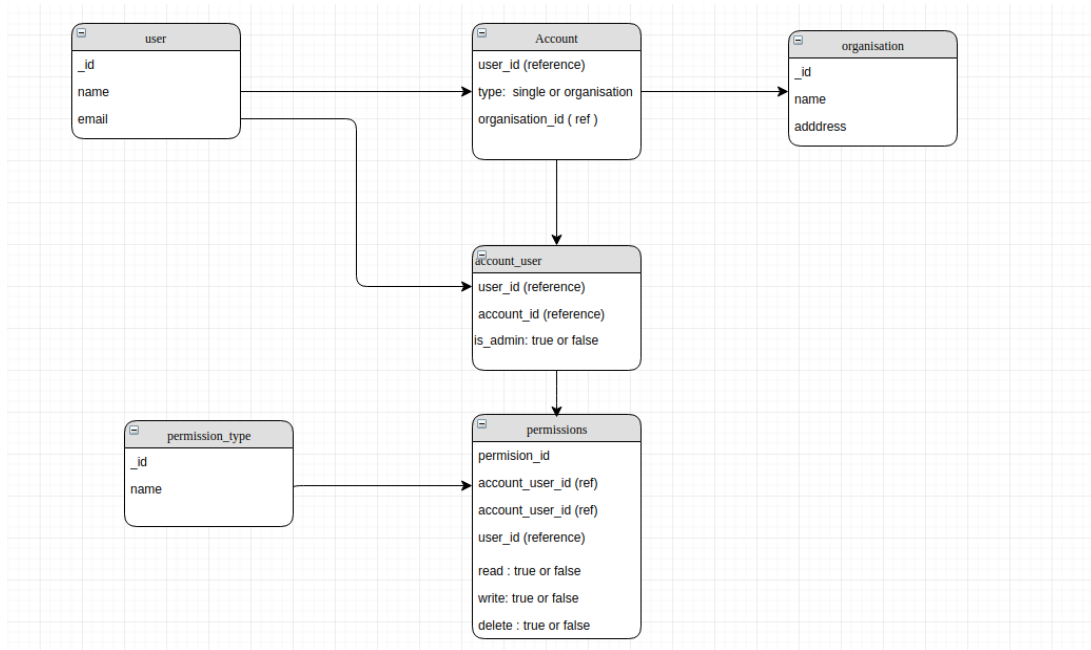


Рис. 2. Схема взаємопов'язаних таблиць бази даних інтернет-магазину

Один користувач завжди буде пов'язаний лише з одним обліковим записом, тобто його не можна знову запросити в інший обліковий запис, або розпочати новий обліковий запис, якщо він уже є частиною наявного облікового запису. Адреса виставлення рахунку та доставки специфічна для облікового запису, а не для користувача у випадку облікового запису компанії. Адреса переходу користувача на обліковий запис компанії буде адресою облікового запису компанії.

MongoDB є документо-орієнтованою базою. Документ – це набір пар «ключ - значення», він має динамічну схему. Це означає, що документ в одній і тій же колекції не зобов'язаний мати один однаковий набір полів або структуру, а загальні поля в колекції можуть мати різні типи даних.

Одним із варіантів підключення бази даних є firebase. Ця хмарна технологія звільняє розробників від багатьох питань користувацького досвіду, при її використанні не потрібно керувати серверами, не потрібно писати API. Firebase – це сервер, API і сховище даних водночас з налаштуваннями, які можна змінити відповідно до більшості потреб користувача. Інколи при роботі з Firebase доведеться використовувати інші частини Google Cloud для якихось розширених програм. При залученні MongoDB як firebase, MongoDB надає можливість створити кластер на їхньому сервері (рис. 3).

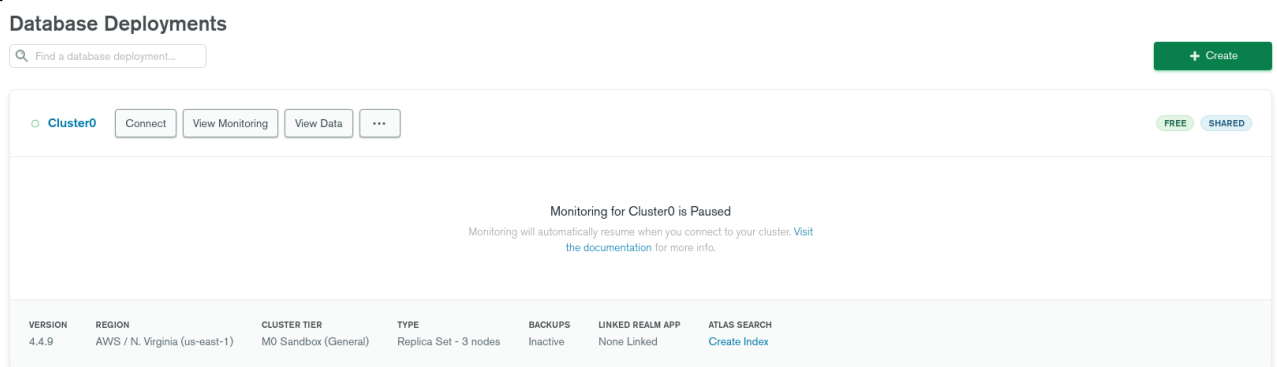


Рис. 3. Елемент кластеру бази даних MongoDB

Було розроблено частину авторизації, де користувачеві потрібно обмежити доступ до ресурсу, перевіряючи дозвіл, який він має. Було розроблено проміжне програмне забезпечення для авторизації, яке запускається після програмного забезпечення для автентифікації, яке перевіряє наявність дозволів на доступ. Проте, коли необхідно було отримати доступ до даних облікового запису на основі поточного користувача, виникла проблема, оскільки довелося шукати документ на основі посилання на objectId. При продовженні роботи з поточним дизайном дана ситуація була передбачувана, але пошук у документі за допомогою посилання objectId, здається, не дуже вдала ідея. Тому, було використано проміжне програмне забезпечення для авторизації.

Доступ до бази даних відбувається через API ключ, оскільки за допомогою API можна створювати кластери та автоматизувати їх обслуговування у базі даних сайту. Цей ключ MongoDB генерує з даних користувача. В нашому випадку використання MongoDB, як firebase, ми вибрали «Connect your application» (рис. 4), після чого було видано APU url на кластер бази даних MongoDB.

