МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАУКОВІ ПРАЦІ ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація»

Всеукраїнський науковий збірник
Заснований у липні 1998 року
Виходить 2 рази на рік
Т3. № 4(36)'2025

Видавничий дім
«Гельветика»
2025

УДК 681.5:658.5:621.3

Друкується за рішенням Вченої ради Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 7 від 05.06.2025 р.).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і закладів вищої освіти України, у яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2023–2024 рр. відповідно до напрямків: автоматизація технологічних процесів, інформаційна безпека, інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади, інформаційні технології, кібербезпека та захист критичної інфраструктури, математичне та комп'ютерне моделювання, телекомунікаційні системи та мережі.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних працівників, аспірантів і студентів, які досліджують питання інформаційної безпеки, розробки та впровадження інформаційних систем та технологій, розробки й використання автоматичних, інформаційних та електронних систем.

Засновник – Донецький національний технічний університет.

Ідентифікатор медіа R30-02474 відповідно з додатком до Рішення НРУ з питань телебачення і радіомовлення №139 від 18.01.2024 р.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, буд. 2, м. Покровськ Донецької обл., 85300, mail@donntu.edu.ua, +380 99 604-91-28).

Збірник включено до списку друкованих (електронних) періодичних наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора й кандидата наук (спеціальності G6 Інформаційно-вимірювальні технології; G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка; F3 Комп'ютерні науки). Наказ МОН України № 886 (додаток № 4) від 2 липня 2020 року, Наказ МОН України № 349 (додаток № 5) від 24 лютого 2025 року (виправлено відповідно до Наказу МОН України № 641 (додаток № 8) від 28 квітня 2025 року).

ISSN 2075-4272 (Print),
ISSN 2786-9024 (Online)

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

CONTENTS

PROCESS AUTOMATION

CYBERSECURITY AND CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION

TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS AND NETWORKS

ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

Автоматизація технологічних процесів

УДК 681.536.55

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ЗА РАХУНОК КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ НА ПІДСТАВІ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТУ

Є.К. Воскобойник[1], О.О. Бойко[1], Д.В. Славінський[1], Ю.І. Чеберячко[2]
[1] Department of Cyberphysical and Information-Measuring Systems, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
[2] Department of Labor Protection and Civil Security, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

E-mail: voskoboinyk.ye.k@nmu.one

АНОТАЦІЯ

На фоні одночасної зміни впливу декількох негативних чинників на енергетичний ринок, а також ціни на енергоносії в Європейському Союзі одним з найменш коштовних шляхів підвищення енергоефективності системи опалення будівлі є використання новітніх підходів до керування. Перспективним напрямом у цьому питанні є заміна традиційного керування температурою у приміщенні на керування тепловим комфортом за комплексним показником PMV.

Мета – провести порівняльний аналіз енерговитрат на опалення у разі традиційного підходу та з використанням комплексного показника теплового комфорту на підставі удосконаленої моделі приміщення; розробити модель для дослідження можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту.

Отримана модель дозволяє досліджувати процес керування тепловим комфортом. Провівши низку експериментів, встановлено, що система керування тепловим комфортом у приміщенні під час роботи впливає на кількість витрачених енергоресурсів, на відміну від традиційної. Таким чином, керування тепловим комфортом у приміщенні може забезпечувати зниження енерговитрат за рахунок використання як дійсного значення зворотного зв’язку комплексного показника PMV замість температури.

Запропонована система керування температурою, на відміну від традиційної у приміщенні, не має постійних енерговитрат. Зважаючи на зміну параметрів теплового комфорту, що здебільшого призводить до ефективного використання енергоресурсів та ресурсів самої системи. Водночас за тих самих умов система керування тепловим комфортом у приміщенні знаходиться у режимі очікування, не вмикаючи опалення, що забезпечує зменшення енерговитрат. Таким чином, така система за відсутності обмежень на енерговитрати забезпечує більш якісне опалення порівняно з традиційною.

Ключові слова: *тепловий комфорт, PMV, PDD, мікроклімат, регулятор, замкнута система керування.*

Вступ

Початок зими 2024/2025 років характеризується одночасним впливом декількох негативних чинників на енергетичний ринок Європейського Союзу. Після двох відносно теплих зим поточна почалася більш низькими температурами [1]. Окрім того, за прогнозами найбільші холоди ще попереду, це пов’язано з відтягуванням струменевих потоків на північ, найбільш холодним місяцем вірогідно стане лютий 2025 року [2]. Своєю чергою за даними ENTSO-E протягом листопада та початку грудня 2024 року вироблення електроенергії на вітроелектростанціях Федеративної Республіки Німеччина вже декілька разів змінювалося від максимального до мінімального значення протягом доби [3]. Так, 29 листопада ФРН експортувала 3 ГВт·год. електроенергії з атомних електростанцій Французької Республіки у зв’язку з падінням продуктивності ВЕС з 46,6 ГВт до 5,0 ГВт [3, 4], що своєю чергою призвело до зміни ціни з 119,99 €/МВт·год. до 130,25 €/МВт·год [5]. Взагалі падіння продуктивності ВЕС у ФРН протягом жовтня-листопада на 25% порівняно з попереднім роком спричинило збільшення вироблення електроенергії газовими електростанціями у листопаді на 79% [6].

Наведені зміни у структурі вироблення електроенергії ФРН протягом листопада

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

є загальноєвропейськими. Вони з урахуванням більш низьких температур позначилися на відборі з підземних газових сховищ по усьому Європейському Союзі. Так, на 1 грудня ПХГ ЄС заповнені на 85,5%, що на 10% менше ніж у попередньому році [7]. У зв’язку з цим ціна газу на біржі TTF становить більше 500 € за тис. м^3, що на 100 € більше ніж роком раніше та на 150 € більше ніж протягом весни та початку літа 2024 року [8]. Таким чином, ціни на енергоносії в Європейському Союзі схильні до високої волатильності, що є однією з ознак продовження енергетичної кризи, яка відображається на конкурентоздатності економіки та матеріальному навантаженні приватних домогосподарств.

Найбільшим споживачем енергоресурсів у приватному домогосподарстві є система опалення. Одним зі шляхів зменшення енерговитрат на опалення є підвищення енергоефективності будівлі. Однак, як показують дослідження Eurocities Monitor, 75% будівель Європейського Союзу вважаються енергонеефективними, а кожна четверта родина у Європі не може дозволити собі адекватне опалення [9]. Ціна установки сучасної підлогової системи опалення для приміщення розміром до 100 м^2 у ФРН становить 9000 € [10].

Виходячи з цього, одним з найменш коштовних шляхів підвищення енергоефективності системи опалення будівлі є використання новітніх підходів до керування нею. Перспективним напрямом у цьому питанні є заміна традиційного керування температурою у приміщенні на керування тепловим комфортом за комплексним показником PMV (прогнозована середня оцінка), описаним у стандарті ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011 [11].

Створення системи керування опаленням на підставі теплового комфорту потребує визначення можливостей з керування енерговитратами за цим показником, що є метою цього дослідження.

Мета та задачі дослідження

Дослідження можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту проводилися з використанням удосконаленої моделі приміщення для дослідження процесу керування тепловим комфортом. Структурна схема моделі наведена на рисунку 1.

Визначення показників теплового комфорту прогнозованої середньої оцінки PMV та прогнозованого процента невдоволених PDD виконувалося за допомогою програмної моделі, розробленої відповідно до стандарту [11]. Її вхідні та вихідні параметри наведені на рисунку 2.

Для виконання порівняльного аналізу енерговитрат на опалення у разі традиційного підходу та з використанням комплексного показника теплового комфорту на підставі удосконаленої моделі приміщення (рис. 1) розроблена модель замкнутої системи керування температурою у приміщенні на базі двопозиційного регулятора, структурна схема якої наведена на рисунку 3.

На підставі удосконаленої моделі приміщення (рис. 1) та програмної моделі розрахунку параметрів теплового комфорту (рис. 2) розроблена модель замкнутої системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора, структурна схема якої наведена на рисунку 4.

Використовуючи отримані моделі, у математичному пакеті MATLAB розроблена модель для дослідження можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту (рис. 5).

Матеріали та методи досліджень

За початкову температуру у приміщенні вибрано мінімальне допустиме значення 16°C; у якості уставки температури 18°C; тип одягу – труси, сорочки, брюки, куртки, шкарпетки, черевики – 1,0 кло [11]; швидкість обміну речовин – сидяча робота (офіс, вдома,

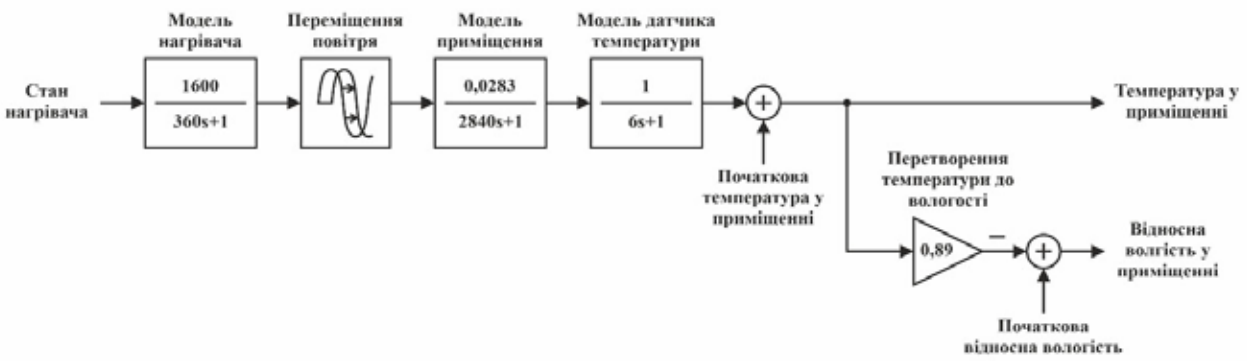

Рис. 1. Структурна схема удосконаленої моделі приміщення для дослідження процесу керування тепловим комфортом

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

Рис. 2. Вхідні та вихідні параметри програмної моделі розрахунку параметрів теплового комфорту

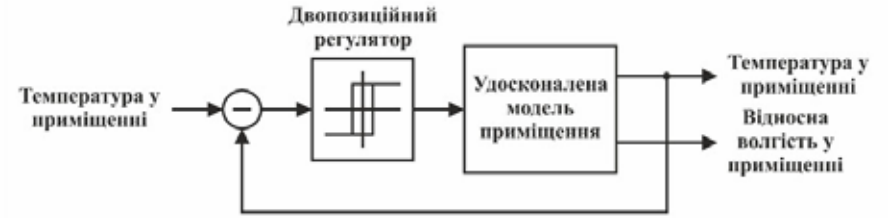

Рис. 3. Структурна схема моделі системи керування температурою у приміщенні на базі двопозиційного регулятора

Рис. 4. Структурна схема моделі системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора

у школі, лабораторії) – 1,2 мет [11]; середня температура випромінювання – 25°C; відносна швидкість повітря – 0,1 м/с; початкова відносна вологість – 40%. За результатами моделювання для таких умов як уставку прогнозованої середньої оцінки PMV вибрано -0,2, що можна трактувати як «Нейтрально». Оцінка витраченої електроенергії виконана за інтегралом потужності, значення якого приводиться до кВт·год.

Система керування опаленням за температурою налаштована таким чином, щоб температура в усталеному режимі змінювалася у діапазоні від 17°C до 18°C, рівень помилки включення нагрівача становить 1°C, а виключення – 0,85°C. Система керування опаленням за тепловим комфортом налаштована на аналогічну зміну температури, рівень помилки включення нагрівача становить 0,096, а виключення – 0,077. Перевірка результатів моделювання (рис. 6) за нормованим середньоквадратичним відхиленням показала, що відповідність між системами за температурою та прогнозованою середньою оцінкою PMV становить 96%. Розбіжність між ними за витраченою електроенергією становить 9575 Дж, або 2,66 Вт·год. У разі загальних витрат 0,39 кВт·год. Таким чином, налаштування систем забезпечує їх однакове функціонування.

Дослідження можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту виконано шляхом варіювання вхідних параметрів теплового комфорту у межах норм

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

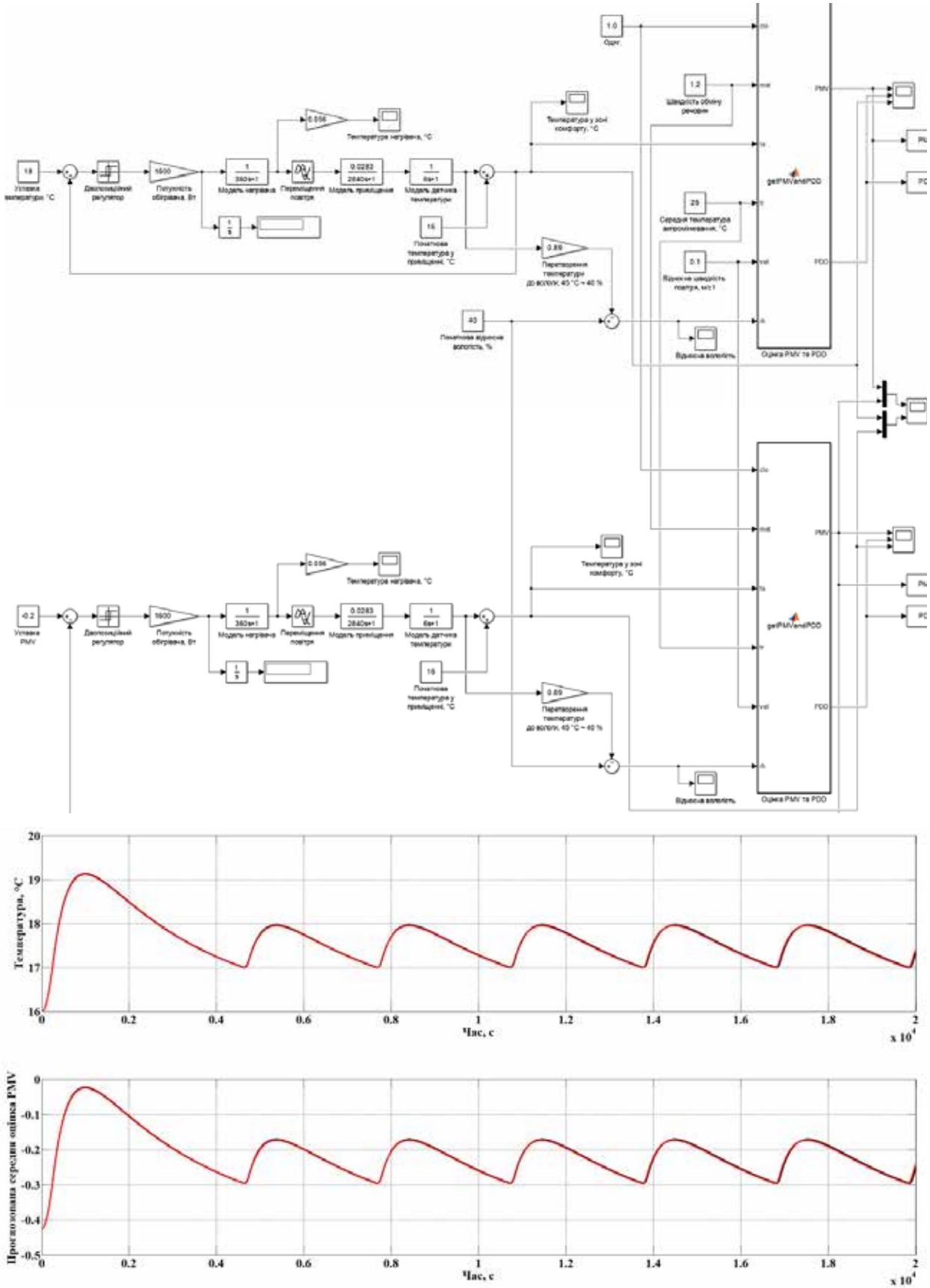

Рис. 6. Результат моделювання налаштованих систем

ТЗ. №4(36)'2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

Табл. 1. Результати дослідження можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту

						Керування за температурою			Керування за PMV		
№	Clo	Met	Tr, °C	Vel, м/с	Rh, %	E, кВт·год.	PMV	PDD	E, кВт·год.	PMV	PDD
1	1,00	1,20	25,0	0,10	40,0	0,39	-0,23	6,13	0,39	-0,23	6,14
2	0,30	1,20	25,0	0,10	40,0	0,39	-1,99	76,34	2,28	-0,25	6,37
3	1,08	1,20	25,0	0,10	40,0	0,39	-0,12	5,31	0,09	-0,26	6,43
4	2,55	1,20	25,0	0,10	40,0	0,39	0,97	24,77	0,00	0,84	20,04
5	1,00	0,80	25,0	0,10	40,0	0,39	-1,98	75,62	2,47	-0,26	6,41
6	1,00	1,26	25,0	0,10	40,0	0,39	0,11	5,29	0,08	-0,26	6,44
7	1,00	2,00	25,0	0,10	40,0	0,39	0,77	17,66	0,00	0,65	13,86
8	1,00	1,20	16,0	0,10	40,0	0,39	-1,07	29,13	0,39	-0,26	6,41
9	1,00	1,20	26,3	0,10	40,0	0,39	-0,11	5,27	0,09	-0,26	6,42
10	1,00	1,20	35,0	0,10	40,0	0,39	0,75	16,88	0,00	0,55	11,29
11	1,00	1,20	25,0	0,10	40,0	0,39	-0,23	6,13	0,39	-0,23	6,14
12	1,00	1,20	25,0	0,30	40,0	0,39	-0,69	15,10	1,06	-0,24	6,19
13	1,00	1,20	25,0	0,10	20,0	0,39	-0,32	7,14	0,55	-0,23	6,14
14	1,00	1,20	25,0	0,10	60,0	0,39	-0,14	5,45	0,20	-0,23	6,16

відповідно до [11]. Результати дослідження наведені у таблиці 1, де Clo – тип одягу, Met – швидкість обміну речовин, Tr – середня температура випромінювання, Vel – відносна швидкість повітря, Rh – початкова відносна волога, E – кількість споживаної електроенергії, PMV – середнє значення прогнозованої середньої оцінки, PDD – середнє значення прогнозованого процента невдоволених.