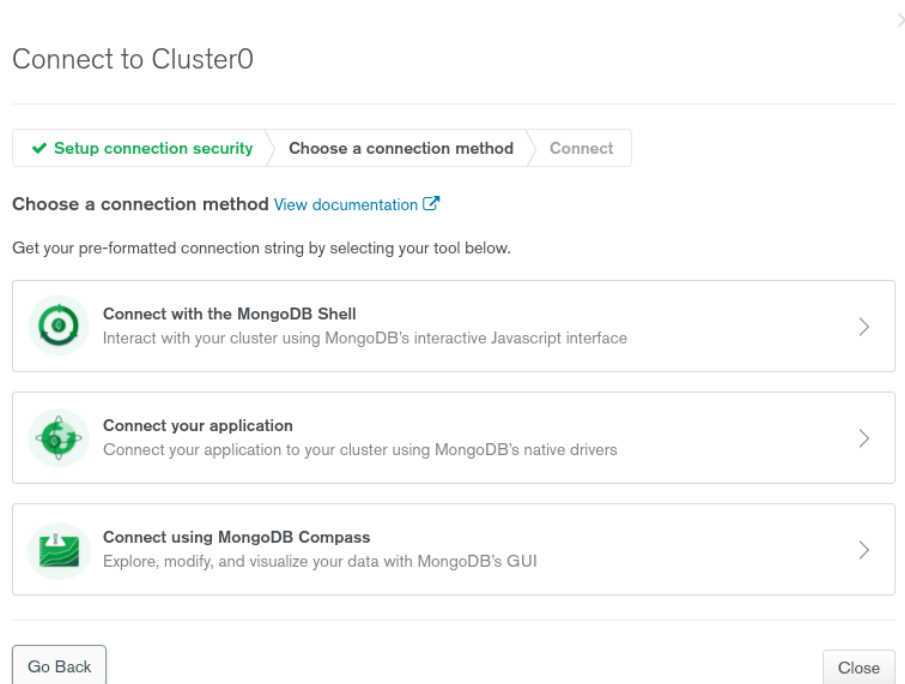


Рис. 4. Вікно налаштувань кластерів служби MongoDB

Підключення відбувалось за допомогою запиту, за допомогою функції «connect», яка описана в пакеті «mongoose».

```
await mongoose.connect(DB_URL,{
  useNewUrlParser: true,
  useUnifiedTopology: true
})
```

Наступним етапом відбувалось створення моделі, після імпортування mongoose. Для створення моделі була необхідна «Schema», і загалом, модель користувача має наступний вигляд:

```
const {Schema, model} = require('mongoose');

const UserSchema = new Schema({
  email: {type: String, unique: true, required: true},
  password: {type: String, required: true},
  isActivated: {type: Boolean, default: false},
  isAdmin: {type: Boolean, default: false},
  activationLink: {type: String}
});
```

```
module.exports = model('User', UserSchema);
```

Звертання до бази даних відбувалося за допомогою моделі, таким чином:

```
const user = await UserModel.create({email, password: hashPassword, activationLink})
```

Результат виконаної операції відображено в кластері на UI в MongoDB (рис. 5).

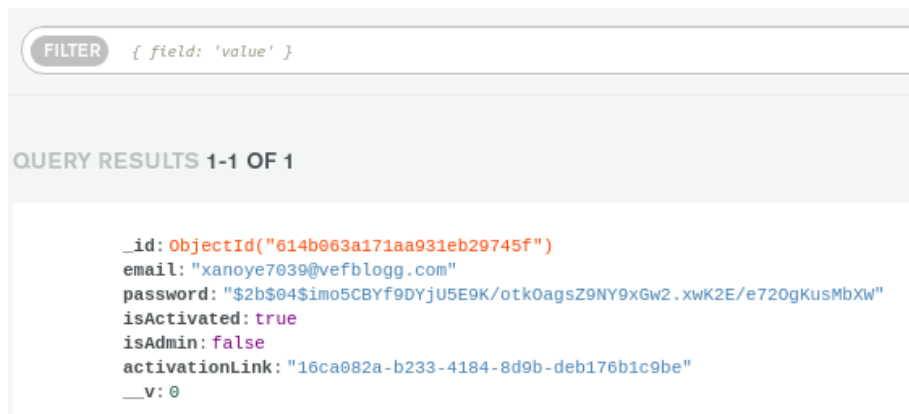


Рис. 5. Фрагмент відображення звертання до MongoDB за допомогою моделі

Зміни параметрів аутентифікації можна здійснювати в дашборді (інформаційній панелі) MongoDB (рис. 6). Інформаційні панелі являють собою набір діаграм, зібраних для створення єдиного відображення даних.

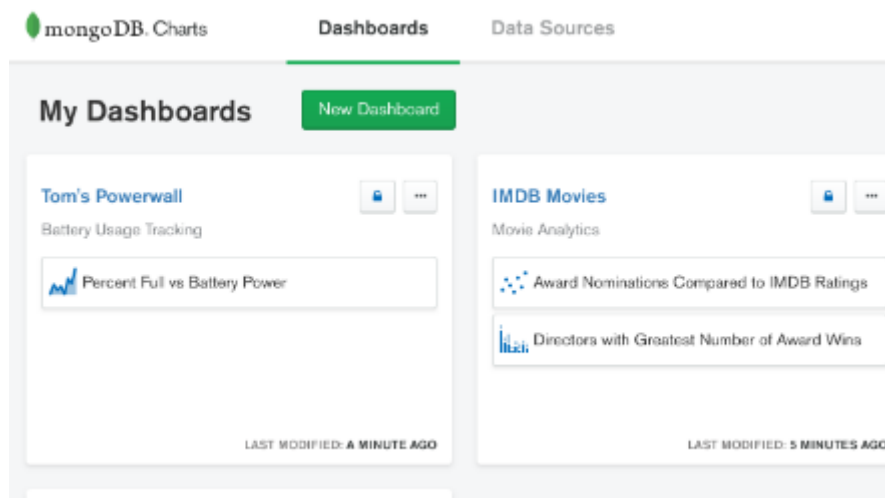


Рис. 6. Інформаційна панель діаграм MongoDB

Кожна діаграма показує дані з однієї колекції або подання MongoDB, тому інформаційні панелі мають важливе значення для того, щоб отримати уявлення про декілька координаційних центрів даних на одному дисплеї. Інформаційними панелями можна поділитися з іншими користувачами. На сторінці інформаційної панелі відображаються всі інформаційні панелі, до яких є доступ. Параметри MongoDB можна відстежувати за допомогою п'яти ключових категорій показників в дашборд: пропускну здатність, насиченість ресурсів, використання ресурсів, помилки і продуктивність. Однак, доступні показники та їх відносна важливість залежать від механізму зберігання, який використовується. У сучасних версіях MongoDB це WiredTiger, який зараз є стандартним, або MMAPv1, який використовувався за замовчуванням у попередніх версіях MongoDB. Наприклад, адміністратори користувачів MongoDB Charts мають право додавати користувачів, видаляти користувачів, редагувати профілі інших користувачів та змінювати їхні паролі. Адміністратори користувачів можуть отримати доступ до перегляду керування користувачами, натиснувши вкладку «Керування користувачами» на верхній навігаційній панелі.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

При створенні веб-додатків сучасним фахівцям не обійтись без фреймворків та бібліотек JavaScript, часто буває досить важко вибирати між популярними фреймворками, бо у кожного є переваги та недоліки. Нами був обраний фреймворк React для побудови інтернет-магазину, який дозволив реалізувати усі необхідні параметри веб-ресурсу, такі як картки товарів, корзина, категорії та запити, а також аутентифікацію користувачів. Для реалізації була використана документо-орієнтована база MongoDB, яка дозволяє оперувати документами, що зберігаються в колекціях, які є аналогом звичних SQL-таблиць. Для роботи з документами було передбачено операції пошуку, вставки, видалення і оновлення. Для пошуку документів в колекції використано метод запитів за зразком, підтримку сортування, проєкції, перегляду результатів запиту. Масштабованість в MongoDB досягається за рахунок поділу документів з колекції по вузлах на підставі обраного ключа (shard key).

Доступ до бази даних реалізовано методами API ключів, інформаційної панелі та firebase. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення методів захисту баз даних, цілісності даних в процесі їх модифікації тощо.

References

1. Yoon J. A method and tool to recover data deleted from a MongoDB / J. Yoon, S. Lee. // Digital Investigation. – 2017. – №24. – С. 106–120.
2. Rokatsky M. 5 Best Tools for MongoDB Atlas in 2021 [Online] / Max Rokatsky // OTUS. – 2021. – Resource access mode: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/585568/>.
3. Devecosystem 2021. Databases [Електронний ресурс] // Jet Brains. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.jetbrains.com/ru/devecosystem-2021/databases/>.
4. Tsukasa K. A Proposal of Transaction Processing Method for MongoDB / K. Tsukasa, I. Masahiko, S. Kenji. // Procedia Computer Science. – №96. – С. 801–810.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-15>

УДК 004.31

Черняшук Наталія Леонідівна, д.п.н., проф.,

<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>

Багнюк Наталія Володимирівна, к.т.н., доц.,

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Бойко Максим Валерійович, магістр

Чикірда Микола Валерійович, магістр

Савонюк Назарій Сергійович, магістр

Луцький національний технічний університет

ПРОЦЕС РОЗГОРТАННЯ КЛАСТЕРНОГО ДОДАТКУ В KUBERNETES

Черняшук Н.Л., Багнюк Н.В., Бойко М.В., Чикірда М.В., Савонюк Н.С. Оптимізація процесу розгортання кластерного додатку в системі Kubernetes. У статті проаналізовано деякі можливості що забезпечуються хмарними технологіями. Порівняно підхід для реалізації однієї з таких систем Kubernetes – найбільшими постачальниками хмарних послуг. Розглянуто механізм розгортання додатку на платформі оркестрації контейнерів.

Ключові слова: розгортання кластерного додатку, система Kubernetes, хмарні технології, платформа оркестрації контейнерів.

Черняшук Н.Л., Багнюк Н.В., Бойко М.В., Чикірда Н.В., Савонюк Н.С. Оптимизация процесса развертывания кластерного приложения в системе Kubernetes. В статье проанализированы некоторые возможности, обеспечиваемые облачными технологиями. По сравнению подход к осуществлению одной из таких систем Kubernetes - крупнейшими поставщиками облачных услуг. Рассмотрены механизм развертывания приложения на платформе оркестрации контейнеров.

Ключевые слова: развертывание кластерного приложения, система Kubernetes, облачные технологии, платформа оркестрации контейнеров.

Chernyashchuk N, Bahniuk N., Boyko M, Chikirda N, Savonjuk N. Optimization of the cluster application deployment process in the Kubernetes system. The article analyzes some of the opportunities provided by cloud technologies. The approach to the implementation of one of these systems Kubernetes - the largest providers of cloud services. The mechanism of application deployment on the container orchestration platform is considered.

Keywords: cluster application deployment, Kubernetes system, cloud technologies, container orchestration platform.

Постановка проблеми.

Кожен веб додаток має бути опублікованим в мережі інтернет, бути доступним за запитом користувачів, оновлюватись новими налаштуваннями, зберігати дані і т.ін. Існує безліч способів розгорнути додаток в мережі, але основними принципами є – існування фізичного простору для зберігання даних (фізичний сервер, віртуальний хостинг, віртуальний виділений сервер, VPS-хостинг або ж хмара), унікальний домен або адреса сайту.

Отже, щоб розгорнути деякий додаток в мережі необхідно, перевірити доступність доменного імені, зарезервувати його. Обрати надійний хостинг, оформити підписку та завантажити файли додатку через менеджер сайтів (FTP –клієнт) на хостинг. Як бачимо, послідовність кроків досить нескладна, але основна проблема у терміні «надійний». Так, зокрема звичайний фізичний сервер або віртуальний хостинг – як машина для зберігання даних з мінімальним набором операційних послуг є досить нестабільною у використанні. І навіть, якщо не брати до уваги можливі перебої у його роботі, що відбувається доволі часто, основною проблемою є складність розширення ресурсів, оновлення додатку та відказостійкість. З ростом додатку, зростає потреба в обчислювальних ресурсах, так, їх можна додати, проте збільшення потужності сервера зазвичай не пропорційне збільшенню його вартості. Також, виникає ризик простою ресурсів, тоді як зворотне масштабування знову викличе труднощі і додаткові витрати. Ще одним важливим фактором є неможливість перенесення даних у випадку відсутності доступу, оскільки звичайний хостинг не передбачає резервного копіювання чи бекапів даних.

Процес розгортання веб додатку в мережі.