Система керування опаленням за температурою забезпечує підтримку температури та витрат електроенергії на постійному рівні, незважаючи на зміну одягу, тип діяльності людини, середню температуру випромінювання, відносну швидкість повітря та відносну вологість. Зрозуміло, що останні три показники у реальних умовах будуть мати деякий вплив на температуру у приміщенні, що компенсується системою керування. Більш важливим є те, що підтримка постійної температури у приміщенні не забезпечує тепловий комфорт (рис. 7).

Протягом 2–4 експериментів досліджено вплив зміни одягу на витрати електроенергії. Показнику 0,3 кло відповідають «труси, футболки, шорти, світлі шкарпетки, сандалі» [11]. Зрозуміло, що за температури 16°C у приміщенні людині у такому одязі буде «Прохолодно». Система керування тепловим комфортом у приміщенні (далі – друга система) для забезпечення комфортних умов витрачає 2,28 кВт·год, що у 5,8 раза більше за систему керування температурою у приміщенні (далі – перша система). За 1,08 кло «труси, панчохи, блузки, довгі спідниці, піджаки, туфлі» [11] витрати становлять 0,09 кВт, а за більшого значення до 2,55 кло «нижня білизна з довгими рукавами, термопіджаки та брюки, термокомбінезони, шкарпетки, взуття, шапки, рукавички» [11] друга система не працює, витрати відсутні. Таким чином, діапазон зміни витрат електроенергії становить від 0,00 кВт·год до 2,28 кВт·год (табл. 2).

Протягом 5–7 експериментів досліджено вплив зміни рухливої активності людини. Показнику 0,8 мет відповідає «напівлежачі». Друга система для забезпечення комфортних умов витрачає 2,47 кВт·год. У разі 1,26 мет «сидяча робота» (офіс, вдома, у школі, лабораторії) витрати становлять 0,08 кВт·год., а у разі більшого значення до 2,00 мет середня «активність руху, робота стоячи (продавець, механічна робота, ...)» [11] витрати відсутні.

Протягом 8–10 експериментів досліджено вплив зміни середньої температури випромінювання. За температури 16,0°C витрати обох систем становлять 0,39 кВт·год., своєю чергою за 26,3°C витрати другої системи становлять 0,09 кВт·год., а у разі вищої температури до 35°C витрати відсутні.

Експерименти 10–14 відповідають зміні відносної швидкості та вологості повітря. Вони не потребують окремих коментарів. З їх результатами можна ознайомитися у таблицях 1, 2.

Результати досліджень

За результатами аналізу експериментальних даних встановлено, що система керування тепловим комфортом у приміщенні під час роботи впливає на кількість витрачених енергоресурсів, на відміну від традиційної. У деяких випадках система не вмикає опалення. Таким чином, керування

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

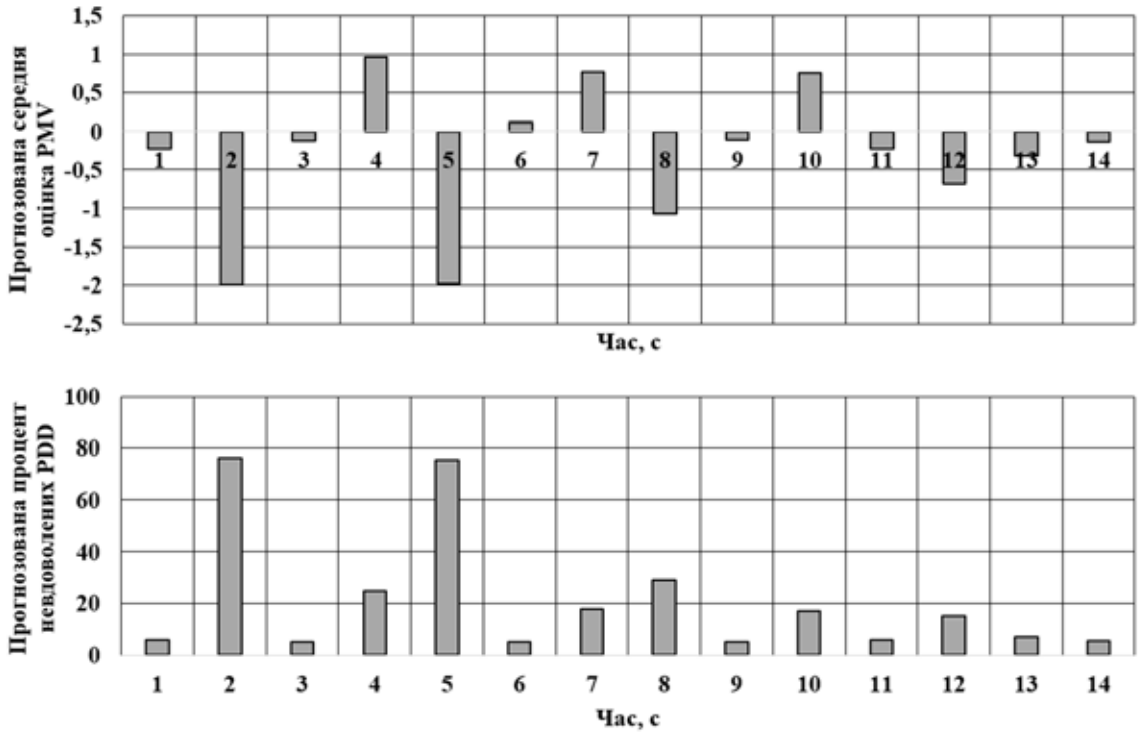

Рис. 7. Параметри теплового комфорту, сформовані системою керування температурою у приміщенні

Табл. 2. Діапазон зміни витрат електроенергії системи керування тепловим комфортом у приміщенні

	Clo	Met	Tr, °C	Vel, м/с	Rh, %
E, кВт·год.	0,00÷2,28	0,00÷2,47	0,00÷0,39	0,39÷1,06	0,20÷0,55

тепловим комфортом у приміщенні може забезпечувати зниження енерговитрат за рахунок використання як дійсного значення зворотного зв’язку комплексного показника PMV замість температури. При цьому ця система потребує створення такого механізму обмеження, щоб у найгіршому випадку енерговитрати не перевищували витрат традиційної системи.

Висновки

1. Для порівняльного аналізу енерговитрат традиційного підходу до керування системою опалення та з використанням комплексного параметра PMV (прогнозована середня оцінка) на базі удосконаленої моделі приміщення для дослідження процесу керування тепловим комфортом створено дві моделі: системи керування температурою у приміщенні на базі двопозиційного регулятора та системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора.

2. Використовуючи отримані моделі систем керування, у математичному пакеті MATLAB розроблена модель для дослідження можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту.

3. Налаштування дослідницької моделі виконано таким чином, щоб системи керування за тих самих умов мали однакові форми перехідних процесів та енерговитрати. За результатами моделювання встановлено, що за нормованим середньоквадратичним відхиленням відповідність між системами за температурою та прогнозованою середньою оцінкою PMV становить 96%, своєю чергою розбіжність за витраченою електроенергією не перевищує 1%. Таким чином, отримані системи дослідницької моделі забезпечують однакову якість керування опаленням у приміщенні.

4. У процесі дослідження можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту визначено вплив типу одягу, швидкості обміну речовин, середньої температури випромінювання, відносної швидкості та вологості повітря на витрати електроенергії. За отриманими результатами встановлено, що така система забезпечує зниження енерговитрат за рахунок використання як дійсного значення зворотного зв’язку комплексного показника PMV.

ТЗ. №4(36)'2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

5. Традиційна система керування температурою у приміщенні має постійні енерговитрати, незважаючи на зміну параметрів теплового комфорту, що здебільшого призводить до неефективного використання енергоресурсів та ресурсів самої системи. Водночас за тих самих умов система керування тепловим комфортом у приміщенні знаходиться у режимі очікування, не вмикаючи опалення, що забезпечує зменшення енерговитрат.

6. Система керування тепловим комфортом у приміщенні за тих самих налаштувань забезпечує підтримку теплового комфорту на постійному рівні у всьому діапазоні зміни його параметрів. Таким чином, ця система за відсутності обмежень на енерговитрати забезпечує більш якісне опалення порівняно з традиційною.

7. Система керування тепловим комфортом у приміщенні потребує розробки та дослідження механізму обмеження для випадку погіршення умов теплового комфорту, щоб енерговитрати не перевищували витрати традиційної системи. Це питання є перспективним напрямом продовження такої роботи.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно цього дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені у цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

ЛІТЕРАТУРА

[1] After two warm winters, Europe should prepare for colder temperatures: Oxford. Anadolu Ajansi. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/V4LFzh.

[2] Winter 2024/2025 Europe Forecast: A good start followed by a slowdown, with more potential again for February. Severe Weather Europe. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/h3WzMm.

[3] ENTSO-E Transparency Platform. ENTSO-E. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/BHOOh7.

[4] Germany Turns to French Nuclear Power as Wind Generation Falls. Bloomberg. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/zxdqMW.

[5] Electricity prices Germany. EUENERGY. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/wyZ8qT.

[6] Germany's weak winds trigger record surge in gas-fired power. Reuters. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/lIRCgH.

[7] Gas price shock set to add to Europe's industrial pain. Reuters. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/OyX4kc.

[8] EU Natural Gas TTF. TRADING ECONOMICS. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/J7DX3c.

[9] Cities taking on the energy crisis. Eurocities Monitor. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/a9XGdJ.

[10] Fußbodenheizung Kosten & Preise pro m². Wir verlegen Estrich. Дата звернення: 06 грудня 2024 [Онлайн]. URL: https://is.gd/TZCrVo.

[11] Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (2012). ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. [Чинний від 2013-01-01]. Київ: Мінрегіон України.

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION BY CONTROLLING THE HEATING SYSTEM BASED ON THERMAL COMFORT

Yevhen Voskoboinyk, Oleg Boyko, Dmytro Slavinskyi, Yurii Cheberiachko

Against the backdrop of simultaneous changes in the impact of several negative factors on the energy market, as well as energy prices in the European Union, one of the least expensive ways to increase the energy efficiency of a building's heating system is to use the latest approaches to control. A promising direction in this matter is to replace traditional indoor temperature control with thermal comfort control using a complex PMV indicator.

To conduct a comparative analysis of energy consumption for heating using a traditional approach and using a complex thermal comfort indicator based on an improved room model. To develop a model to study the possibility of reducing energy consumption by controlling the heating system based on thermal comfort.

The resulting model allows you to study the process of thermal comfort control. After conducting several experiments, it was found that the thermal comfort control system in the room during operation affects the amount of energy resources consumed, unlike the traditional one. Thus, indoor thermal comfort control can provide energy savings by using the complex PMV indicator as the actual feedback value instead of temperature.

The proposed temperature control system, unlike the traditional one, does not have constant energy consumption in the room. Considering the change in thermal comfort parameters, which in some cases leads

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266

to the effective use of energy resources and the resources of the system itself. At the same time, under the same conditions, the indoor thermal comfort control system is in standby mode without turning on the heating, which ensures a reduction in energy consumption. Thus, this system, in the absence of restrictions on energy consumption, provides better heating compared to the traditional one.

Keywords: *thermal comfort, PMV, PDD, microclimate, regulator, closed-loop control system.*

REFERENCES

[1] After two warm winters, Europe should prepare for colder temperatures: Oxford. Anadolu Ajansi. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/V4LFzh.

[2] Winter 2024/2025 Europe Forecast: A good start followed by a slowdown, with more potential again for February. Severe Weather Europe. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/h3WzMm.

[3] ENTSO-E Transparency Platform. ENTSO-E. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/BHOOh7.

[4] Germany Turns to French Nuclear Power as Wind Generation Falls.Bloomberg. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/zxdqMW.

[5] Electricity prices Germany. EUENERGY. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/wyZ8qT.

[6] Germany’s weak winds trigger record surge in gas-fired power. Reuters. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/lIRCgH.

[7] Gas price shock set to add to Europe’s industrial pain. Reuters. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/OyX4kc.

[8] EU Natural Gas TTF. TRADING ECONOMICS. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/J7DX3c.

[9] Cities taking on the energy crisis. Eurocities Monitor. Accessed: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/a9XGdJ.

[10] Fußbodenheizung Kosten & Preise pro m². Wir verlegen Estrich. Date of access: 06 December 2024 [Online]. URL: https://is.gd/TZCrVo.

[11] Ergonomics of the thermal environment. Analytical definition and interpretation of thermal comfort based on calculations of PMV and PPD indicators and criteria of local thermal comfort (2012). DSTU B EN ISO 7730: 2011. [Valid from 2013-01-01]. Kyiv: Minregion of Ukraine.

ТЗ. №4(36)'2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

Кібербезпека
та захист критичної інфраструктури

УДК 004.056:004.852

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПОШУК XSS-ВРАЗЛИВОСТЕЙ У ВЕБЗАСТОСУНКАХ НА ОСНОВІ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПІДХОДУ

В.С. Кравчук[1], Н.О. Маслова[1, 2], Я.Ю. Дорогий[1, 3, 4]
[1]Department of Applied Mathematics and Informatics, Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine
[2]Department of Information Security Management, Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
[3]Department of Information Systems and Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
[4] Department of Intelligent Software Systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ

З розвитком інформаційних технологій та зростанням обсягів обробки чутливої інформації в Інтернеті вебзастосунки стали важливою частиною сучасних бізнес-процесів. Однак з цим збільшується і кількість кіберзагроз, що ставить перед організаціями завдання забезпечення безпеки своїх вебресурсів. Одним з основних методів захисту є тестування на проникнення, яке дозволяє виявити вразливості шляхом імітації реальних атак. У цій статті розглядається застосування мультиагентних систем (MAS) для автоматизації процесу пентестингу, зокрема для виявлення XSS-вразливостей.

Пентестинг є важливим етапом забезпечення безпеки вебзастосунків, який включає кілька етапів: початковий аналіз, виявлення вразливостей, експлуатацію вразливостей і оцінку наслідків атаки. Типові вразливості, зокрема XSS, є одними з основних цілей пентестингу, оскільки їх можна легко використовувати для компрометації системи. Однак традиційні методи пентестингу часто мають обмежену здатність швидко адаптуватися до нових атак, що робить їх менш ефективними.

З огляду на ці обмеження у статті запропоновано використання мультиагентних систем для автоматизації пентестингу. Такий підхід дозволяє паралельно виконувати різні завдання, що значно збільшує ефективність процесу. Розроблений агент-сканер для виявлення XSS-вразливостей протестовано на вразливому вебресурсі, що дозволило оцінити ефективність цієї моделі. Результати показали, що мультиагентний підхід дозволяє швидше і точніше виявляти вразливості порівняно з традиційними методами. Крім того, цей підхід забезпечує високу гнучкість та адаптивність до нових кіберзагроз.

Загалом, дослідження підтвердило, що використання мультиагентних систем може значно підвищити ефективність пентестингу вебзастосунків. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення можливостей таких систем шляхом інтеграції нових агентів для виявлення інших типів вразливостей та використання методів машинного навчання для адаптації агентів до нових загроз.

Ключові слова: *мультиагентні системи, пентестинг, XSS-вразливості, автоматизоване виявлення, веббезпека.*

Вступ

З розвитком інформаційних технологій та зростанням обсягів обробки чутливої інформації в Інтернеті вебзастосунки стали критично важливою частиною сучасних бізнес-процесів. Водночас зростаючий рівень кіберзагроз вимагає від організацій впровадження ефективних методів забезпечення безпеки своїх вебресурсів. Одним з основних інструментів забезпечення безпеки вебзастосунків є тестування на проникнення, яке передбачає виявлення вразливостей шляхом імітації реальних атак. У цій статті досліджується використання мультиагентних систем (MAS) для автоматизації процесу пентестингу, зокрема для виявлення однієї з найбільш поширених типових вразливостей – XSS (Cross-Site Scripting).

Пентестинг є невід'ємною частиною процесу забезпечення безпеки вебзастосунків, оскільки дозволяє виявити потенційні вразливості, які можуть

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

бути використані зловмисниками для несанкціонованого доступу до даних або інших шкідливих дій. Тестування включає кілька етапів: початковий аналіз, виявлення вразливостей, експлуатацію цих вразливостей, а також подальше оцінювання можливих наслідків атаки. Типові вразливості, такі як SQL-ін’єкції, XSS та CSRF (Cross-Site Request Forgery), є одними з основних цілей пентестингу, оскільки вони можуть бути легко використані для компрометації системи. Тому ефективні інструменти для автоматизації цього процесу, такі як мультиагентні системи, набувають усе більшого значення.

Однією з головних проблем традиційних методів пентестингу є їх обмежена здатність швидко адаптуватися до нових умов та варіантів атак, що постійно змінюються. Для подолання цих обмежень у статті пропонується використання мультиагентних систем, здатних автоматизувати процес тестування на проникнення через взаємодію різних агентів, що виконують різні функції. У рамках дослідження розроблено спеціалізованого агента для пошуку XSS-вразливостей, який протестований на спеціально створеному вразливому вебресурсі, що дозволило оцінити ефективність цієї моделі. Завдяки мультиагентному підходу досягнуто більшої точності та швидкості виявлення вразливостей порівняно з традиційними методами. Це відкриває нові перспективи для використання MAS у пентестингу вебзастосунків, забезпечуючи більш гнучкий та ефективний підхід до тестування безпеки вебресурсів.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

У статті [1] пропонується огляд різних агентських платформ, на яких здійснюються агентно-орієнтовані симуляції, з акцентом на важливість вибору правильної платформи для створення адаптивних та ефективних агентних систем. Це дослідження висвітлює як теоретичні принципи, так і практичні аспекти використання таких платформ у різних галузях. Окремо у дослідженні [2] підкреслюється важливість агентів у прогнозуванні складних систем та прийнятті рішень, що робить це дослідження важливим для подальшого розвитку теорії та практики агентних технологій.

Дослідження [3] зосереджене на розгляді агентно-орієнтованих платформ, надаючи рекомендації щодо їх розробки та вдосконалення, і визначає проблеми, що виникають під час створення масштабованих агентних систем. У цьому контексті стаття [4] розглядає платформи для розробки агентних систем, звертаючи увагу на їхню роль у вирішенні складних аналітичних задач, зокрема, підкреслюючи важливість правильного вибору платформи для досягнення успіху.

Манева у роботі [5] досліджує архітектуру платформ для агентного аналізу бізнес-процесів, що є важливою темою в контексті автоматизації та оптимізації бізнес-процесів через використання агентних систем. З іншого боку, дослідження [6] присвячене сучасним програмним засобам для агентно-орієнтованого моделювання та можливостям, які надають нові технології для створення ефективних і гнучких агентних платформ.

Стаття [7] зосереджена на оцінці агентної платформи, розробленої на основі мови програмування JAVA, що дозволяє зрозуміти важливі аспекти інтеграції таких платформ у вже наявні програмні середовища. Тоді як у статті [8] пропонується концепція мобільних агентів і платформ для їх реалізації, що є важливим кроком для розвитку мобільних агентних систем.

У дослідженні [9] представлений підхід до теорії динаміки платформ, що має велике значення для глибшого розуміння взаємодії між різними платформами в екосистемах агентів, що дозволяє створювати інтегровані та ефективні рішення для широкого спектра завдань. В роботі [10] пропонується аналіз реальних умов використання мобільних агентів, що є важливим для впровадження мобільних агентних технологій у різних сферах.

У статті [11] обговорюється адаптивне формування мультиагентних систем, що піддаються атакам типу denial-of-service, а також підхід до забезпечення їх безпеки і стійкості. Це пов’язано з дослідженням [12], яке стосується стратегічної логіки для аналізу динамічних моделей, де описується новий підхід до моделювання взаємодії агентів в умовах зміни середовища, що може бути застосовано для оптимізації процесів.

Важливою темою також є питання безпеки в мультиагентних системах, яке висвітлюється у статті [13]. Огляд різних загроз та вразливостей у таких системах підкреслює значення розробки методів захисту. Для забезпечення безпеки і стійкості мультиагентних систем у складних умовах розглядається консенсусне управління у роботі [14], де запропоновано стійкі нейроадаптивні підходи для кібербезпеки.

Дослідження [15] пропонує огляд застосування мультиагентних систем у різних галузях, таких як Інтернет речей і кіберфізичні системи, що є важливим для розуміння потенціалу таких систем у розвитку технологій майбутнього. Водночас у роботі [16] пропонується модель кіберфізичної системи на основі мультиагентної архітектури для оптимізації взаємодії компонентів у таких системах, що має велике значення для розвитку інтелектуальних кіберфізичних систем.

Дослідження [17] охоплює застосування мультиагентних систем для контролю мікрогрід, з аналізом підходів для ефективного управління енергетичними системами в умовах змінної навантаженості. Своєю чергою дослідження [18] розглядає MAS-ML 2.0,

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

систему для моделювання мультиагентних систем з різними архітектурами агентів, що дозволяє досягти більшої гнучкості та ефективності в таких системах.

Стаття [19] зосереджена на протоколах переговорів для мультиагентних систем, що використовуються у кіберфізичних системах, підкреслюючи важливість ефективної комунікації між агентами. Окремо у статті [20] досліджується роль мультиагентних систем у розподілі ресурсів і плануванні в розумних мережах, що важливо для оптимізації енергетичних ресурсів у змінних умовах.

У статті [21] розглядається виявлення вразливостей у вебзастосунках за допомогою пентестингу, підкреслюючи важливість застосування методів і інструментів для перевірки безпеки вебзастосунків. Останні дослідження в цій сфері, наприклад, у роботі [22], пропонують удосконалення інструментів для тестування безпеки, а в роботі [23] досліджуються проблеми автоматизованого тестування вразливостей.

Інтерес до покращення інструментів пентестингу також висвітлюється у статті [24], де розглядається вебінтерфейс для моніторингу діяльності пентесту на основі стандартів OWASP, що сприяє ефективному управлінню процесом тестування безпеки вебзастосунків. Важливими є також дослідження [25] і [26], де аналізуються проблеми використання чорних сканерів у пентестингу та інтеграція результатів OpenVAS у Metasploit для підвищення ефективності тестування.

У статті [27] наводиться емпіричне порівняння інструментів пентестингу для виявлення вразливостей вебзастосунків, що є важливим для вибору найефективніших інструментів для тестування безпеки вебсистем. Дослідження [28] присвячене проблемам безпеки вебзастосунків та оцінці вразливостей через пентестинг, розглядаючи загальні питання безпеки та методи їх тестування для забезпечення захисту вебресурсів.

У статті [29] детально описано пентестинг вебзастосунків, включаючи основні стратегії та інструменти, що використовуються для виявлення вразливостей. Нарешті, в роботі [30] розглядаються нові виклики у сучасному пентестингу, зокрема виявлення нових типів вразливостей та застосування новітніх технологій для тестування безпеки.

Аналіз джерел свідчить, що мультиагентні системи мають значний потенціал у сфері автоматизації тестування безпеки, оскільки вони дозволяють здійснювати паралельну обробку завдань та адаптуватися до нових загроз. У дослідженнях [15; 16; 18] розглядаються можливості застосування мультиагентних систем у кіберфізичних системах та Інтернеті речей, що підтверджує їхню ефективність у динамічних і складних середовищах.

Постановка проблеми дослідження

Вебзастосунки є основними елементами сучасних інформаційних систем, використовуваних у різноманітних сферах – від бізнесу до урядових і фінансових структур. Водночас вони стали головною мішенню для кіберзлочинців, які шукають можливості для несанкціонованого доступу до чутливої інформації, компрометації систем або викрадення даних. Кількість і складність кіберзагроз постійно зростає, а нові типи вразливостей з’являються регулярно. Такі атаки, як XSS, SQL-ін’єкції, CSRF і багато інших, мають потенціал для серйозних порушень безпеки вебзастосунків. З огляду на високі ризики необхідність забезпечення надійної безпеки вебресурсів стає дедалі актуальнішою для організацій і державних установ.

Традиційні методи пентестингу часто потребують значних людських ресурсів і часу, що може обмежувати їхню ефективність і швидкість. Аналіз літературних джерел, зокрема досліджень [21–24], демонструє актуальність автоматизації процесу тестування безпеки вебзастосунків для оперативного виявлення вразливостей. Використання мультиагентних систем, як це показано у роботах [15–18], дозволяє суттєво підвищити ефективність та гнучкість процесу пентестингу завдяки можливості паралельного виконання завдань і швидкої адаптації до нових загроз.

З огляду на вищезазначене мета цього дослідження визначається як розробка та впровадження мультиагентної системи для автоматизації пентестингу вебзастосунків, зокрема для пошуку вразливостей типу XSS. Розробка такого підходу дозволить значно підвищити ефективність і швидкість виявлення вразливостей, а також зробити процес тестування більш гнучким і адаптивним до нових кіберзагроз.

Основними завданнями, які розв’язуються в цьому дослідженні, є:

– аналіз та визначення основних етапів пентестингу вебзастосунків, зокрема етапу пошуку XSS-вразливостей;

– використання мультиагентної системи для автоматизації процесу пентестингу з урахуванням специфіки вебзастосунків;

– створення спеціалізованого агента-сканера для пошуку XSS-вразливостей у вебресурсах;

– тестування розробленої системи на спеціально створеному вразливому вебресурсі, оцінка ефективності та точності виявлення вразливостей;

– оцінка результатів і порівняння ефективності агента-сканера з аналогічними системами виявлення вразливостей.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

Матеріали та методи досліджень

Для проведення дослідження використані комбінації фундаментальних та спеціальних підходів до тестування на проникнення вебзастосунків з використанням мультиагентних систем. Основними методами стали аналіз вразливостей вебзастосунків, таких як XSS, метод MAS для створення агентів, що виконують тестування, а також автоматизація процесу пентестингу для підвищення ефективності. Емпіричний метод дозволив оцінити розроблені моделі тестування на вразливих вебресурсах.

Для розробки агента-сканера використана мова програмування Python. Python забезпечує гнучкість і швидкість завдяки бібліотекам для вебтестування, таким як Asyncio, OS, Httpx, Requests. Як платформа MAS для створення та організації взаємодії агентів (crawler-a та scanner-a) всередині нашої моделі виступає SPADE (Smart Python Agent Development Environment) [38]. Для оцінки ефективності агентної системи використано вразливий вебресурс (vulnweb.com), на якому тестувалися агенти. Всі етапи тестування організовані за допомогою систем управління проєктами, таких як Jira та Trello, що дозволило ефективно координувати дослідження та збір результатів. Використання цих інструментів та технологій дозволило досягти поставленої мети щодо автоматизації процесів виявлення вразливостей типу XSS у вебзастосунках.

У цьому дослідженні, як відзначалось раніше, SPADE використовується для побудови системи взаємодії двох агентів, забезпечуючи асинхронну взаємодію між ними через обмін повідомленнями по протоколу XMPP. SPADE допомагає в організації незалежних процесів, коли кожен агент виконує свою роботу автономно. Також дозволяє агентам працювати асинхронно без необхідності використовувати додаткові черги або бази даних (Redis, RabbitMQ тощо). Також SPADE дає можливість використання вебінтерфейсу для моніторингу стану агентів у реальному часі.

У SPADE поведінка агентів задається через спеціальні класи поведінки (behaviours). SPADE підтримує три основні типи поведінки:

– OneShotBehaviour – виконується один раз і завершується.

– CyclicBehaviour – виконується безкінечно або до зупинки агента.

– PeriodicBehaviour – виконується через певний інтервал часу.

У коді, який запропонований у цьому дослідженні, використовується OneShotBehaviour.

Результати дослідження

Результатом проведеного дослідження є розроблений агент-сканер, який автоматизує процес виявлення вразливостей типу XSS, зокрема Reflected та DOM Based, у знайдених URL цільового домену. Запропонований підхід є особливо корисним у випадках, коли необхідно перевірити значний обсяг доменів або вебресурс із великою кількістю кінцевих точок, що можуть містити вразливі до XSS параметри. Використання такого інструменту дозволяє значно підвищити якість та повноту перевірки всього досліджуваного середовища, а також зменшити витрати часу на ручний аналіз кожного окремого параметра.

Розроблений сканер вимагає від користувача лише вказання цільового домену, після чого всі процеси виконуються в автоматизованому режимі. Отримані результати надсилаються користувачеві для подальшої валідації, що дозволяє ефективно ідентифікувати потенційні вразливості та здійснити їх аналіз.

Життєвий цикл роботи розробленої моделі представлено на рис. 1.

На початковому етапі тестувальник передає агенту-сканеру цільовий домен у вигляді URL-адреси, наприклад, https://example.com. Перший агент (crawler_agent) отримує цю адресу та ініціює активний процес збору URL, пов’язаних із цільовим доменом. Зібрані результати підлягають фільтрації з метою виокремлення URL, що містять параметри. Визначення таких URL здійснюється шляхом аналізу наявності у рядку символів ?, &, =, наприклад, https://example .com?test=123&case=456. У цьому випадку параметрами є test і case, а значеннями цих параметрів відповідно 123 та 456. Подальший

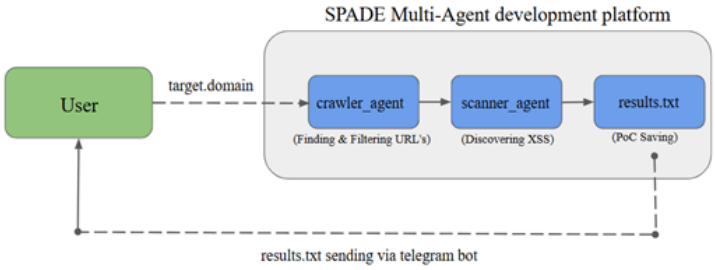

Рис. 1. Життєвий цикл роботи розробленої моделі

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

етап передбачає інжекцію спеціально сформованих корисних навантажень (пейлоудів) для перевірки можливих XSS-вразливостей. Для цього можна використати такі приклади:

https://example.com?test=<svg/onload=alert(1)>&case=456

https://example.com?test=»><script>alert(1)</script>&case=456

https://example.com?test=123&case=4»><img src=x oneerror=alert(1)

https://example.com?test=123&case=\’-alert(1)//

Якщо в процесі аналізу відповідь сервера містить впроваджене корисне навантаження, і після переходу за відповідним посиланням викликається функція alert() у вигляді спливаючого вікна, це свідчить про вразливість вебресурсу до XSS-атак.

Після етапів збору, фільтрації та ідентифікації потенційно вразливих параметрів результати передаються наступному агенту (scanner_agent), який здійснює безпосередню перевірку URL-адреси на наявність XSS-вразливостей. Виявлені вразливості зберігаються у вигляді Proof-of-Concept (PoC) у текстовий файл. Далі ці результати передаються користувачеві через телеграм-бота, створеного за допомогою BotFather [31].

Під час розробки агента-сканера використовувалися наявні утиліти з відкритим вихідним кодом: Katana [32], Gxss [33] і Dalfox [34]. Вказані інструменти послідовно запускаються, утворюючи автоматизований ланцюг аналізу.

Katana є високопродуктивним та гнучко налаштовуваним вебкраулером від ProjectDiscovery, призначеним для виявлення всіх можливих URL-адрес на вебсайті, включаючи динамічні сторінки, форми та API-запити. Утиліта реалізує рекурсивний пошук, аналізує HTML-код, JavaScript, витягує вбудовані скрипти, API-запити та параметри.

Gxss виконує аналіз знайдених URL-адрес на наявність параметрів, потенційно вразливих до XSS-атак. Цей інструмент обробляє результати, отримані за допомогою Katana, визначає параметри, що можуть слугувати точками ін’єкцій, та здійснює їх фільтрацію, залишаючи лише ті, які можуть бути об’єктами атаки.

Dalfox є комплексним інструментом для виявлення та валідації XSS-вразливостей у знайдених точках ін’єкцій. Він здійснює інжекцію XSS-пейлоудів у параметри, аналізує відповідь сервера на предмет виконання JavaScript-коду, а також оцінює різні контексти виконання (HTML, JS, атрибути, події). Крім того, Dalfox містить вбудовані алгоритми штучного інтелекту для обходу захисних механізмів, зокрема політики безпеки контенту (CSP, Content-Security Policy) [35] і фаєрволів вебзастосунків (WAF, Web-Application Firewall) [36].

Комбінація зазначених утиліт формує повноцінний автоматизований сканер для виявлення XSS-вразливостей. Загальна схема його роботи виглядає таким чином:

katana -u https://example.com -silent | grep -E «\?|&=» | Gxss -c 100 | dalfox pipe

Демонстрація роботи розробленої моделі. Автоматизація процесу пошуку XSS-вразливостей є ключовим завданням у сфері кібербезпеки, оскільки ручна перевірка великої кількості вебресурсів є трудомісткою та неефективною. Запропонована модель агента-сканера дозволяє значно підвищити швидкість та точність виявлення потенційних загроз. У цьому розділі представлено демонстрацію роботи розробленого сканера, процес збору URL-адрес, пошук потенційних точок ін’єкції, а також аналіз отриманих результатів.

Розроблена модель агента-сканера функціонує за принципом автоматизованого пошуку вразливостей XSS у вебзастосунках. На початковому етапі користувач задає цільовий домен, після чого виконується процес збору URL-адрес (див. рис. 2).

Після збору URL-адрес виконується їх аналіз для виявлення потенційних точок ін’єкції за допомогою Gxss (див. рис. 3).