Все ж для багатьох, зокрема, невеликих проектів віртуальний хостинг чи фізичний сервер є ідеальним рішенням, оскільки надає користувачу певний рівень безпеки, персональний дисковий простір, операційну пам'ять, потужності процесора та повний контроль над виділеними ресурсами. Та для масштабованих, багатокомпонентних, постійно розвиваючих проектів хостинг технології є складними у використанні. Тому розглянемо процес розгортання додатку, що потребуватиме активного розширення в майбутньому з використанням хмарних технологій та контейнеризації.

Наведемо таблицю порівняння послуг що пропонуються віртуальним хостингом та хмарним провайдерми для розгортання додатків:

Таблиця 2. Порівняння можливостей розгортання додатків на хостингах та хмарах

	Хостинг	Хмара
Віртуалізація	Віртуальні машини на одному сервері	Контейнери, розподілені між декількома фізичними серверами
Масштабованість	Можлива, але складно організована	Автоматична
Виділення додаткових ресурсів	Тривалий процес	Миттєво
Ресурси пам'яті та процесора	Розділені	Ізольовані
Вибір ОС	Пропонується хостом	Будь-яка
Вартість	Низька	Середня
Надійність	Непередбачувана	Висока

Отже, нехай ми маємо деякий додаток з мікросервісною архітектурою, кожен мікросервіс може бути розроблений будь якою мовою програмування, та для взаємодії з іншими мікросервісами має бути сформований деякий інтерфейс. Далі ці мікросервіси треба запакувати в окремі контейнери, де вони вже будуть працювати а не просто являтимуть собою набір файлів. При цьому буде створено образ сервісу і його конфігурація занотована в Dockerfile. А вже наступним кроком потрібно встановити зв'язки між такими контейнерами, забезпечити їм необхідну конфігурацію та запустити в мережі, для цих операцій потрібні сервіси оркестрації контейнерів такі як Kubernetes, OpenShift, Docker Swarm та ін. Також ці сервіси дозволяють проводити моніторинг роботи як окремого контейнера так і їх зв'язків, налаштовувати автоматичне налаштування для контейнерів та керувати їх роботою.

Створення кластера Azure Kubernetes.

Перш ніж розгорнути будь-яку програму, потрібно створити кластер. Розглянемо кілька концепцій, для розгортання нового кластера, зокрема в середовищі Azure Kubernetes Service (AKS). Kubernetes базується на кластерах, замість того, щоб мати єдину віртуальну машину (VM), вона використовує кілька машин, що працюють як одна. Ці VM називаються вузлами. Kubernetes - це кластерний оркестратор, що надає переваги доступності, моніторингу, масштабування та оновлення. Кластер базується на вузлах - нодах. У кластері Kubernetes є два типи вузлів, які забезпечують функціональність: Вузли управління - розміщують параметри управління кластера і зарезервовані для служб, які керують кластером. Вони відповідають за надання API, який всі інші вузли використовують для комунікації. На цих вузлах не розгортається навантаження; Ноди – вузли, що відповідають за виконання нестандартних робочих навантажень та додатків, таких як компоненти хмарної служби. Існує дві архітектури кластерів для розгортання на основі Kubernetes: Єдина система управління та кілька вузлів - найпоширеніший архітектурний шаблон. Цей шаблон найпростіший у розгортанні, але він не забезпечує високої доступності основних служб управління кластером. Якщо вузол управління стає недоступним з будь-якої причини, ніякої іншої взаємодії з кластером не може відбутися. Незважаючи на, можливу недоступність, цієї архітектури зазвичай достатньо. Менше ймовірно, що основні служби управління стануть недоступними порівняно з вузлом, який переходить у офлайн-режим. Вузли управління піддаються меншій модифікації, ніж ноди, і більш еластичні. Єдина система управління та єдиний вузол. Ця архітектура забезпечує лише один вузол, який розміщує управління і робочий вузол. Це корисно під час тестування або експериментування з різними

концепціями Kubernetes. Єдина площина управління та архітектура одного вузла обмежує масштабування кластера і робить цю архітектуру непридатною для виробничого та інтерактивного використання. Для групування вузлів створюється Node pools, де вказується розмір віртуальної машини кожного вузла. Пули вузлів використовують набори масштабів віртуальних машин як базову інфраструктуру, щоб дозволити кластеру масштабувати кількість вузлів у пулі вузлів. Нові вузли, створені у пулі, завжди матимуть розмір, вказаний під час створення пулу вузлів [13].

Кластер Kubernetes за замовчуванням блокує всі зовнішні зв'язки. Наприклад, розгортаючи веб-сайт, доступний для всіх клієнтів, необхідно вручну створити доступ або ж спеціально налаштувати. Конфігурація вимагає змін, пов'язаних з мережею, які переадресовують запити від клієнта на внутрішній IP-адрес кластера а потім, до додатка.

AKS дозволяє подолати складність, увімкнувши так звану маршрутизацію додатків HTTP. Ця надбудова полегшує доступ до програм на кластері за допомогою автоматичного розгортання контролера входу [20].

Контролери Ingress надають можливість розгорнути та виставляти програми у всьому світі без необхідності налаштування мережевих служб.

Схема маршрутизації додатків HTTP, яка показує, як контролер входу сканує вхідні ресурси та створює правила DNS, щоб зробити програми доступними для зовнішніх клієнтів. Контролери Ingress створюють сервер зворотного проксі-сервера, який автоматично дозволяє обслуговувати всі запити з одного виходу DNS. Не потрібно створювати запис DNS кожного разу, коли розгортається нова служба. Про це потурбується контролер входу.

Коли новий вхід розгортається в кластері, контролер входу створює новий запис у керованій Azure зоні DNS і пов'язує його з існуючим балансером навантаження. Ця функціональність забезпечує легкий доступ до ресурсу через Інтернет без необхідності додаткової конфігурації. Для створення нового кластера для розгортання серверу в систем Azure Kubernetes конфігурація буде налаштовуватись у Cloud Shell. Та найперше, для користування сервісами Azure необхідно зареєструватися у системі та створити підписку, з якою власне і буде зв'язано розгорнутий додаток.