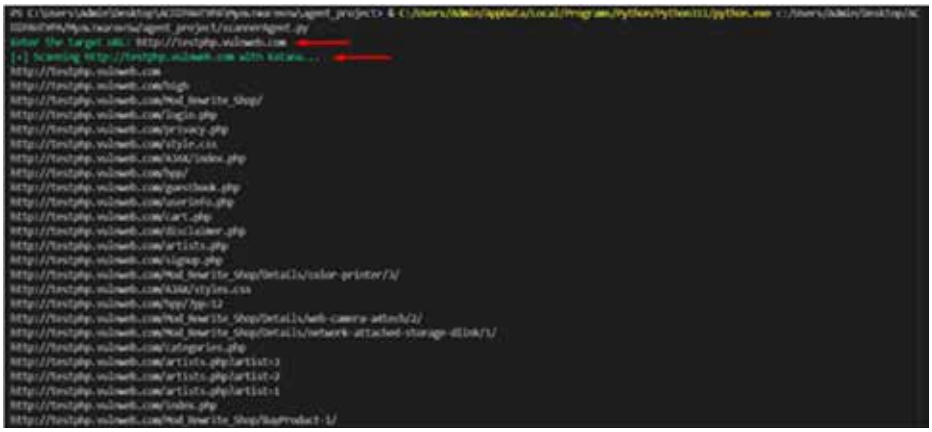

Рис. 2. Початок роботи моделі. Збір URL-адрес

Т3. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

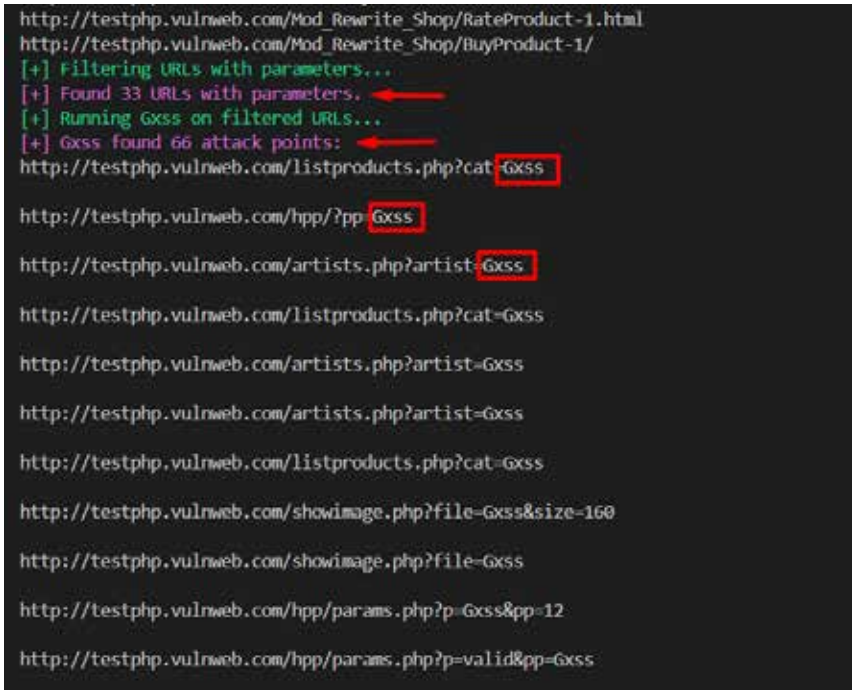

Рис. 3. Пошук точок для атаки

Наступним етапом є передача отриманих URL-адрес до модуля dalfox для виявлення XSS-вразливостей (див. рис. 4).

Результати роботи сканера представлено на рис. 5.

Підсумкові дані зберігаються у текстовий файл та надсилаються користувачу через Telegram-бот (див. рис. 6–7).

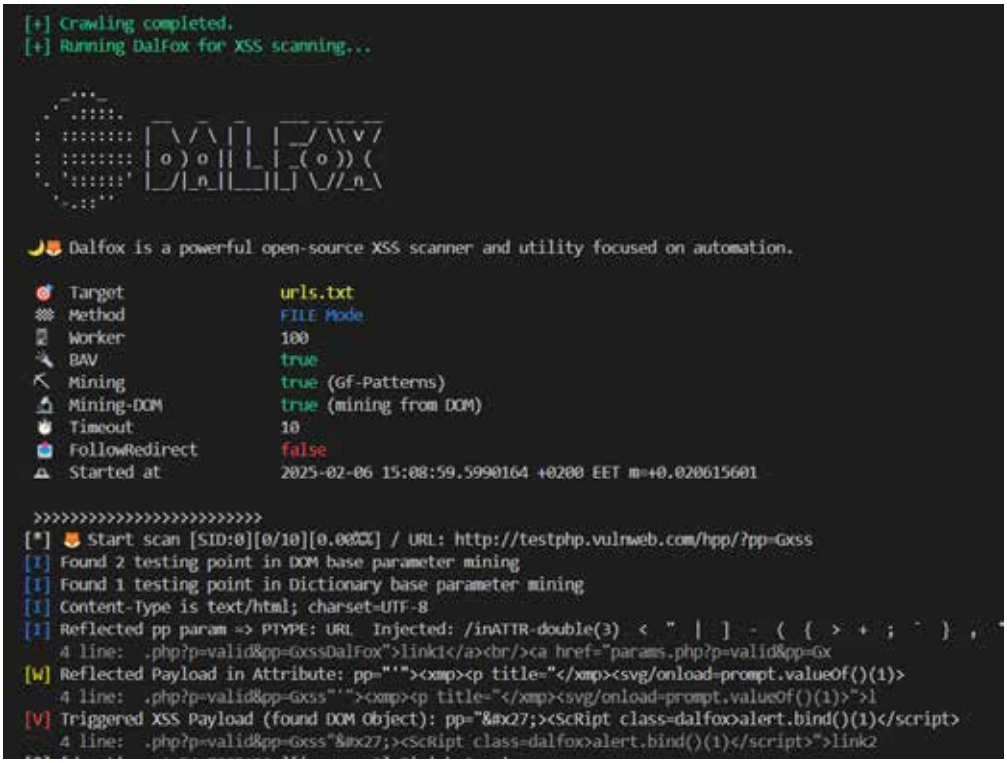

Рис. 4. Початок сканування на XSS

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

Рис. 5. Результат роботи сканера

Користувач отримує перелік URL-адрес із вбудованими корисними навантаженнями у текстовому форматі. Після цього виконується їх ручна перевірка для підтвердження статусу true-positive. Для цього необхідно скопіювати отриманий результат та відкрити відповідне посилання у браузері.

Для підтвердження вразливості виконуються маніпуляції з переданими пейлоудами (див. рис. 8–10).

Приклад 1:

http://testphp.vulnweb.com/hpp/?pp=Gxss%22%27%22%3E%3Cxmp%3E%3Cp+title%3D%22%3C%2Fxmp%3E%3Csvg%2Fonload%3Dprompt.valueOf%28%29%281%29%3E

URL-декодована форма: http://testphp.vulnweb.com/hpp/?pp=Gxss»‘«><xmp><p+title=»</xmp><svg/onload=prompt.valueOf()(1)>

У цьому прикладі:

Gxss» закриває атрибут pp;

>‘ завершує поточний HTML-тег, дозволяючи вставити новий HTML-код;

<xmp> – це HTML-тег, який відображає вміст як текст, але його можна закрити (</xmp>), щоб вставити наступний код;

<svg onload=prompt.valueOf()(1)> створює SVG-елемент, який у разі завантаження викликає prompt.valueOf()(1), що функціонально еквівалентне виклику alert(1).

Приклад 2:

http://testphp.vulnweb.com/hpp/params.php?p=Gxss&pp=12%3CsVg%2Fonload%3Dalert%281%29%3E

URL-декодована форма:

http://testphp.vulnweb.com/hpp/params.php?p=Gxss&pp=12<sVg/onload=alert(1)>

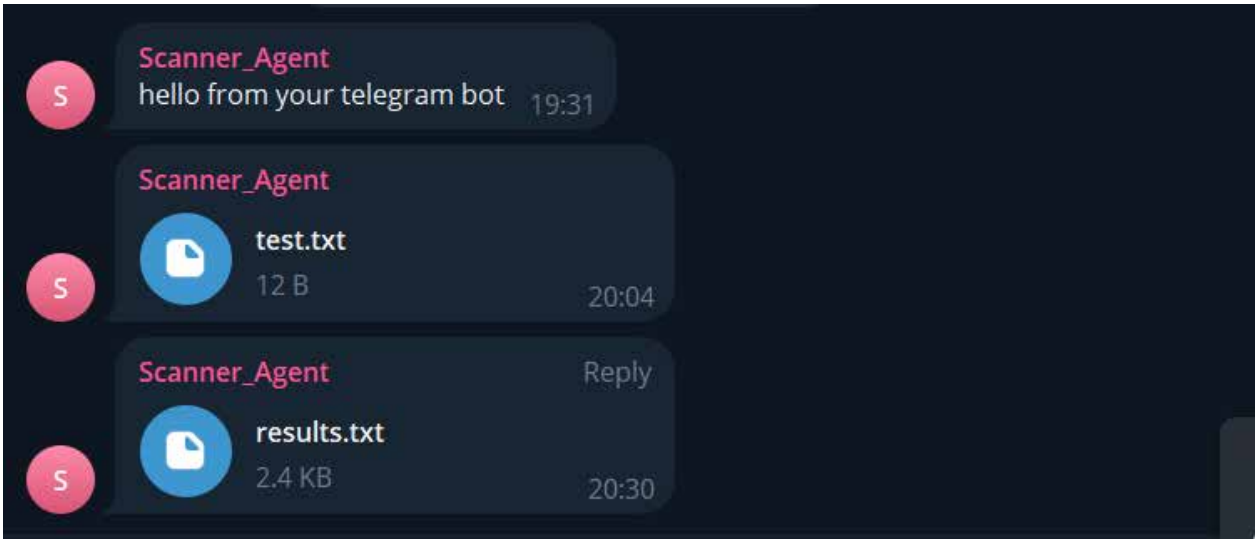

Рис. 6. Надіслані результати у Telegram

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

Рис. 7. Вміст файлу із результатами

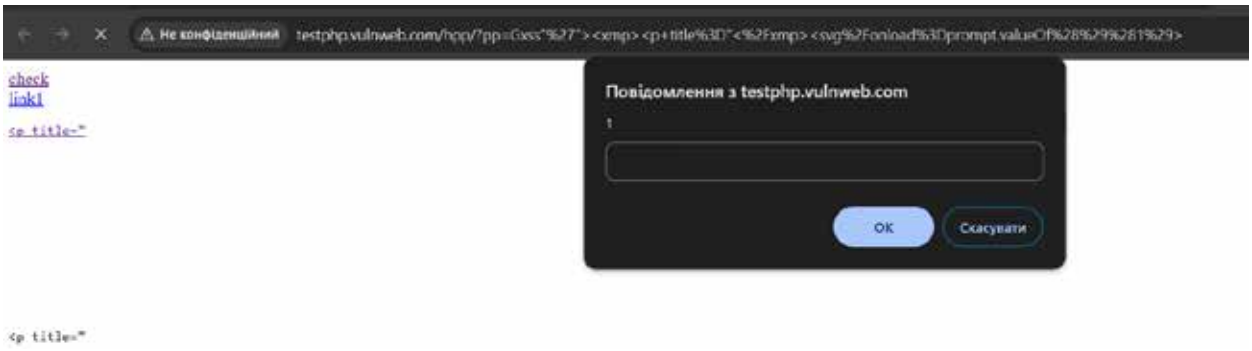

Рис. 8. Приклад 1

У прикладі 12<svg onload=alert(1)> вставляється в HTML-код без екранування, що дозволяє виконати XSS-атаку. <svg onload=alert(1)> створює SVG-елемент, який під час завантаження викликає alert(1), запускаючи JavaScript-код.

Приклад 3:

http://testphp.vulnweb.com/hpp/params.php?p=%3Cimg%2Fsrc%2Fonerror%3D.1%7Calert%601%60%3E&pp=Gxss

URL-декодована форма:

http://testphp.vulnweb.com/hpp/params.php?p=<img/src/onerror=.1|alert`1`>&pp=Gxss

У прикладі <img src onerror=.1|alert1> створює зображення з некоректним src, що змушує браузер викликати oneerror. onerror=.1|alert1`` у разі помилки завантаження спочатку виконує .1, а потім викликає alert(1), запустивши JavaScript.

Використання бектіків (`) та | допомагає обійти деякі фільтри XSS.

Запропонований сканер дозволяє виявляти XSS-вразливості шляхом виконання JavaScript-коду на стороні клієнта, що підтверджує можливість експлуатації вразливості у вебзастосунку.

Незважаючи на ефективність розробленого сканера, наявні можливості його подальшого покращення:

– Гнучкість налаштувань – реалізація підтримки кількох доменів, користувацьких XSS-пейлоудів, а також інтеграція proxy/VPN.

– Розширення збору URL-адрес – використання пасивних методів збору, таких як gau та waybackurls, для отримання архівних та прихованих сторінок.

– Виявлення прихованих параметрів – інтеграція ParamSpider та Arjun для ідентифікації прихованих точок ін’єкції.

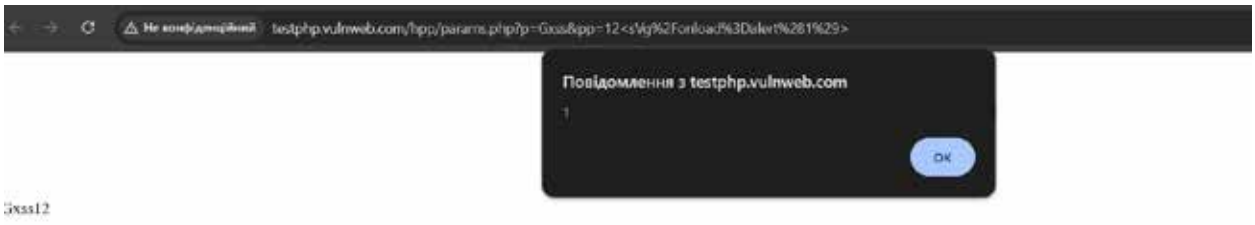

Рис. 9. Приклад 2

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

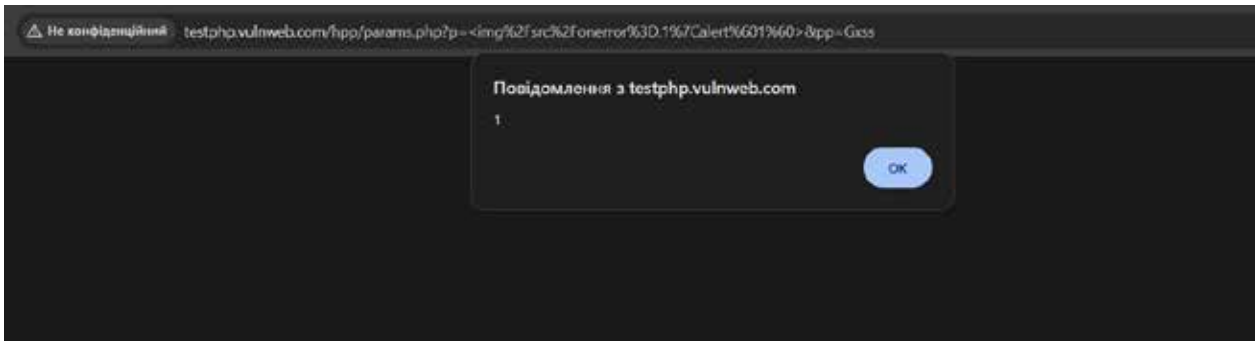

Рис. 10. Приклад 3

– Евристичний аналіз точок ін’єкції – аналіз стандартних параметрів (q=, search=, id=, page=) для підвищення точності виявлення XSS.

– Обхід WAF та обмежень – застосування wafw00f для визначення WAF та механізмів обходу обмежень (зміна заголовків, обфускація пейлоудів, ротація IP-адрес через Tor або проксі).

– Оптимізація продуктивності – використання багатопоточного режиму Dalfox та масштабування процесу сканування за допомогою asyncio.create_subprocess_exec().

– Автоматизація сповіщень – інтеграція зі службами Telegram, Discord, Slack для оперативного отримання інформації про знайдені вразливості.

– Розширення покриття тестування – паралельний запуск сканування на SQL Injection (SQLMap), SSRF, CSRF, Open Redirects та інші типи вразливостей.

Порівняння зі сканером Burp Suite professional. Burp Suite [37] є комплексним інструментом для оцінки безпеки вебзастосунків, який визнаний одним з найбільш потужних у своєму класі. За результатами опитувань серед пентестерів з усього світу 94% з них вважають Burp Suite найкращим інструментом для тестування безпеки. Такий інструмент дозволяє виконувати практично всі необхідні операції для повноцінного тестування на проникнення. У складі Burp Suite є як вбудований сканер для виявлення вразливостей, так і набір інструментів для ручного тестування. Проте варто зазначити, що доступ до сканера можливий лише у платній версії, вартість якої на поточний момент становить 449 доларів на рік.

Далі представлене порівняння ефективності нашого сканера з інструментом сканування Burp Suite. Для цього проведемо сканування на вразливість XSS на одному й тому ж цільовому домені (див. рис. 11–13).

Нижче представлено класичне відображення ідентифікованих вразливостей у програмному інтерфейсі Burp Suite. Для нашого прикладу знайдено 8 вразливих параметрів (див. рис. 11).

Приклад ручної перевірки окремого запиту та відповіді від сервера з успішно інжектованим пейлоудом у параметр *uuname* демонструє наявність вразливості до атак типу XSS. Це підтверджується наявністю успішно відкритого та закритого тегу `<script>`, що містить виклик функції `alert()` в HTML-коді (див. рис. 12).