Отже, найперше – створимо групу, що включатиме кластери за допомогою команди `az group create`, вказавши обов'язкові параметри:

```
az group create --name rg-MicroExample --location eastus
```

Далі, в цій групі створимо сам кластер, вказавши основні параметри:

```
az aks create \  
  --resource-group rg-MicroExample \  
  --name aks-MicroExample \  
  --node-count 2 \  
  --enable-addons http_application_routing \  
  --dns-name-prefix example-kubernetes-$RANDOM \  
  --generate-ssh-keys \  
  --node-vm-size Standard_B2s
```



```

Azure Cloud Shell
Bash
Type "help" to learn about Cloud Shell
hanna@Azure:~$ az group create --name rg-MicroExample --location eastus
{
  "id": "/subscriptions/8a6ec760-dfa2-4523-b91f-d0d13d0bbc45/resourceGroups/rg-MicroExample",
  "location": "eastus",
  "managedBy": null,
  "name": "rg-MicroExample",
  "properties": {
    "provisioningState": "Succeeded"
  },
  "tags": null,
  "type": "Microsoft.Resources/resourceGroups"
}
hanna@Azure:~$ az aks create \
> --resource-group rg-MicroExample \
> --name aks-MicroExample \
> --node-count 2 \
> --enable-addons http_application_routing \
> --dns-name-prefix example-kubernetes-$RANDOM \
> --generate-ssh-keys \
> --node-vm-size Standard_B2s

- Running ..
[- Finished ..
  "aadProfile": null,
  "addonProfiles": {
    "KubeDashboard": {
      "config": null,
      "enabled": true,
      "identity": null
    },
    "httpApplicationRouting": {
      "config": {
        "HTTPApplicationRoutingZoneName": "a4f9a99ca7f74956b878.eastus.aksapp.io"
      },
      "enabled": true,
      "identity": null
    }
  }
}

```

Рисунок 1 встановлення конфігурації в Cloud Shell

Команда `az aks create` створить кластер з назвою `aks-MicroExample` та у групі `rg-MicroExample`, що буде складатися з 2х нод, маршрутизація до кластера буде здійснюватись через `http_application_routing` до ДНС кластера `example-kubernetes`, а розмір віртуальної машини задано `Standard_B2s`.

Наступним кроком необхідно встановити зв'язок кластера і групи:

```

az aks get-credentials --name aks-MicroExample --resource-group rg-
MicroExample

```

команда додасть конфігурацію в файл управління, який містить всю інформацію для доступу до кластерів. `Kubectl` дозволяє управляти кількома кластерами з одного інтерфейсу командного рядка. Для перевірки створеної конфігурації існує команда `kubectl get nodes`, що поверне інформацію по обом створеним нодам: `NAME`, `STATUS`, `ROLES`, `AGE`, `VERSION`

```

hanna@Azure:~$ az aks get-credentials --name aks-MicroExample --resource-group rg-MicroExample
Merged "aks-MicroExample" as current context in /home/hanna/.kube/config
hanna@Azure:~$ kubectl get nodes
NAME                                STATUS    ROLES    AGE    VERSION
aks-nodepool1-25081665-vmss000000  Ready    agent    5m54s  v1.17.13
aks-nodepool1-25081665-vmss000001  Ready    agent    5m54s  v1.17.13
hanna@Azure:~$

```

Рисунок 2 статус створеної конфігурації

Важливим для налаштування контейнеру є файл маніфест Kubernetes, що дозволяє декларативно описувати навантаження у форматі YAML та спрощувати управління об'єктами Kubernetes. І містить всю інформацію, необхідну для створення та управління робочим навантаженням.

Структура файлів маніфесту відрізняється залежно від типу ресурсу. Однак файли маніфесту мають спільні інструкції, які визначають різні аспекти, наприклад API, потрібні для використання, та тип робочого навантаження для створення. Зокрема, файл маніфесту обов'язково має включати основні елементи:

```
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  name: micro-website # the name of the deployment
```

Параметр apiVersion визначає API ендпоінт сервера, що управляє об'єктом, який розгорнете. Параметр kind визначає навантаження, яке створить це розгортання. Інші загальні параметри - це метадані та ключі імен. Усі ресурси Kubernetes повинні мати назву, що знаходиться всередині параметра метаданих. Щоб застосувати метафайл для встановлення системи використовують

```
команду kubectl:
kubectl apply -f ./deploy.yaml
```

Наступним кроком є створення образу контейнера, і розміщення його в реєстрі контейнера. Azure забезпечує Azure Container Registry для зберігання зображень (образів) контейнерів, а команда

```
az acr create
```

дозволяє створити такий образ:

```
az acr create \
--resource-group rg-MicroExample \
--name ACRMicroExample \
--sku Basic
```

Але щоб пов'язати кластер ресурсної групи та образ контейнера, необхідно оновити кластер командою az aks update зв'язавши всі ці три параметри:

```
az aks update \
--name aks-MicroExample \
--resource-group rg-MicroExample \
--attach-acr ACRMicroExample
```

Розгорнемо для прикладу деяку програму збережену в гіт хабі що вже має конфігурацію докера і відповідно, являє собою контейнер. Для цього скопуємо файли додатку в створений образ контейнера

```
git clone https://github.com/hannagm2016/MicroExample.git
```

а потім в Cloud Sell перейдемо в створену дерикторію за допомогою команди cd:

```
cd MicroExample
```

Щоб згенерувати апусити контейнер, необхідно виконати команду `az acr build` з наступними параметрами:

```
az acr build \  
  --image Example-website \  
  --registry ACRMicroExample \  
  --file Dockerfile .
```

Параметр `--image` додає до образу тег веб-сайту `Example-website`. Зображення автоматично надсилається до реєстру після успішного завершення збірки.

Після створення всіх вищеописаних елементів, необхідно додати їм параметри в конфігурацію – уже існуючий маніфест файл `deploy.yaml`

Потрібно описати под, що є шаблоном специфікації. Назва пода буде згенерована автоматично. Щоб деплоймент згрупував поди, необхідний тег `labels` Под об'єднує в собі контейнери, кожен з яких містить інформацію під тегом `app`: щодо контейнера. Отже, треба оновити файл даними про под:

```
spec:  
  template: # Шаблон пода деплоймента  
    metadata: # Метадані pod  
    labels:  
      app: Example-website
```

Також в файл конфігурації, після описання поду варто додати інформацію про контейнер, зокрема конфігурацію посилання на розгорнутий сайт:

```
spec:  
  containers:  
    - image: <acr_name>.azurecr.io/Example-website  
      name: contoso-website
```

Обмеження щодо використовуваних ресурсів, зокрема мінімальне та максимальне навантаження процесора, виділену пам'ять:

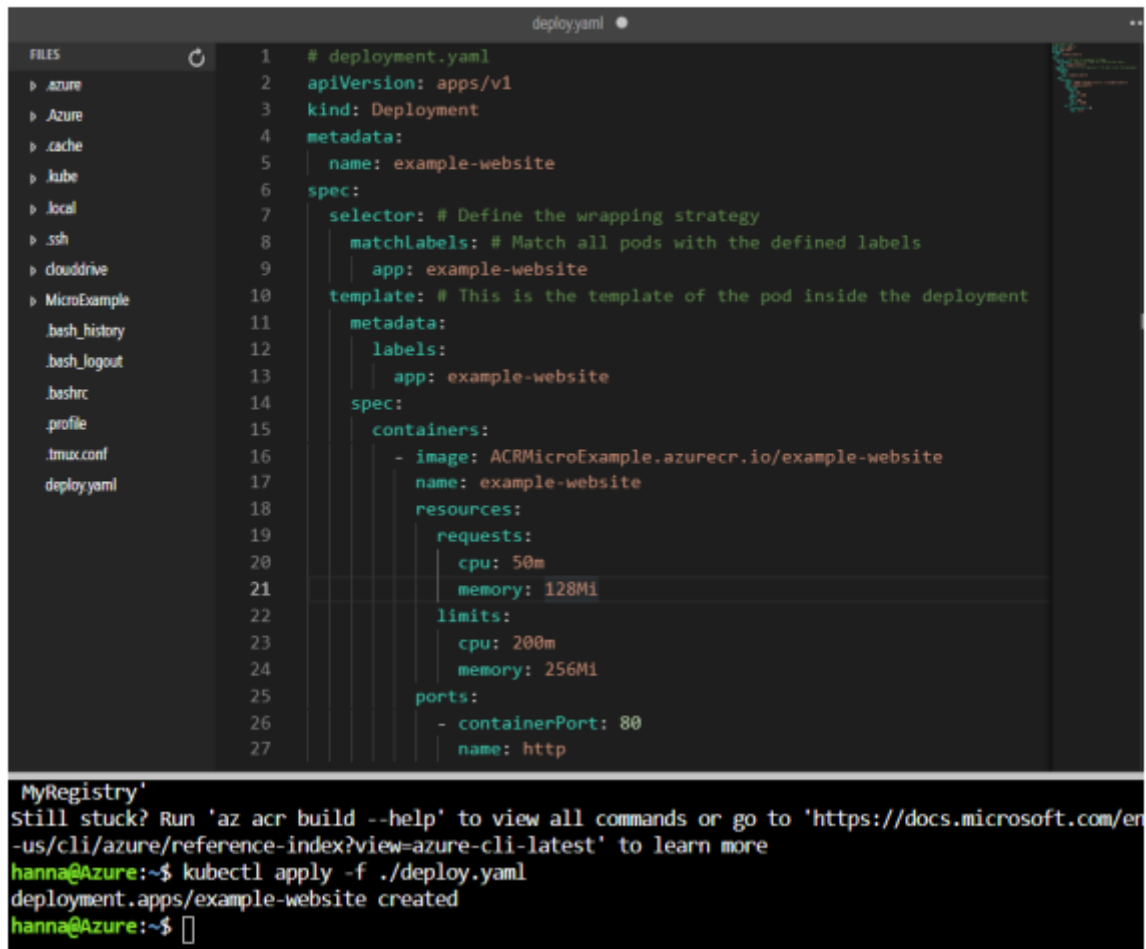
```
resources:  
  requests:  
    cpu: 50m  
    memory: 128Mi  
  limits:  
    cpu: 200m  
    memory: 256Mi
```

А також дані порта, на якому буде сконфігуровано сайт:

```
ports:  
  - containerPort: 80  
  name: http
```

Далі необхідно зберегти змінений файл конфігурації, і засосувати зміни за допомогою команди `kubectl apply`

```
kubectl apply -f ./deploy.yaml
```



```
1 # deployment.yaml
2 apiVersion: apps/v1
3 kind: Deployment
4 metadata:
5   name: example-website
6 spec:
7   selector: # Define the wrapping strategy
8     matchLabels: # Match all pods with the defined labels
9       app: example-website
10  template: # This is the template of the pod inside the deployment
11    metadata:
12      labels:
13        app: example-website
14    spec:
15      containers:
16        - image: ACRMicroExample.azurecr.io/example-website
17          name: example-website
18          resources:
19            requests:
20              cpu: 50m
21              memory: 128Mi
22            limits:
23              cpu: 200m
24              memory: 256Mi
25          ports:
26            - containerPort: 80
27              name: http
```

```
MyRegistry'
Still stuck? Run 'az acr build --help' to view all commands or go to 'https://docs.microsoft.com/en-us/cli/azure/reference-index?view=azure-cli-latest' to learn more
hanna@Azure:~$ kubectl apply -f ./deploy.yaml
deployment.apps/example-website created
hanna@Azure:~$
```

Рисунок 3 Застосування файлу конфігурації

Щоб перевірити успішність деплою, запуску пода і переглянути його назву, треба виконати команду: `kubectl get pods`

Отриманий результат матиме вигляд:

NAME	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
example-website-75bfc74bc-cx764	0/1	ImagePullBackOff	0	2m29s

Рекомендації щодо розгортання контейнерного додатку.

Одним з завдань роботи є розроблення рекомендацій для розгортання додатку з використанням служби Kubernetes. З огляду на всі вищеописані методи і технології, найперше – з огляду на складність процесу кластеризації, потрібно визначити межі проекту, і встановити чи потрібна взагалі така методологія для розгортання веб сервісу, можливо послуги веб хостингу або просто хмарного хостингу цілком задовольняють потреби проекту. Також, хмарні провайдери пропонують широкий спектр послуг Paas та навіть Saas які можуть значно спростити розробку додатку і прискорити процес отримання готового рішення.

Та з огляду на масштабність проекту, звичайно, деплоймент мікросервісного додатку що вже розміщений в контейнері в системі оркестрації контеєнерів є цілком обгрунтованим та слушним. Загальна схема має складатися з таких етапів:

- Розгортання контейнерів за допомогою системи оркестрації типу Kubernetes, та налаштування необхідної їм конфігурації:

- Створення кластеру в групі ресурсів;
- Розміщення одного чи декількох контейнерів в кластері;
- Створення конфігурації для деплоювання, встановлення параметрів мережі та прав доступу.
- Деплоймент такого кластеру з використанням вищезазначених конфігурацій.
- Моніторинг і управління роботи кластерів в системі оркестрації.