Демонстрацію відпрацювання пейлоуду представлено на рис. 13.

У результаті проведеного тестування за допомогою Burp Suite було виявлено 8 вразливостей типу XSS. Сканування здійснювалося на вебресурсі http://testphp.vulnweb.com. Далі буде проведено порівняння ключових функціональних характеристик вибраних інструментів для оцінки їх ефективності.

З огляду на дані, наведені в таблиці, можна зробити висновок щодо ефективності розробленого агента-сканера порівняно з просунутим комерційним сканером Burp Suite. Перевагами агента-сканера

Time	Source	Issue type	Host	Path	Insertion point	Severity	Confidence
17:15...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/secured/newuser.php	uaddress parameter	High	Certain
17:15...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/secured/newuser.php	uphone parameter	High	Certain
17:11...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/hpp/	pp parameter	High	Certain
17:05...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/hpp/params.php	p parameter	High	Certain
17:05...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/secured/newuser.php	uemail parameter	High	Certain
17:05...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/secured/newuser.php	ucc parameter	High	Certain
17:05...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/secured/newuser.php	urname parameter	High	Certain
17:04...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/secured/newuser.php	uuname parameter	High	Certain
17:12...	Task 9	Cross-site scripting (reflected)	http://testphp.vulnweb.com	/showimage.php	file parameter	Information	Certain

Рис. 11. Знайдені вразливості сканером Burp Suite

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

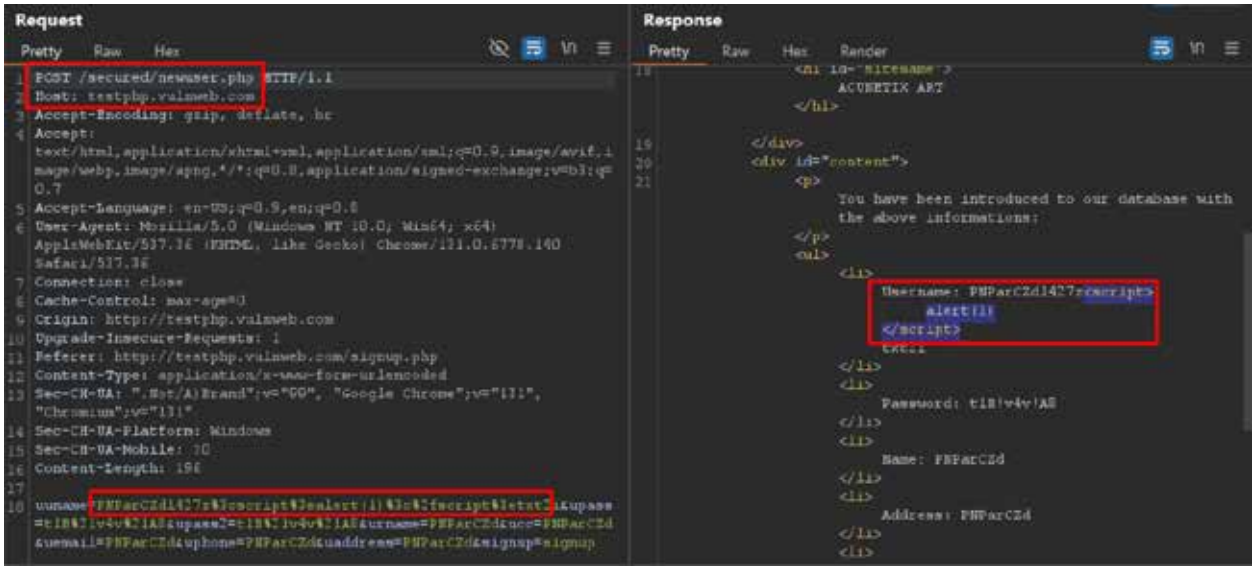

Рис. 12. Приклад запиту та відповіді із PoC

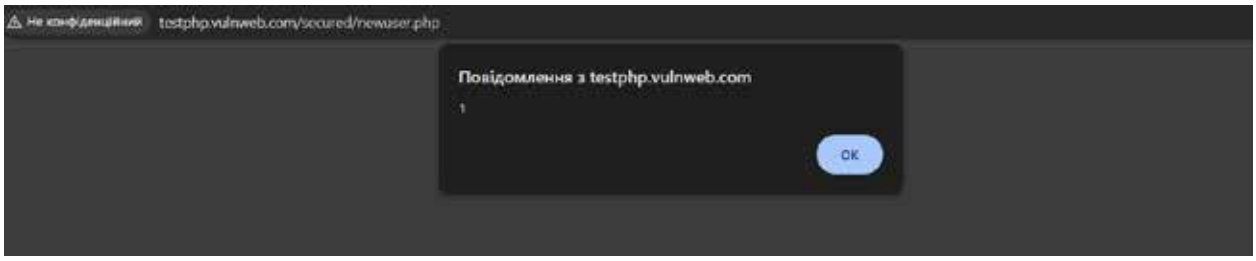

Рис. 13. Відпрацювання функції alert

Табл. 1. Порівняння агента-сканера та сканера Burp Suite

Критерій	Агент-сканер	Burp Suite сканер
Вартість	безкоштовно	449 $ на рік
Кількість ідентифікованих вразливих параметрів	6	8
Типи XSS	Reflected, DOM Based, Stored	Reflected, DOM Based, Stored
Вбудований краулер	Так	Так
Час краулінгу	< 1 хв	< 5 хв
Час сканування	< 5 хв	> 11 хв
True-positive	80–90%	85–95%
Зручність користування	Зручний	Зручний
Обхід захисних механізмів	Автоматичний	Із доналаштуваннями
Звітування	Тільки PoC	Повний звіт
Масштабованість	Висока, оптимізований для обробки великих обсягів даних за допомогою SPADE	Висока, здатен працювати з великими вебзастосунками, потребує більших апаратних ресурсів
Продуктивність на великих вебзастосунках	Висока продуктивність, оптимізовано для великих вебзастосунків	Висока продуктивність у разі налаштування та оптимізації

ТЗ. №4(36)'2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

є його швидкість, здатність до обходу захисних механізмів та відсутність вартості. Обидва сканери виявили вразливі параметри, які не були знайдені іншим інструментом, що свідчить про їхню доповнювальність. Так, Burp Suite виявив вразливість, яку не знайшов агент-сканер, і навпаки. Отже, для досягнення більш ефективних результатів під час тестувань доцільно використовувати їх разом за можливості. Для отримання більш точних результатів необхідне подальше глибоке дослідження на різних цільових доменах.

Висновки

У результаті проведеного дослідження був розроблений агент-сканер для тестування на проникнення вебзастосунків, що включає автоматизоване виявлення вразливостей типу XSS. Модель агента успішно протестована на вразливому вебресурсі, що дозволило оцінити її ефективність у реальних умовах та порівняти з просунутим комерційним аналогом Burp Suite.

Ефективність запропонованого підходу підтверджена результатами сканування, які продемонстрували переваги агента-сканера, серед яких –швидкість роботи, здатність обходити захисні механізми та відсутність вартості. Мультиагентна система забезпечила високу гнучкість у процесі створення робочої моделі та дозволила автоматизувати окремі етапи пентестингу, що значно скоротило час, необхідний для проведення перевірок безпеки.

Важливим результатом є можливість подальшого вдосконалення цієї технології через інтеграцію нових агентів для виявлення інших типів вразливостей, а також застосування машинного навчання для адаптації агентів до нових загроз. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення застосування мультиагентних систем у пентестингу та їх інтеграцію з іншими методами захисту вебзастосунків, такими як аналіз поведінки користувачів та інтелектуальні системи попередження атак.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно цього дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Kravari K. and Bassiliades N. A survey of agent platforms. J. Artif. Soc. Soc. Simul., vol. 18, 2015. DOI: 10.18564/jasss.2661.

[2] Gilbert N. and Bankes S. Platforms and methods for agent-based modeling. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., vol. 99, pp. 7197–7198, May 2002. DOI: 10.1073/PNAS.072079499.

[3] Railsback S., Lytinen S., and Jackson S. Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations. Simulation, vol. 82, pp. 609–623, Sep. 2006. DOI: 10.1177/0037549706073695.

[4] Pal C.-V., Leon F., Paprzycki M., and Ganzha M. A review of platforms for the development of agent systems. Inf., vol. 14, p. 348, Jul. 2020. DOI: 10.3390/info14060348.

[5] Maneva R. Development of agent platform architecture for intelligent analysis of business processes. Bionics of Intelligence, 2020. DOI: 10.30837/bi.2020.1(94).09.

[6] Bragin A. Modern software tools for agent-based modeling. Artificial Societies, 2022. DOI: 10.18254/s207751800023501-0.

[7] Vrba P. JAVA-based agent platform evaluation. Sep. 2003, pp. 47–58. DOI: 10.1007/978-3-540-45185-3_5.

[8] Puliafito A., Tomarchio O., and Vita L. MAP: Design and implementation of a mobile agents' platform. J. Syst. Archit., vol. 46, pp. 145–162, Jan. 2000. DOI: 10.1016/S1383-7621(98)00076-9.

[9] Cabral L. Towards a theory of platform dynamics. ERN: Other Organizations & Markets: Personnel Management (Topic), Jul. 2018. DOI: 10.1111/jems.12312.

[10] Altmann D. and Gruber A. Using mobile agents in real world: A survey and comparison of different approaches. Semantic Scholar. [Online]. URL: https://surl.gd/tijhjn.

[11] Pan K., Lyu Y., and Pan Q. Adaptive formation for multiagent systems subject to denial-of-service attacks. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 69, pp. 3391–3401, Aug. 2022. DOI: 10.1109/TCSI.2022. 3168163.

[12] Catta D., Leneutre J., Malvone V., and Murano A. Obstruction alternating-time temporal logic: A strategic logic to reason about dynamic models. pp. 271–280, 2024. DOI: 10.5555/3635637.3662875.

[13] Cavalcante R., Bittencourt I., Silva A., Silva M., Costa E., and Santos R. A survey of security in multi-agent systems. Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 4835–4846, Apr. 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.130.

[14] Yang X., Yang L., Dong L., Jin W.-H., Zhang M., Yang F., and Lin Y. Consensus tracking control for uncertain non-strict feedback multi-agent system under cyber-attack via resilient neuroadaptive approach. International Journal of Robust and Nonlinear Control, vol. 32, pp. 4251–4280, Feb. 2022. DOI: 10.1002/rnc.6035.

[15] Dorri A., Kanhere S., and Jurdak R. Multi-agent systems: A survey. IEEE Access, vol. 6, pp. 28573–28593, Apr. 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2831228.
[16] Ahmed M., Kazar O., and Harous S. Cyber-physical system model based on multi-agent system. IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications, Jun. 2024. DOI: 10.1049/cps2.12096.
[17] Kantamneni A., Brown L., Parker G., and Weaver W. Survey of multi-agent systems for microgrid control. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 45, pp. 192–203, Oct. 2015. DOI: 10.1016/ j.engappai.2015.07.005.
[18] Gonçalves E., Cortés M., Campos G., Lopes Y.S., Freire E., Silva V., Oliveira K., and De Oliveira M.A. MAS-ML 2.0: Supporting the modelling of multi-agent systems with different agent architectures. Journal of Systems and Software, vol. 108, pp. 77–109, Oct. 2015. DOI: 10.1016/ j.jss.2015.06.008.
[19] Calvaresi D., Appoggetti K., Lustrissimini L., Marinoni M., Sernani P., Dragoni A., and Schumacher M. Multi-agent systems' negotiation protocols for cyber-physical systems: Results from a systematic literature review. Pp. 224–235, 2018. DOI: 10.5220/0006594802240235.
[20] Binyamin S. and Slama S. Multi-agent systems for resource allocation and scheduling in a smart grid. Sensors, vol. 22, Oct. 2022. DOI: 10.3390/s22218099.
[21] Valentina A., Vishwashri R., and Rajadurai S. Finding Vulnerability in Web Application by using Pentesting. Int. J. Multidiscip. Res., 2024. DOI: 10.36948/ijfmr.2024.v06i04.24517.
[22] Olivares-Naya M., de Gracia J.C., and S'anchez-Maci'an A. Adding web pentesting functionality to PTHelper. ArXiv, vol. abs/2410.12422, 2024. [Online]. URL: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:273375081.
[23] De Lima L., Horstmann M., Neto D., Grégio A., Silva F., and Peres L. On the Challenges of Automated Testing of Web Vulnerabilities. In 2020 IEEE 29th Int. Conf. Enabling Technol. Infrastruct. Collaborative Enterprises (WETICE), 2020, pp. 203–206. DOI: 10.1109/WETICE49692.2020.00047.
[24] Wijaya Y. Web-Based Dashboard for Monitoring Penetration Testing Activities Based on OWASP Standards. J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Inform., 2020. DOI: 10.26555/jiteki.v16i1.17019.
[25] Doupé A., Cova M., and Vigna G. Why Johnny Can't Pentest: An Analysis of Black-Box Web Vulnerability Scanners. 2010, pp. 111–131. doi: 10.1007/978-3-642-14215-4_7.
[26] Vimala K. and Fugkeaw S. VAPE-BRIDGE: Bridging OpenVAS Results for Automating Metasploit Framework. In 2022 14th Int. Conf. Knowl. Smart Technol. (KST), 2022, pp. 69–74. DOI: 10.1109/KST53302.2022.9729085.
[27] Albahar M., Alansari D., and Jurcut A. An Empirical Comparison of Pen-Testing Tools for Detecting Web App Vulnerabilities. Electronics, 2022. DOI: 10.3390/electronics11192991.
[28] Addressing Web Application Security Issues and Vulnerabilities Assessment Pen Testing. Int. J. Recent Technol. Eng., 2020. DOI: 10.35940/ijrte.f8169.038620.
[29] Al-Ahmad A., Ata B., and Wahbeh A. Pen Testing for Web Applications. Int. J. Inf. Technol. Web Eng., vol. 7, pp. 1–13, 2012. DOI: 10.4018/jitwe.2012070101.
[30] Bertoglio D.D., Gil A., Acosta J., Godoy J., Lunardi R., and Zorzo A. Towards new challenges of modern Pentest. ArXiv, vol. abs/2311.12952, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2311.12952.
[31] Bots: Introduction. Telegram. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/ffcfcx. Дата звернення: 20.02.2025.
[32] Discovery P. Katana. GitHub. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/tsgljg. Дата звернення: 20.02.2025.
[33] K.P., Gxss. GitHub. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/bnuefy. Дата звернення: 20.02.2025.
[34] H. W., Dalfox. GitHub. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/plpdtk. Дата звернення: 20.02.2025.
[35] Content Security Policy. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/gpihew. Дата звернення: 20.02.2025.
[36] Web application firewall. Wikipedia. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/efjsff. Дата звернення: 20.02.2025.
[37] Burp Suite. PortSwigger. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/kteluz. Дата звернення: 20.02.2025.
[38] SPADE-MAS. Read the Docs. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/uguutq. Дата звернення: 20.02.2025.

AUTOMATED XSS VULNERABILITY DETECTION IN WEB APPLICATIONS BASED ON A MULTI-AGENT APPROACH

Vladyslav Kravchuk, Nataliya Maslova, Iaroslav Dorogyy

With the development of information technologies and the increasing volume of sensitive data processing on the Internet, web applications have become a crucial part of modern business processes. However, with this growth, the number of cyber threats also increases, posing the challenge for organizations to ensure the security of their web resources. One of the primary methods of protection is penetration testing, which allows vulnerabilities to be identified by simulating real attacks. This article explores the use of multi-agent systems (MAS) for automating the penetration testing process, specifically for detecting XSS vulnerabilities.

Penetration testing is a vital step in ensuring the security of web applications, encompassing several stages: initial analysis, vulnerability identification, exploitation of vulnerabilities, and evaluating the consequences of an attack. Common vulnerabilities, such as XSS, are key targets in penetration testing because they can be easily exploited to compromise a system. However, traditional penetration testing methods often have limited ability to adapt quickly to new attacks, making them less effective.

ТЗ. №4(36)'2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

Considering these limitations, this paper proposes the use of multi-agent systems to automate penetration testing. This approach allows different tasks to be executed in parallel, significantly enhancing the effectiveness of the process. A developed agent-scanner for detecting XSS vulnerabilities was tested on a vulnerable web resource, enabling the evaluation of the model's effectiveness. The results showed that the multi-agent approach allows for faster and more accurate vulnerability detection compared to traditional methods. Moreover, this approach provides high flexibility and adaptability to new cyber threats.

Overall, the study confirms that the use of multi-agent systems can significantly improve the effectiveness of penetration testing for web applications. Future research may focus on expanding the capabilities of such systems by integrating new agents for detecting other types of vulnerabilities and using machine learning techniques to adapt the agents to new threats.

Keywords: *multi-agent systems, penetration testing, XSS vulnerabilities, automated detection, web security.*

REFERENCES

[1] Kravari K. and Bassiliades N. A survey of agent platforms. J. Artif. Soc. Soc. Simul., vol. 18, 2015. DOI: 10.18564/jasss.2661.

[2] Gilbert N. and Bankes S. Platforms and methods for agent-based modeling. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., vol. 99, pp. 7197–7198, May 2002. DOI: 10.1073/PNAS.072079499.

[3] Railsback S., Lytinen S., and Jackson S. Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations. Simulation, vol. 82, pp. 609–623, Sep. 2006. DOI: 10.1177/0037549706073695.