Такий підхід надає проекту високу мобільність, відмовостійкість, продуктивність і швидкодію, а головне, повну автоматичну масштабованість і ефективне використання ресурсів.

Висновки.

В даній статті було порівняно два підходи до деплоювання веб додатку: з використанням хостингу та хмарних технологій. Виділено головну відмінність, що не може бути вирішена в рамках віртуальних хостингів. З використанням офіційної документації служби Azure Kubernetes розроблено оптимізоване розгортання контейнеру. Розроблено рекомендації щодо розгортання кластероного додатку за допомогою системи оркестрації.

Список бібліографічного опису

1. Арундел Д., Домингус Д. - Kubernetes для DevOps: развертывание, запуск и масштабирование в облаке, - Бестселлеры O'Reilly, 2020, 384 с.
2. Загороднюк А.О. Архитектура Docker - Молодой исследователь: вызовы и перспективы: материалы LXIX междунар. науч.-практ. конф. – № 16(69). – М., «Интернаука», 2018. – 482 с.
3. Марко Лукша: Kubernetes в действии, Переводчик: Логунов А. В.: ДМК-Пресс, 2019 г.
4. Сайфан Д. Осваиваем Kubernetes. Оркестрация контейнерных архитектур, Питер. – 2019, 400с.
5. Мікросервісна архітектура [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: - <https://medium.com/@IvanZmerzlyi/microservicesarchitecture-461687045b3d>.
6. Начало работы с Azure Kubernetes [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/kuberneteservice/#getting-started>
7. Основы Кубернетис [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/258443/>
8. Хмарні обчислення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing

References.

1. Amazon, Microsoft Or Google: Which Is The Best Play On Surging Cloud Infrastructure Demand? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2020/05/14/amazonmicrosoft-or-google-which-is-the-best-play-on-surging-cloud-infrastructure-demand/>
2. Comparing Kubernetes Services on AWS vs. Azure vs. GCP [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sumologic.com/blog/kubernetes-aws-azure-gcp/>
3. Deploy a containerized application on Azure Kubernetes Service [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/learn/modules/aks-deploy-container-app/>
4. Developers bring their ideas to life with Docker [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.docker.com/why-docker>
5. Nikhil Buduma Fundamentals of Deep Learning. Designing nextgeneration machine intelligence algorithms. O'Reilly Media, 2017. 277 с
6. Gens, Frank (2009-10-05). IDC's New IT Cloud Services Forecast: 2009-2013
7. DevOps [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ibm.com/cloud/learn/devops-a-complete-guide>
8. Kubernetes blog [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cloudacademy.com/blog/category/kubernetes/>
9. Kubernetes on AWS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aws.amazon.com/ru/kubernetes/>
10. Microsoft learn [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/learn/browse/>
11. Why (and when) you should use Kubernetes [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hackernoon.com/why-and-when-you-should-use-kubernetes8b50915d97d8>
12. Why Google Cloud [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cloud.google.com/why-google-cloud>

CONTENTS

<i>AUTOMATION AND MANAGEMENT</i>	
Bublyk A. Web page design as a basis for readability, content and aesthetics of a modern website.	5
Dymova H. Analysis of methods for assessing the effectiveness of physical protection systems.	12
Kozubtsova L., Rudomino-Dusyatska I., Snovida V. Calculation of performance indicators of the information protection and cybersecurity system.	19
Martseniuk V., Sverstiuk A., Kozodii N., Karelina O., Zagorodna N. Review of mathematical models in economics based on differential equations.	26
Padalko A.M., Padalko N.Y., Padalko K.A. The use of the automated system GRAN-2D in education. The article analyzes the use of the automated system GRAN-2D in the education process.	32
Troyanchuk B.V., Fedik L.Yu. The use of CAD systems in the design of automation systems.	39
Fil N., Ilge I. Models of structural-topological synthesis of the enterprise warehouse.	44
Kharchenko N. S., Serdakovsky V. S. A neural network for diagnosis of Parkinson's disease according to the Archimedes spiral.	54
<i>INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE</i>	
Harbuzenko O. V. Пятикоп Е. Е. Comparison of the properties of learning semantic relationships between words of a natural language by models of the Word2Vec method in the problem of sentiment analysis.	59
Kaganyuk A., Chernyashchuk N., Podoliak V., Bahniuk N., Svyrydiuk K. Investigation of static characteristics for the development of a mobile application.	66
Korovii O. Adaptation of distilling knowledge method in Natural Language Processing for sentiment analysis.	78
Miskevich O. Cyberattack threat research and protection of personal information.	84
Radchenko K. Application of discrete wavelet transforms for forecasting the level of load on the web server of general purpose computer networks.	90
Khrystynets N., Lavrenchuk S., Svyrydiuk K., Skrygunets V. Development of scalable web applications using the React framework and the MongoDB database.	97
Chernyashchuk N, Bahniuk N., Boyko M, Chikirda N, Savonjuk N. Optimization of the cluster application deployment process in the Kubernetes system.	103

ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ТА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ СТАТЕЙ

- **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:**
 - 1) **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
 - 2) **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
 - 3) **виділення невіршених раніше частин загальної проблеми**, котрим присвячується означена стаття;
 - 4) **формулювання мети дослідження** (постановка завдання);
 - 5) **виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження, у тому числі з науковою новизною і
 - 6) **перспективи подальших досліджень** у даному напрямку.
- Статтю можна подавати українською, російською або англійською мовами. Вона повинна бути набрана у текстовому редакторі MS WORD 03/07/10 і надрукована на лазерному або струменевому принтері на білих листах формату А4 (297×210 мм). **Нумерацію сторінок** не виконувати. **Обсяг статті** 5-10 сторінок (не менше).
- **Параметри сторінки.** Верхнє, нижнє та праве поле –1,5 см, лівє – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
- **Шапка статті.** УДК, ORCID (якщо є), автори (ім'я та прізвище повністю), місце роботи кожного автора. Назва організації та назва статті набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Суг розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується через один рядок нижче назви організації (розмір шрифту 11 пт з напівжирним виділенням та вирівнюванням по центру).
- **Анотації** (українською, російською та англійською мовами) повинні містити прізвища та ініціали авторів, назву статті та короткий її зміст і розміщуються через один рядок нижче назви статті та набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Суг розміром 9 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині. Нижче анотацій обов'язково вказуються **ключові слова**.
- **Основний текст** розміщується на через один рядок нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюється по ширині.
- **Формули** набираються у редакторі формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Суг; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
- **Ілюстрації**, що присутні у статті, необхідно розташовувати у тексті по центру, вирівнюючи підписи по центру (Рис. 1. Назва). Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
- **Таблиці** потрібно розташовувати у тексті по центру, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею ставиться її порядковий номер і назва (Таблиця 1. Назва) та вирівнюється по центру.
- **Посилання** на ту чи іншу роботу повинні позначатися в тексті у квадратних дужках за порядковим номером у списку літератури в кінці статті; посилання на джерела статистичних даних обов'язкові; посилання на публікації дослідників обов'язкові; посилання на підручники, навчальні посібники, газети і ненаукові журнали – небажані; посилання на власні публікації допускаються тільки у випадку крайньої необхідності; роботи авторів, на прізвища яких є посилання в тексті, мають бути в списку літератури до цієї статті.
- **Список бібліографічного опису та References.** Список літератури («References») потрібно приводити повністю окремим блоком, повторюючи список літератури, який подається українською / російською мовою, незалежно від того, є в ньому іноземні джерела чи ні. Тобто, після статті подається 2 списки: «Список бібліографічного опису» (звичайний список літератури) і «References» (список для міжнародних БД). Необхідно в опис джерела вносити всіх авторів, не скорочуючи їх до трьох, як це рекомендовано діючими у нас державними стандартами. References - повинен бути укладений англійською мовою або транслітерований. Оформлювати згідно з одним із найбільш уживаних у світі стандартів: APA – American Psychological Association; CBE – Council of Biology Editors, Citation-Sequence; Chicago (Author-Date System); Harvard; Harvard – British Standard; MLA (Modern Language Association) – Single Spaced Reference List; NLM – National Library of Medicine; Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. У жодному з перелічених стандартів не використовуються розділові знаки: «//», «-». Назва джерела та вихідні дані відокремлюються від авторів і заголовка статті типом шрифту, найчастіше, курсивом (italics), крапкою або комою. Існує багато безкоштовних програм для створення бібліографічних описів у романській абетці, що дають можливість автоматично створювати посилання за одним із світових стандартів наприклад: <http://www.easybib.com/>, <http://www.bibme.org/>, <http://www.sourceaid.com/>, <https://vak.in.ua/>.
- **Рецензування статей.** Просимо вказати двох рецензентів (ПІБ, електронні адреси та звання) для подальшого рецензування Вашої статті. Адміністратор реєструє поданих рецензентів на сайті журналу, тоді на їхню електронну адресу надсилається форма для рецензування. Редакція залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію та відхиляти їх в разі відсутності рецензій.
- Стаття обов'язково подається на електронну адресу: cit@lntu.edu.ua.
- Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.
- **Усі рукописи проходять перевірку на плагіат!**

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ
(поля верхнє, нижнє -1.5 см, ліве та праве 2см. дзеркальні поля)

ЗРАЗОК

УДК 621.391

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

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

Антіпов Олександр Андрійович, аспірант,

Журавльов Володимир Сергійович, аспірант.

<https://orcid.org/0000-0002-7366-9552>

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

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ МЕДИКАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (МУЛЬТИКОПТЕРІВ) ЗА ЗАПИТОМ СПОЖИВАЧА

Мороз Б. І., Антіпов О.А., Журавльов В. С. Автоматизована система доставки медик Times New Roman 9
безпілотних літальних апаратів (мультикоптерів) за запитом споживача. Представлено концепт системи доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Запропоновано архітектуру системи автоматичної диспетчеризації замовлень від споживача, зберігання замовлень, та планування доставки дронами. Також було розглянуто юридичні обмеження роботи запропонованої системи.

Ключові слова: мультикоптер, дрон, доставка, клієнт-серверна архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Мороз Б. И., Антипов А.А., Журавлев В. С. Автоматизированная система доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров) по запросу потребителя. Представлен концепт системы доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Предложена архитектура системы автоматической диспетчеризации заказов от потребителя, хранения заказов, и планирование доставки дронами. Также были рассмотрены юридические ограничения работы предложенной системы.

Ключевые слова: мультикоптер, дрон, доставка, клиент-серверная архитектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Moroz B., Antipov A., Zhuravlev V. Automated system for the delivery of medical supplies using unmanned aerial vehicles (multicopter) at the request of the consumer. The concept of medical supplies delivery system using unmanned aerial vehicles is presented. The architecture of the system of automatic dispatching orders from the consumer, storage of orders, and scheduling delivery by drones are proposed. The legal limitations of the proposed system were also considered.

Keywords: multicopter, drone, delivery, client-server architecture, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Постановка наукової проблеми.

Times New Roman 11

Аналіз досліджень.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Список бібліографічного опису

Times New Roman 9

1. Сін Лю, Ціньян Сяо, Віджай Гопалакришнан, Маттео Варвелло (2017) Дослідженн панорамного відеопотоку, С. 50-55. АСМ.
2. Б. Хань, Ф., Цянь, Л. Джі та В. Гопалакришнан. (2017) MP-DASH: Адаптивна відео-трансляція через перевагу, орієнтовану на багатофункціональність. У матеріалах 12-ї Міжнародної конференції з нових мережевих експериментів та технологій, С. 129–143. АСМ.

References

1. Xing Liu, Qingyang Xiao, Vijay Gopalakrishnan, Matteo Varvello (2017) Research 360° Innovations for Panoramic Video Streaming, P. 50-55. ACM.
2. Han, B., Qian, F., Ji, L. & Gopalakrishnan, V. (2017) MP-DASH: Adaptive Video Streaming Over Preference-Aware Multipath. In Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies, P. 129-143. ACM.

Стаття надійшла 14.05.2019 р.

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» можна отримати у відповідального секретаря – Свириднюк Катерини Анатоліївни за тел. (0332) 74-61-15, або (063)-940-69-42.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 141

Автор статті отримує 1 примірник збірника у форматі *pdf.

Вартість однієї сторінки становить 40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ЗВО.

Окремо, кожній статті, буде присвоєний DOI (digital object identifier) - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату 60 грн.(ціна з 2021 року).

**Реквізити для зарахування коштів
(за публікацію наукових праць, участь у наукових заходах)**

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

код в ЄДРПОУ 05477296

UA16 820172 0 3132 5 1 002 3 02 017820

в ДКСУ у м. Київ МФО 820172

Україна, Волинська область,
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75