[4] Pal C.-V., Leon F., Paprzycki M., and Ganzha M. A review of platforms for the development of agent systems. Inf., vol. 14, p. 348, Jul. 2020. DOI: 10.3390/info14060348.

[5] Maneva R. Development of agent platform architecture for intelligent analysis of business processes. Bionics of Intelligence, 2020. DOI: 10.30837/bi.2020.1(94).09.

[6] Bragin A. Modern software tools for agent-based modeling. Artificial Societies, 2022. DOI: 10.18254/s207751800023501-0.

[7] Vrba P. JAVA-based agent platform evaluation. Sep. 2003, pp. 47–58. DOI: 10.1007/978-3-540-45185-3_5.

[8] Puliafito A., Tomarchio O., and Vita L. MAP: Design and implementation of a mobile agents' platform. J. Syst. Archit., vol. 46, pp. 145–162, Jan. 2000. DOI: 10.1016/S1383-7621(98)00076-9.

[9] Cabral L. Towards a theory of platform dynamics. ERN: Other Organizations & Markets: Personnel Management (Topic), Jul. 2018. DOI: 10.1111/jems.12312.

[10] Altmann D. and Gruber A. Using mobile agents in real world: A survey and comparison of different approaches. Semantic Scholar. [Online]. URL: https://surl.gd/tijhjn.

[11] Pan K., Lyu Y., and Pan Q. Adaptive formation for multiagent systems subject to denial-of-service attacks. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 69, pp. 3391–3401, Aug. 2022. DOI: 10.1109/TCSI.2022. 3168163.

[12] Catta D., Leneutre J., Malvone V., and Murano A. Obstruction alternating-time temporal logic: A strategic logic to reason about dynamic models. pp. 271–280, 2024. DOI: 10.5555/3635637.3662875.

[13] Cavalcante R., Bittencourt I., Silva A., Silva M., Costa E., and Santos R. A survey of security in multi-agent systems. Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 4835–4846, Apr. 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.130.

[14] Yang X., Yang L., Dong L., Jin W.-H., Zhang M., Yang F., and Lin Y. Consensus tracking control for uncertain non-strict feedback multi-agent system under cyber-attack via resilient neuroadaptive approach. International Journal of Robust and Nonlinear Control, vol. 32, pp. 4251–4280, Feb. 2022. DOI: 10.1002/rnc.6035.

[15] Dorri A., Kanhere S., and Jurdak R. Multi-agent systems: A survey. IEEE Access, vol. 6, pp. 28573–28593, Apr. 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2831228.

[16] Ahmed M., Kazar O., and Harous S. Cyber-physical system model based on multi-agent system. IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications, Jun. 2024. DOI: 10.1049/cps2.12096.

[17] Kantamneni A., Brown L., Parker G., and Weaver W. Survey of multi-agent systems for microgrid control. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 45, pp. 192–203, Oct. 2015. DOI: 10.1016/ j.engappai.2015.07.005.

[18] Gonçalves E., Cortés M., Campos G., Lopes Y.S., Freire E., Silva V., Oliveira K., and De Oliveira M.A. MAS-ML 2.0: Supporting the modelling of multi-agent systems with different agent architectures. Journal of Systems and Software, vol. 108, pp. 77–109, Oct. 2015. DOI: 10.1016/j.jss.2015.06.008.

[19] Calvaresi D., Appoggetti K., Lustrissimini L., Marinoni M., Sernani P., Dragoni A., and Schumacher M. Multi-agent systems' negotiation protocols for cyber-physical systems: Results from a systematic literature review. Pp. 224–235, 2018. DOI: 10.5220/0006594802240235.

[20] Binyamin S. and Slama S. Multi-agent systems for resource allocation and scheduling in a smart grid. Sensors, vol. 22, Oct. 2022. DOI: 10.3390/s22218099.

[21] Valentina A., Vishwashri R., and Rajadurai S. Finding Vulnerability in Web Application by using Pentesting. Int. J. Multidiscip. Res., 2024. doi: 10.36948/ijfmr.2024.v06i04.24517.

[22] Olivares-Naya M., de Gracia J.C., and S'anchez-Maci'an A. Adding web pentesting functionality to PTHelper. ArXiv, vol. abs/2410.12422, 2024. [Online]. URL: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:273375081.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).324435

[23] De Lima L., Horstmann M., Neto D., Grégio A., Silva F., and Peres L. On the Challenges of Automated Testing of Web Vulnerabilities. In 2020 IEEE 29th Int. Conf. Enabling Technol. Infrastruct. Collaborative Enterprises (WETICE), 2020, pp. 203–206. DOI: 10.1109/WETICE49692.2020.00047.

[24] Wijaya Y. Web-Based Dashboard for Monitoring Penetration Testing Activities Based on OWASP Standards. J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Inform., 2020. DOI: 10.26555/jiteki.v16i1.17019.

[25] Doupé A., Cova M., and Vigna G. Why Johnny Can’t Pentest: An Analysis of Black-Box Web Vulnerability Scanners. 2010, pp. 111–131. doi: 10.1007/978-3-642-14215-4_7.

[26] Vimala K. and Fugkeaw S. VAPE-BRIDGE: Bridging OpenVAS Results for Automating Metasploit Framework. In 2022 14th Int. Conf. Knowl. Smart Technol. (KST), 2022, pp. 69–74. DOI: 10.1109/KST53302.2022.9729085.

[27] Albahar M., Alansari D., and Jurcut A. An Empirical Comparison of Pen-Testing Tools for Detecting Web App Vulnerabilities. Electronics, 2022. DOI: 10.3390/electronics11192991.

[28] Addressing Web Application Security Issues and Vulnerabilities Assessment Pen Testing. Int. J. Recent Technol. Eng., 2020. DOI: 10.35940/ijrte.f8169.038620.

[29] Al-Ahmad A., Ata B., and Wahbeh A. Pen Testing for Web Applications. Int. J. Inf. Technol. Web Eng., vol. 7, pp. 1–13, 2012. DOI: 10.4018/jitwe.2012070101.

[30] Bertoglio D.D., Gil A., Acosta J., Godoy J., Lunardi R., and Zorzo A. Towards new challenges of modern Pentest. ArXiv, vol. abs/2311.12952, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2311.12952.

[31] Bots: Introduction. Telegram. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/ffcfcx. Accessed: 20.02.2025.

[32] Discovery P. Katana. GitHub. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/tsgljg. Accessed: 20.02.2025.

[33] K.P., Gxss. GitHub. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/bnuefy. Accessed: 20.02.2025.

[34] H. W., Dalfox. GitHub. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/plpdtk. Accessed: 20.02.2025.

[35] Content Security Policy. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/gpihew. Accessed: 20.02.2025.

[36] Web application firewall. Wikipedia. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/efjsff. Accessed: 20.02.2025.

[37] Burp Suite. PortSwigger. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/kteluz. Accessed: 20.02.2025.

[38] SPADE-MAS. Read the Docs. [Онлайн]. URL: https://surl.gd/uguutq. Accessed: 20.02.2025.

ТЗ. №4(36)'2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

Телекомунікаційні системи та мережі

УДК 004.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ЗАТРИМОК У МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

І.М. Чистик[1]
[1] *Department of Automation and Telecommunications, Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine*

E-mail: ivan.chystyk@donntu.edu.ua

АНОТАЦІЯ

У цій роботі пропонується розглянути основні типи моделей затримок, що виникають і, що важливо, негативно впливають на показники ефективності і продуктивності роботи мережевих систем управління, а здебільшого призводять до збоїв і навіть відмов у роботі. Як і для всіх інших видів систем управління, для мережевих систем управління також дуже важливими є стабільність роботи, точність і швидкість виконання процесів і алгоритмів, високі показники безпеки, доступність і гнучкість та низка інших вимог. І все це досягається шляхом постійного вивчення і вдосконалення технологій, пошуком нових і нестандартних рішень і також постійними дослідженнями в галузі.

Як нам уже відомо, мережеві системи управління (Networked control system), виходячи навіть з назви, передбачають наявність мереж у своїх контурах управління, що своєю чергою призводить до появи низки проблем, які характерні мережевим технологіям. Таких проблем як, наприклад, випадкові затримки чи втрата пакетів або передача декількох пакетів за раз.

Слід зазначити, що зазвичай найбільше уваги під час дослідження цього питання приділяється саме проблемам, що спричинені випадковими затримками, тому що вони можуть за наявності привести також і до появи інших проблем, що були зазначені вище. Тому для зменшення негативного впливу цих випадкових затримок, які призводять до зменшення показників ефективності роботи мережевих систем управління та нестабільності в їх роботі, з'являється потреба у встановленні математичної моделі випадкових затримок перед створенням компенсуючого елементу. І моделювання мережевих систем управління у разі правильного підходу і вибору вдалих рішень і методів моделювання дає змогу вирішити питання наявності недосконалостей і проблем, що пов'язані з такою технологією.

Ключові слова: *випадкові затримки, моделювання, мережеві системи управління, ланцюг Маркова, стохастична модель, прихована модель Маркова.*

Вступ

Постійний розвиток і зростання використання технологій зв'язку й управління останнім часом призвели і до розвитку мережевих систем управління. Як відомо, мережеві системи управління являють собою зазвичай розподілені системи управління із замкнутим контуром управління, який замикається за допомогою мережі зв'язку, поєднуючи датчики контролерів і виконавчі механізми. Якщо порівняти з більш традиційною системою управління, що працює за принципом з'єднання «точка-точка», то використання NCS дозволяють суттєво зменшити кількість проводів, зменшити вартість системи, покращити процес діагностики, налагодження і обслуговування системи, збільшити її гнучкість і надійність [1]. Через усі ці переваги можна пояснити збільшення популярності використання мережевих систем управління у різних середовищах.

Звичайно, не потрібно забувати і про наявні недоліки такої технології, що пов'язані з обмеженою пропускною здатністю в мережах зв'язку, що призводить до появи випадкових затримок. Інформація, що передається в мережі, може надходити до різних вузлів із різними затримками, що призводить до того,

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

що один пакет може надійти до пункту призначення раніше або пізніше, ніж це було заплановано. Загалом, втрати пакетів, передача мультипакетів, а також порушення порядку передачі пакетів [2] здебільшого зумовлені випадковими затримками, а вони залежать, наприклад, від перенавантаження мережі, конфлікту між вузлами та ін.

Можна виділити два основних типи випадкових затримок – затримку від датчика до контролера (затримка SC) у зворотному каналі мережі і затримку між контролером і виконавчим механізмом (затримка CA). І загалом було запропоновано використовувати чотири типи методів моделювання для випадкових затримок.

Матеріали та методи досліджень

У цій роботі було використано методи структурного і порівняльного аналізів. Було досліджено наукову і методичну літератури з використанням інформаційного та аналітичного підходів, також використано низку онлайн-ресурсів для отримання інформації з тематики дослідження.

Результати досліджень

Модель постійної затримки

Початкові дослідження мережевих систем управління пов’язані з моделюванням випадкових затримок як константи, оскільки на цьому етапі було важко отримувати характеристику розподілу затримок. У цьому випадку у вузлі контролера створюється буфер приймача, при цьому розмір самого буфера такий, як максимальна затримка SC (або CA) [3; 4], залежно від конфігурації. Таким чином, ми маємо можливість розглядати мережеві системи управління як детерміновану систему [5; 6], застосовуючи сюди методи детермінованого управління. Наприклад, ми можемо використовувати детермінований предиктор для компенсації затримки, який буде використовуватися для визначення вхідних станів налаштування, а спостерігач – для оцінки станів налаштування. І тоді ми використовуємо буфер «перший прийшов – першим вийшов» для збереження результатів попередніх вимірювань сигналу на виході, і інший такий буфер встановлюється вже для виконавчого механізму, щоб зберігати сигнали керування. Розміри буферів визначаються відповідно до максимального значення затримок. У такому випадку мережева система управління стає детермінованою, що значно полегшує процес управління.

У випадку наявності у системі комутованого Ethernet випадкові затримки мають невелику довжину і малу варіативність, тому доцільно її вважати як постійну, і використати детерміновані методи управління до мережевих систем управління, що замкнуті через комутований Ethernet як величину постійну. Таким чином, використання цього підходу призводить до збільшення випадкової затримки штучним шляхом, у результаті чого страждає продуктивність, що призводить до нестабільності системи [7; 8]. Саме тому більш доцільним і привабливим зараз виглядає дослідження стохастичних методів управління.

Взаємозалежна стохастична модель затримки

З огляду на вплив великої кількості факторів, таких як навантаження на мережу, конфлікт вузлів мережі, її перенавантаження та ін., такі затримки мають тенденцію бути стохастичними. Можна виділити дві категорії стохастичних моделей затримки – модель із взаємонезалежними затримками і модель із імовірно залежними затримками. У випадках, коли відношення імовірностей невідоме, використовують першу категорію управління.

Стохастичне управління

Модель системи, в якій маємо незалежні стохастичні затримки, кожна така затримка є окремою стохастичною змінною, і її розподіл описується стохастичною функцією. У разі використання подібної моделі для дослідження мережевих систем управління використовуються оптимальні підходи управління. Попередні дослідження [9] містили у собі розробки LQG-оптимального контролера для мережевої системи управління із взаємонезалежними стохастичними затримками. Пізніше було змодельовано як стохастичну систему, де передбачався розподіл випадкових затримок, який був відомий заздалегідь. Потім таке припущення було поставлене під сумнів використанням середнього показника затримки в мережі для мережевої системи управління з невідомим розподілом затримок, а також покращенням оптимального показника LQG [10].

З урахуванням попередніх досліджень створюються стохастичні оптимальні контролери, що дають можливість отримати середньоквадратичну експоненціальну стабільність мережевої системи управління. Альтернативним рішенням можна вважати введення оптимального контролера за умови розв’язання рівняння Ріккаті, введення нового методу управління, де максимально допустима межа дається на основі умов стохастичної стійкості. Випадкові затримки можуть бути змодельовані як лінійна функція стохастичної змінної, що задовольняє розподіл Бернуллі [11], і задана характеристика загасання збурень досягається шляхом проєктування контролера на основі спостерігача, що гарантує стохастичну експоненціальну стабільність замкнутої системи.

Для MIMO-мережевих систем управління, що містять множинні незалежні стохастичні затримки стану, розробляється контролер оптимального лінійного квадратичного регулятора (LQR), що дає змогу компенсувати багаторазові тимчасові затримки [12].

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

Робастне, відмовостійке управління

Стохастична затримка може бути представлена як невизначеність або збурення мережевої системи управління, і після цього створюється контролер, що дозволить отримати надійну стійкість до відмов і забезпечить стабільну роботу NCS. Відмінність від стохастичного управління полягає в тому, що в цьому випадку немає потреби у характеристиках розподілу випадкових затримок. Випадкові затримки (SC або CA) розподіляються на дві частини. Перша частина виступає постійною затримкою, а друга – невизначена, і трактується як мультиплікативне збурення мережевої системи управління. В такому випадку необхідно створити робастний контролер безперервного часу із використанням μ-синтезу [13]. Нова модель системи дискретного часу перемикання для опису мережевої системи управління з випадковими затримками дає можливість отримати достатні умови для стабільної роботи і необхідних показників продуктивності NCS. Також ця умова дає можливість встановити залежність між тривалістю затримки і частотою зміни цієї затримки та продуктивністю системи.

Використовуючи функціональний метод Ляпунова-Красовського, можна провести аналіз продуктивності та дослідити проблему управління невизначених мережевих систем управління із затримками і втратами пакетів. Аналіз продуктивності виконується шляхом введення деяких змінних матриці згладжування і використовується інформація про нижню межу затримок. У такому випадку контролер розробляється шляхом розв’язання множини лінійних матричних нерівностей. Більш доцільним слід вважати рішення, також засноване на методі Ляпунова-Красовського, але в якому використовується інформація як про нижню, так і про верхню межі затримок [14]. Таке рішення менш консервативне і дозволяє уникнути використання методу перетворення моделі і обмежень для деяких перехресних термінів функції Ляпунова-Красовського і введення змінних матриці згладжування.

У випадку наявності хаотичної передачі пакетів у мережевій системі управління може бути використаний останній керуючий закон у разі отримання пакета. Мережева система може бути змодельована як дискретна система з невизначеними параметрами і багаторівневими затримками на основі матричної теорії і в результаті розробляється контролер стабілізації і розв’язується задача з мінімізації на основі лінійних матричних нерівностей.

Також стохастична затримка може бути розглянута як різновид невизначеності мережевої системи управління, розробляється контролер за допомогою μ-синтезу [15]. Якщо стохастична затримка невідома, обмежена і змінюється в часі, отримується межа надійної стійкості, метод розрахунку максимально допустимої межі затримки. Детермінована інформація з поточної часової позначки і стохастична інформація з попередніх часових позначок використовуються для проєктування контролера. Залежно від мережевого трафіку за допомогою введення двох алгоритмів – алгоритму генерації шаблонів і алгоритму ідентифікації образів. Перший класифікує автономний мережевий трафік за деякими окремими шаблонами для отримання менш консервативної мережевої системи управління, а другий виконує пошук у реальному часі шаблону, що представляє нещодавній мережевий трафік для роботи цього контролера.

Управління з прогнозуванням

Одним із раціональних підходів для управління мережевими системами управління є управління з прогнозуванням. Він підходить для складних динамічних систем з невизначеними моделями і базується на багаторівневому тестуванні, процесі оптимізації ковзання та контролі над налаштуваннями зворотного зв’язку. Загалом конфігурація мережевої системи управління з прогнозуванням має два ключові елементи – генератор прогнозування і компенсатор мережевої затримки. Далі майбутні прогнози керування відповідають необхідним показникам продуктивності системи завдяки використанню звичних методів керування, наприклад, PID чи LQG. У випадку використання останнього компенсується випадкова затримка шляхом вибору останнього контрольного значення із відомих послідовностей керування з прогнозуванням, що доступні на стороні встановлення. Таким чином, керування з прогнозуванням знайшло доволі широке застосування на практиці в мережевих системах Хаммерштейна [16] і мережевих системах Вінера [17].

Слід зазначити, що в реальних системах отримати контрольні дані складно через наявність затримок і використання відстрочених контрольних є не зовсім правильним рішенням. Тому можливе використання більш вдосконаленого контролеру з прогнозуванням, що використовує дані уповільненого зондування, який легше реалізувати на практиці. Також у будь-який момент часу контролер не дає інформації про вхідний сигнал управління в майбутньому часі через стохастичність мережевих затримок. Використання оцінювального входу контролю майбутнього часу замість реального може викликати проблему, де похибка в оцінці вплине на точність предиктору і може викликати збій у роботі [18]. Тому можна виділити окремий підхід до проєктування мережевого управління з прогнозуванням шляхом інкапсуляції поточного входу прогнозуючого управління із входом історії прогнозування. Таким чином, продуктивність і стабільність не залежать від витрат установки.

Мережевий підхід до управління з прогнозуванням звичайної замкнутої системи в комутовану,

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

стабільність якої гарантується виходячи з умови, що всі її підсистеми мають загальну функцію Ляпунова у разі випадкового перемикання. Проте така умова занадто строга на практиці, оскільки деякі значення можуть бути недоречними з точки зору показників стабільності системи. Більш досконале рішення можна отримати за рахунок призначення підсистеми проєктування сигналу перемикання. Середній час затримки пропонується як ефективний інструмент для знаходження сигналу перемикання, де загальна функція Ляпунова не є необхідною для стабільності всієї системи навіть за умови існування нестабільних підсистем. Є також можливість поєднати управління з прогнозуванням з технікою комутаційних функцій Ляпунова, де коефіцієнт посилення контролеру змінюється разом з випадковою затримкою, щоб мати можливість отримати замкнуту систему, яка буде асимтотично стійка з межею H_∞ норми. Також можлива схема управління з прогнозуванням [19], що заснована на багатошвидкісній фільтрації Калмана, що слугує для компенсації випадкових затримок і втрати пакетів у каналі зворотного зв’язку мережевої системи управління.

Модель ланцюга Маркова

Оскільки не завжди стохастичні затримки є взаємозалежними, то наявні імовірнісні залежності між затримками, наприклад, розподіл Бернуллі або ж ланцюг Маркова. І дослідженням з моделювання останнього було приділено дуже багато уваги та присвячено велику кількість робіт. Загалом, можна виділити два види затримок, як зазначалось у цій роботі раніше, – затримки SC і затримки CA, тому більшість методів також можна поділити на дві категорії. Перша категорія враховує затримки або затримки SC, або CA, а друга враховує обидві, і другу можна розділити на дві підкатегорії: перший варіант використовує один ланцюг Маркова для моделювання суми затримки SC і CA, а другий варіант використовує два ланцюги Маркова для імітації кожної із затримок.

Урахування затримок S-C затримок або C-A затримок

Мережева система управління на основі марковської моделі затримки може бути змодельована як дискретна в часі лінійна система стрибків, і для створення комутаційних і некомутаційних зворотних зв’язків можливе використання алгоритму ітерації [20]. Таким чином, марковські стани є повністю спостережувані, проте доступ до них може бути обмеженим, і в деяких ситуаціях може зробити недоступними для контролера. На практиці важко отримати точну матрицю імовірностей для переходу ланцюга затримки SC. Врахування політопної невизначеності в матриці імовірностей переходу ланцюга Маркова із розгляданням і затримки SC, і втрати пакетів дає змогу виправити зазначену вище проблему. Задача надійного виявлення несправностей перетворюється на допоміжну задачу надійної фільтрації і дає змогу встановити достатню умову для існування фільтру виявлення несправностей в умовах лінійних нерівностей матриць. Під час дослідження затримки марковської моделі з урахуванням втрати пакетів і невизначеності мережевої системи управління втрати пакетів компенсуються, також ставиться умова для існування рівня загасання перешкод. Мережева система управління може бути змодельована як лінійна система скачків Маркова [21], а контролер робиться з використанням методів квантування затримки і вектора доповненого контролера.

Врахування затримок S-C затримок і C-A затримок

Зазвичай затримки обох типів існують разом у мережевих системах управління. Тому в низці досліджень вони об’єднуються в одну затримку. Розробляється контролер, що повинен задовольняти показники продуктивності. Може бути використаний метод розрахунку матриці переходу марковського контуру. Затримка від датчика до механізму, яка складається з двох відомих затримок, а також час обчислення в контролері дуже маленький, то моделюється у вигляді марковського ланцюга. Модель Такагі-Сугєно (TC) може використовуватись для представлення мережевої системи управління з усіма можливими затримками. Застосовуючи метод моделювання на основі TC для виявлення недоліків NCS, можна створити підхід, що засновується на парності і підхід нечіткого спостерігача [22]. Модель перетворюється на форму зворотного зв’язку на виході, вводиться метод виявлення на основі спостерігача для нелінійних мережевих систем управління з марковськими затримками від датчика до виконавчого механізму.

Для того щоб система була асимтотично стабільна при послідовних стохастичних збуреннях, наприклад, при відмовах виконавчих органів, випадкових затримках, використовується вдосконалений ітераційний алгоритм. Для систем з множинними недоліками і затримками марковського ланцюга від датчика до виконавчого механізму створюється фільтр ізоляції недоліків із встановленими параметрами, що відповідають обмеженням на загасання збурень H_∞ і призначення полюсів у межах лінійної системи скачків Маркова. В такому випадку зазвичай призначається матриця переходу фіксованого стану, але створений контролер може не виконати задачу зі стабілізації мережевої системи управління під час зміни затримок у періоди навантаження на мережу.

У деяких ситуаціях неможливо поєднати затримку в один єдиний ланцюг Маркова, тому виникає необхідність моделювати два ланцюги Маркова. Тому можна змоделювати ці два ланцюги і отримати замкнуту лінійну систему з двома модами.

ТЗ. №4(36)'2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

Контролер, який залежить від режиму зі зворотним зв'язком зі станом з коефіцієнтом підсилення, також залежить від затримки SC і від попередньої затримки CA. Слід зазначити, що затримка CA не завжди доступна, затримка SC також впливає і на передачу значення цієї затримки під час передачі цього значення мережею.

У випадках, коли випадкові затримки мають марковські властивості, досягти управління з прогнозуванням мережевих систем управління можна шляхом отримання замкнутої системи, яка в підсумку перетворюється на ступінчасту лінійну систему з двома режимами і контролером з прогнозуванням з моделлю зворотного зв'язку для забезпечення стохастичної стабільності замкнутої системи.

Прихована модель Маркова

Як зазначалося на початку цієї роботи, затримки, що спричинені мережею, є випадковими через вплив різних стохастичних факторів. Усі ці фактори можна об'єднати в одну абстрактну і приховану зміну, що позначатиме стан мережі. В результаті стан мережі регулює розподіл затримок, стрибок режимів задовольняє властивостям Маркова, що дозволяє моделювати стан мережі як ланцюг Маркова. І це має бути прихований ланцюг Маркова, тому що сам стан мережі ми не можемо спостерігати безпосередньо, а можемо оцінити через спостереження за затримкою. Зв'язком між станом і затримкою є прихована модель Маркова, в ній стан мережі визначає стохастичний розподіл затримок, і затримки використовуються як зонди для висновку про модель і оцінку прихованих станів мережі [23].

На основі прихованої моделі Маркова мережева система управління може розглядатися як система лінійних стрибків, і для забезпечення стабільності необхідно використання оптимального контролера LQG. Затримки від датчика до механізму розглядаються як інтервальні змінні, що керуються ланцюгом Маркова. Заснований на інтервалах різних режимів такий об'єкт перетворюється на дискретну систему стрибків з нормалізованими невизначеностями, і контролер зворотного зв'язку для стану H_∞ створюється з використанням набору лінійних матричних нерівностей.

У тих випадках, коли затримки SC і CA обидві присутні у системі, використовуються дві приховані системи Маркова для моделювання стану мережі «датчик-контролер» і «контролер-виконавчий механізм» [24]. В результаті є дві приховані моделі Маркова – одна для залежності між SC і станом мережі «датчик-контролер», а інша для зв'язку затримки CA і мережі «контролер-виконавчий механізм».

З метою отримання менш консервативних результатів вводять матриці з вільною вагою з використанням формули Ньютона-Лейбніца для уникнення оцінки деяких перехресних членів функції Ляпунова-Красовського. В загальному випадку алгоритм Баума-Велча (алгоритм максимізації очікування) можна використати для оцінки параметрів затримок прихованої моделі Маркова мережевою системою управління. В реальних системах затримки в деяких випадках рівномірно розподіляються по інтервалу затримки, тобто при квантуванні затримок деякі централізовані затримки мають бути визначені як одне і те ж значення спостереження.

Висновки

Мережеві системи управління є актуальною галуззю дослідження з різноманітними сферами застосування. Випадкові затримки можна назвати ключовою проблемою тематики мережевих систем управління. У цій роботі розглядаються підходи стосовно процесу моделювання випадкової затримки як константи, а компенсування цієї затримки базується здебільшого на детермінованих методах управління. З огляду на те, що затримка спричинена мережею, то часто змінною в часі чи випадковою, тому все більше уваги приділяється до прийняття стохастичної затримки без імовірних залежних відношень між затримками. Модель неімовірної затримки характеризується взаємонезалежними стохастичними затримками і використовується як стохастичне керування, так і робастне керування з прогнозуванням і інші способи компенсації затримок. В тих випадках, коли стохастичні затримки викликані великою кількістю факторів у мережі, то ці фактори визначаються як стан мережі, і тоді вводиться поняття прихованої моделі Маркова для моделювання затримок. Незважаючи на всі переваги і бонуси прихованої моделі Маркова порівняно з іншими методами, наприклад, тої ж моделі ланцюга Маркова, не можна сказати, що цей спосіб є єдиним правильним і найкращим, оскільки це залежить від умов дослідження та необхідних показників продуктивності та ефективності роботи, яких необхідно досягти.

Конфлікт інтересів

Автор декларує, що не має конфлікту інтересів стосовно цього дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

ЛІТЕРАТУРА

[1] Yang T.C. Networked control system: a brief survey. *IEE Proceedings: Control Theory and Applications*. (2006) 153, no. 4, 403–412, 2-s2.0-33646891790. DOI: 10.1049/ip-cta:20050178.

[2] Zhang L.X., Gao H.J., and Kaynak O. Network-induced constraints in networked control systems – a survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. (2013) 9, no. 1, 403–416. [Онлайн]. URL: https://surl.li/xlambv. Дата звернення: 10.02.2025.

[3] Luck R. and Ray A. Delay compensation in integrated communication and control systems-I: conceptual development and analysis. *Proceedings of American Control Conference (ACC’90)*, May 1990, San Diego, Calif, USA, 2045–2050, 2-s2.0-0025556268.

[4] Luck R. and Ray A. Delay compensation in integrated communication and control systems-II: implementation and verification. *Proceedings of American Control Conference (ACC’90)*, May 1990, San Diego, Calif, USA, 2051–2055, 2-s2.0-0025564524.

[5] Luck R. and Ray A. An observer-based compensator for distributed delays. *Automatica*. (1990) 26, no. 5, 903–908, 2-s2.0-0025494613. DOI: 10.1016/0005-1098(90)90007-5.

[6] Luck R. and Ray A. Experimental verification of a delay compensation algorithm for integrated communication and control systems. *International Journal of Control*. (1994) 59, no. 6, 1357–1372.

[7] Yorke J.A. Asymptotic stability for one dimensional differential-delay equations. *Journal of Differential Equations*. (1970) 7, no. 1, 189–202, 2-s2.0-0000602617.

[8] Hirai K. and Satoh Y. Stability of a system with variable time delay. *IEEE Transactions on Automatic Control*. (1980) AC-25, no. 3, 552–554, 2-s2.0-0019031734.

[9] Nilsson J., Bernhardsson B., and Wittenmark B. Stochastic analysis and control of real-time systems with random time delays. *Automatica*. (1998) 34, no. 1, 57–64, 2-s2.0-0031675114.

[10] Wei Z., Li C.-H., and Xie J.-Y. Improved control scheme with online delay evalution for networked control systems. *Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA’02)*, June 2002, Shanghai, China, 1319–1323, 2-s2.0-0036945895. [Онлайн]. URL: https://surl.li/vmzlsn. Дата звернення: 10.02.2025.

[11] Yang F., Wang Z., Hung Y.S., and Gani M. H_∞ control for networked systems with random communication delays. *IEEE Transactions on Automatic Control*. (2006) 51, no. 3, 511–518, 2-s2.0-33645015936. DOI: 10.1109/TAC.2005.864207.

[12] Lian F.-L., Moyne J., and Tilbury D. Modelling and optimal controller design of networked control systems with multiple delays. *International Journal of Control*. (2003) 76, no. 6, 591–606, 2-s2.0-0142168437. DOI: 10.1080/0020717031000098426.

[13] Kim D.K., Park P., and Ko J.W. Output-feedback $\mathcal{H}_\infty$ control of systems over communication networks using a deterministic switching system approach. *Automatica*. (2004) 40, no. 7, 1205–1212, 2-s2.0-2442478196. DOI: 10.1016/j.automatica.2004.01.024.

[14] Jiang X., Han Q.-L., Liu S., and Xue A. A new H_∞ stabilization criterion for networked control systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*. (2008) 53, no. 4, 1025–1032, 2-s2.0-44849095399. DOI: 10.1109/TAC.2008.919547.

[15] Dritsas L. and Tzes A. Robust stability bounds for networked controlled systems with unknown, bounded and varying delays. *IET Control Theory and Applications*. (2009) 3, no. 3, 270–280, 2-s2.0-61849153843. DOI: 10.1049/iet-cta:20070384.

[16] Zhao Y.-B., Liu G.-P., and Rees D. A predictive control-based approach to networked hammerstein systems: design and stability analysis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* Part B. (2008) 38, no. 3, 700–708, 2-s2.0-44849095836. DOI: 10.1109/TSMCB.2008.918572.

[17] Zhao Y.-B., Liu G.-P., and Rees D. A predictive control based approach to networked wiener systems. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*. (2008) 4, no. 11, 2793–2802, 2-s2.0-63549146576. [Онлайн]. URL: https://surl.li/aknhph. Дата звернення: 10.02.2025.

[18] Liu G.-P., Xia Y., Chen J., Rees D., and Hu W. Networked predictive control of systems with random network delays in both forward and feedback channels. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. (2007) 54, no. 3, 1282–1297, 2-s2.0-37549072558. DOI: 10.1109/TIE.2007.893073.

[19] Liu B., Xia Y., Mahmoud M. S., Wu H., and Cui S. New predictive control scheme for networked control systems. *Circuits, Systems, and Signal Processing*. (2012) 31, no. 3, 945–960, 2-s2.0-84860626769. DOI: 10.1007/s00034-011-9359-9.

[20] Xiao L., Hassibi A., and How J.P. Control with random communication delays via a discrete-time jump system approach. *Proceedings of American Control Conference (ACC’00)*, June 2000, Chicago, Ill, USA, 2199–2204, 2-s2.0-0034540045.

[21] Liu L., Shan L., and Tong C. Delay-quantization and augmented controller vector method of networked control systems modeling. *Proceedings of the 1st International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS '09)*, March 2009, Wuhan, China, 278–282, 2-s2.0-69749103871. [Онлайн]. URL: https://surl.li/tluwsz. Дата звернення: 10.02.2025. DOI: 10.1109/ETCS.2009.589.

[22] Mao Z., Jiang B., and Shi P. Fault detection for a class of nonlinear networked control systems. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*. (2010) 24, no. 7, 610–622, 2-s2.0-77954279006. DOI: 10.1002/acs.1161

[23] Wei W., Wang B., and Towsley D. Continuous-time hidden Markov models for network performance evaluation. *Performance Evaluation*. (2002) 49, no. 1-4, 129–146, 2-s2.0-1642378633. DOI: 10.1016/S0166-5316(02)00122-0

[24] Huang D. and Nguang S.K. State feedback control of uncertain networked control systems with random time delays. *IEEE Transactions on Automatic Control*. (2008) 53, no. 3, 829–834, 2-s2.0-42649108401. [Онлайн]. URL: https://surl.li/omslbs. Дата звернення: 10.02.2025. DOI: 10.1109/TAC.2008.919571.

Т3. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

RESEARCH INTO THE PROCESS OF MODELING RANDOM DELAYS IN NETWORKED CONTROL SYSTEMS

Ivan Chystyk

This paper proposes to consider the main types of delay models that arise and, importantly, negatively affect the efficiency and productivity of networked control systems, and in some cases lead to failures and even failures in operation. As for all other types of control systems, for networked control systems, stability of operation, accuracy and speed of execution of processes and algorithms, high security indicators, availability and flexibility and a number of other requirements are also very important. And all this is achieved through constant study and improvement of technologies, search for new and non-standard solutions and also constant research in the industry.

As we already know, networked control systems (NCS) based on even the name assume the presence of networks in their control circuits, which in turn leads to the emergence of a number of problems that are characteristic of network technologies. Such problems as, for example, random delays or packet loss, or transmission of several packets at a time.

It should be noted that usually the most attention when studying this issue is paid to the problems caused by random delays, because if they are present, they can also lead to the emergence of other problems that were mentioned above. Therefore, to reduce the negative impact of these random delays, which lead to a decrease in the efficiency of networked control systems and instability in their operation, there is a need to establish a mathematical model of random delays before creating a compensating element. And modeling of networked control systems with the right approach and the choice of successful solutions and modeling methods makes it possible to solve the issue of the presence of imperfections and problems associated with this technology.

Keywords: *random delays, modeling, networked control systems, Markov chain, stochastic model, hidden Markov model.*

REFERENCES

[1] Yang T.C., Networked control system: a brief survey. *IEE Proceedings: Control Theory and Applications*. (2006) 153, no. 4, 403–412, 2-s2.0-33646891790. DOI: 10.1049/ip-cta:20050178.

[2] Zhang L.X., Gao H.J., and Kaynak O. Network-induced constraints in networked control systems – a survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. (2013) 9, no. 1, 403–416. [Online]. URL: https://surl.li/xlambv. Accessed: 10.02.2025.

[3] Luck R. and Ray A. Delay compensation in integrated communication and control systems-I: conceptual development and analysis. *Proceedings of American Control Conference (ACC’90)*, May 1990, San Diego, Calif, USA, 2045–2050, 2-s2.0-0025556268.

[4] Luck R. and Ray A. Delay compensation in integrated communication and control systems-II: implementation and verification. *Proceedings of American Control Conference (ACC’90)*, May 1990, San Diego, Calif, USA, 2051–2055, 2-s2.0-0025564524.

[5] Luck R. and Ray A. An observer-based compensator for distributed delays. *Automatica*. (1990) 26, no. 5, 903–908, 2-s2.0-0025494613. DOI: 10.1016/0005-1098(90)90007-5.

[6] Luck R. and Ray A. Experimental verification of a delay compensation algorithm for integrated communication and control systems. *International Journal of Control*. (1994) 59, no. 6, 1357–1372.

[7] Yorke J.A. Asymptotic stability for one dimensional differential-delay equations. *Journal of Differential Equations*. (1970) 7, no. 1, 189–202, 2-s2.0-0000602617.

[8] Hirai K. and Satoh Y. Stability of a system with variable time delay. *IEEE Transactions on Automatic Control*. (1980) AC-25, no. 3, 552–554, 2-s2.0-0019031734.

[9] Nilsson J., Bernhardsson B., and Wittenmark B. Stochastic analysis and control of real-time systems with random time delays. *Automatica*. (1998) 34, no. 1, 57–64, 2-s2.0-0031675114.

[10] Wei Z., Li C.-H., and Xie J.-Y. Improved control scheme with online delay evalution for networked control systems. *Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA’02)*, June 2002, Shanghai, China, 1319–1323, 2-s2.0-0036945895. [Online]. URL: https://surl.li/vmzlsn. Accessed: 10.02.2025.

[11] Yang F., Wang Z., Hung Y. S., and Gani M. H_∞ control for networked systems with random communication delays, *IEEE Transactions on Automatic Control*. (2006) 51, no. 3, 511–518, 2-s2.0-33645015936. DOI: 10.1109/TAC.2005.864207.

[12] Lian F.-L., Moyne J., and Tilbury D. Modelling and optimal controller design of networked control systems with multiple delays, *International Journal of Control*. (2003) 76, no. 6, 591–606, 2-s2.0-0142168437. DOI: 10.1080/0020717031000098426.

[13] Kim D.K., Park P., and Ko J.W. Output-feedback $\mathscr{H}_\infty$ control of systems over communication networks using a deterministic switching system approach, *Automatica*. (2004) 40, no. 7, 1205–1212, 2-s2.0-2442478196. DOI: 10.1016/j.automatica.2004.01.024.

[14] Jiang X., Han Q.-L., Liu S., and Xue A. A new H_∞ stabilization criterion for networked control systems, *IEEE Transactions on Automatic Control*. (2008) 53, no. 4, 1025–1032, 2-s2.0-44849095399. DOI: 10.1109/TAC.2008.919547.

[15] Dritsas L. and Tzes A. Robust stability bounds for networked controlled systems with unknown, bounded and varying delays, *IET Control Theory and Applications*. (2009) 3, no. 3, 270–280, 2-s2.0-61849153843. DOI: 10.1049/iet-cta:20070384.

[16] Zhao Y.-B., Liu G.-P., and Rees D. A predictive control-based approach to networked hammerstein systems: design and stability analysis, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* Part B. (2008) 38, no. 3, 700–708, 2-s2.0-44849095836. DOI: 10.1109/TSMCB.2008.918572.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331271

[17] Zhao Y.-B., Liu G.-P., and Rees D. A predictive control based approach to networked wiener systems. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*. (2008) 4, no. 11, 2793–2802, 2-s2.0-63549146576. [Online]. URL: https://surl.li/akn-hph. Accessed: 10.02.2025.

[18] Liu G.-P., Xia Y., Chen J., Rees D., and Hu W. Networked predictive control of systems with random network delays in both forward and feedback channels. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. (2007) 54, no. 3, 1282–1297, 2-s2.0-37549072558. DOI: 10.1109/TIE.2007.893073.

[19] Liu B., Xia Y., Mahmoud M.S., Wu H., and Cui S. New predictive control scheme for networked control systems. *Circuits, Systems, and Signal Processing*. (2012) 31, no. 3, 945–960, 2-s2.0-84860626769. DOI: 10.1007/s00034-011-9359-9.

[20] Xiao L., Hassibi A., and How J.P. Control with random communication delays via a discrete-time jump system approach. *Proceedings of American Control Conference (ACC’00)*, June 2000, Chicago, Ill, USA, 2199–2204, 2-s2.0-0034540045.

[21] Liu L., Shan L., and Tong C. Delay-quantization and augmented controller vector method of networked control systems modeling. *Proceedings of the 1st International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS’09)*, March 2009, Wuhan, China, 278–282, 2-s2.0-69749103871. [Online]. URL: https://surl.li/tluwsz. Accessed: 10.02.2025. DOI: 10.1109/ETCS.2009.589.

[22] Mao Z., Jiang B., and Shi P. Fault detection for a class of nonlinear networked control systems. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*. (2010) 24, no. 7, 610–622, 2-s2.0-77954279006. DOI: 10.1002/acs.1161.

[23] Wei W., Wang B., and Towsley D. Continuous-time hidden Markov models for network performance evaluation. *Performance Evaluation*. (2002) 49, no. 1-4, 129–146, 2-s2.0-1642378633. DOI: 10.1016/S0166-5316(02)00122-0.

[24] Huang D. and Nguang S.K. State feedback control of uncertain networked control systems with random time delays. *IEEE Transactions on Automatic Control*. (2008) 53, no. 3, 829–834, 2-s2.0-42649108401. [Online]. URL: https://surl.li/omslbs. Accessed: 10.02.2025. DOI: 10.1109/TAC.2008.919571.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

Штучний інтелект

УДК 004.8:339.138

СИСТЕМА АНАЛІЗУ ВПОДОБАНЬ УКРАЇНСЬКОГО ПОКУПЦЯ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ІНТЕГРОВАНИМ ПЕРСОНАЛЬНИМ АСИСТЕНТОМ

Д.Є. Сірко[1], Я.Ю. Дорогий[2]

[1]Department of Information Systems and Technologies, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
[2]Department of Applied Mathematics and Informatics, Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine

E-mail: dimasirko1112@gmail.com

АНОТАЦІЯ

У статті розглядається система аналізу вподобань українського покупця, яка використовує елементи штучного інтелекту та інтегрований персональний асистент для поліпшення процесу персоналізації покупок в електронній комерції. Визначено основні функціональні та нефункціональні вимоги до такої системи, що повинна забезпечити користувачів інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, швидкою обробкою запитів, а також ефективною персоналізацією товарних рекомендацій. Важливою особливістю системи є використання мовної моделі GPT-4o-mini для створення інтегрованого персонального асистента, який здатний розпізнавати потреби користувача та пропонувати відповідні товари на основі їхніх вподобань і попередніх покупок.

Процес розробки системи включав два основні етапи: створення системи аналізу даних покупців та розробку персонального асистента. Для аналізу вподобань покупців був використаний датасет, що включав такі параметри, як вік, стать, категорія товарів, кількість покупок, ціна за одиницю, платіжний метод та інші характеристики. За допомогою цих даних було побудовано кілька графіків, що відображають поведінкові тренди покупців, що дозволяє зробити більш точні прогнози щодо майбутніх покупок.

Водночас система була оснащена можливістю прогнозування на основі нейронних мереж, що дозволяє передбачити майбутні покупки за допомогою алгоритмів машинного навчання. Розробка цієї частини системи забезпечила точність передбачень і мінімізацію втрат на етапі навчання моделей. Створена нейронна мережа показала ефективність у прогнозуванні поведінки користувачів, що сприяє підвищенню рівня персоналізації та зручності покупок для кожного користувача.

У статті також проаналізовано наявні рішення у сфері штучного інтелекту та персоналізованих рекомендаційних систем, що використовуються в електронній комерції, що дозволяє визначити сильні та слабкі сторони таких систем і знайти шляхи їх вдосконалення для застосування на українському ринку. Крім того, запропоновані рішення поєднують високі технології та зручність для кінцевого користувача, що забезпечує успішну адаптацію системи до потреб українського споживача.

Ключові слова: *український покупець, вподобання, штучний інтелект, персональний асистент, застосунок, система, аналіз.*

Вступ

Цифрові технології відіграють значну роль у розвитку сфери електронної комерції, зокрема через системи, які здатні аналізувати вподобання користувачів та надавати персоналізовані рекомендації. Одним із важливих напрямів, що значно покращує взаємодію між продавцем і покупцем, є інтеграція штучного інтелекту у систему аналізу поведінки користувачів. Завдяки стрімкому розвитку технологій штучного інтелекту, зокрема в галузі обробки природної мови, виникає необхідність розробки інноваційних рішень, що дозволяють забезпечити інтелектуальний підхід до аналізу вподобань покупців.

В Україні електронна комерція активно розвивається, створюючи значні можливості для вдосконалення процесів онлайн-покупок завдяки

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

використанню новітніх технологій. Однак більшість наявних рішень обмежуються стандартними підходами до персоналізації, не враховуючи специфічних потреб користувачів та не використовуючи потужні інструменти штучного інтелекту для прогнозування їхніх вподобань. Тому розробка системи, яка поєднувала б можливості штучного інтелекту та персонального асистента, може стати ефективним рішенням для підвищення рівня взаємодії з покупцями та покращення їхнього досвіду під час здійснення покупок.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Розглянемо кілька досліджень, які дозволяють глибше зрозуміти поточний стан справ у досліджуваній сфері та визначити можливі напрями для подальших наукових розробок. Стаття [1] розглядає можливості GPT-4 Turbo, яка є покращеною версією моделі GPT-4. Основна увага приділяється її ефективності, швидкості та вартості порівняно з попередніми моделями, а також її використанню для створення інтелектуальних віртуальних помічників. Описано, як GPT-4 Turbo покращує процеси автоматизації в різних сферах, таких як обслуговування клієнтів, охорона здоров’я та інші, що вимагають обробки природної мови.

У статті [2] досліджується використання методів машинного навчання для створення рекомендаційних систем для електронної комерції. Вона аналізує різні моделі, які допомагають персоналізувати товарні пропозиції, вивчаючи споживчу поведінку. Дослідження пропонує шляхи для покращення точності таких систем і їх інтеграції в електронні платформи для підвищення ефективності взаємодії з користувачами.

Стаття [3] розглядає застосування нейронних мереж для прогнозування покупок в інтернет-магазинах. Вона фокусується на використанні машинного навчання для поліпшення персоналізації покупок і прийняття рішень в електронній комерції. Автори пропонують практичні рішення для застосування нейронних мереж для прогнозування покупок, що дозволяє оптимізувати онлайн-шопінг, надаючи більш точні рекомендації і покращуючи досвід користувачів.

Проведений аналіз наявних рішень у сфері аналізу вподобань покупців та застосування штучного інтелекту в електронній комерції показав наявність значного потенціалу для розвитку персоналізованих систем рекомендацій. Проте більшість сучасних систем орієнтовані на загальні тенденції та не враховують специфічні потреби користувачів у рамках конкретних регіонів. Це підкреслює необхідність розробки адаптованих рішень для українського ринку, що стало основою для мети цієї статті.

Метою статті є розробка та опис системи аналізу вподобань українського покупця, що використовує штучний інтелект і інтегрований персональний асистент. У статті розглянуті функціональні та нефункціональні вимоги до такої системи, описано етапи її розробки, а також визначено роль штучного інтелекту у створенні персоналізованих рекомендацій. Важливу увагу приділено інтеграції персонального асистента, який використовує мовну модель для покращення взаємодії з користувачем, а також аналізу вподобань покупців на основі зібраних даних.

Матеріали та методи досліджень

Для досягнення мети дослідження було застосовано методи структурного та порівняльного аналізу, що дозволили всебічно оцінити наявні технології та рішення для створення системи аналізу вподобань покупців з елементами штучного інтелекту та інтегрованим персональним асистентом. Структурний аналіз сприяв визначенню основних компонентів системи, їх функціональних та нефункціональних вимог, а також взаємодії між ними. Порівняльний аналіз дозволив оцінити переваги та недоліки наявних рішень, таких як персоналізовані рекомендаційні системи на основі штучного інтелекту, що застосовуються в електронній комерції, і виявити потенційні вдосконалення для адаптації до специфіки українського ринку.

Для збору та систематизації інформації було застосовано методи інформаційного та аналітичного підходу. Це дозволило здійснити глибоке вивчення наукової літератури, сучасних технологій штучного інтелекту, а також доступних онлайн-ресурсів, що стосуються розробки інтелектуальних систем для персоналізації покупок в електронній комерції. Вивчення наявних рішень, таких як платформи для інтеграції мовних моделей, забезпечило формулювання основних вимог до функціональності та зручності користування системами аналізу вподобань покупців.

Для перевірки ефективності запропонованих технічних рішень та досягнення максимальної точності персоналізованих рекомендацій використано методи експериментального тестування, зокрема тестування ефективності моделі GPT-4o-mini як інтегрованого персонального асистента для обробки запитів користувачів і генерування рекомендацій на основі аналізу даних покупок.

Результати дослідження

Призначення та галузь застосування. Система аналізу вподобань українського покупця з елементами штучного інтелекту та інтегрованим

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

персональним асистентом розроблена для поглиблення розуміння купівельних тенденцій і поведінки споживачів в Україні. Завдяки універсальному застосунку система стає доступною для широкого кола користувачів і може працювати на різних пристроях, таких як смартфони, планшети чи комп’ютери, забезпечуючи зручність та гнучкість у використанні.

Система використовує технології штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу великих даних для розпізнавання та оцінки вподобань споживачів у реальному часі. Користувачі отримують персоналізовані рекомендації та інформацію про товари й послуги завдяки інтегрованому персональному асистенту, який через інтуїтивний інтерфейс надає корисні підказки та дані про ринкові тренди. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо покупок та підвищує обізнаність споживачів про сучасний ринок.

У міських умовах система може забезпечувати аналіз даних на основі локальних ринкових тенденцій, зокрема популярних товарів, знижок та акційних пропозицій. У великих торгових зонах, таких як торгові центри, супермаркети або ринки, система пропонує актуальні пропозиції та персоналізовані рекомендації, що спрощує вибір товарів і економить час покупців.

Надаючи користувачам релевантну інформацію, система сприяє їх більшій залученості та дозволяє бути в курсі поточних ринкових можливостей. Її універсальність і здатність працювати на різних платформах роблять систему зручною та адаптованою до індивідуальних потреб споживачів, забезпечуючи доступ до інформації про товари як для особистого користування, так і в межах маркетингових програм, спрямованих на покращення користувацького досвіду. Інтеграція з різними пристроями підвищує гнучкість системи та робить її доступною для ширшої аудиторії, сприяючи більш ефективному здійсненню покупок і кращому розумінню ринку.

Ця розробка є важливим кроком у напрямі персоналізації покупок з урахуванням специфіки українського ринку. Використовуючи сучасні технології штучного інтелекту, система аналізу вподобань не лише оптимізує процес покупок, але й підвищує задоволеність користувачів завдяки швидкому доступу до актуальної інформації. Впровадження цієї системи може суттєво покращити користувацький досвід, допомагаючи українським споживачам краще орієнтуватися у сучасному ринку, а бізнесам – адаптуватися до потреб своїх клієнтів.

ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИН ROZETKA

Rozetka – це одна з найпопулярніших платформ для здійснення онлайн-шопінгу, що пропонує широкий вибір товарів і функціонал, спрямований на підвищення комфорту та ефективності процесу вибору й придбання продукції [5].

Основні можливості та функції Rozetka включають:

1. Сортування товарів за популярністю. Платформа дозволяє сортувати товари за критерієм популярності, що сприяє швидкому пошуку найбільш затребуваних і схвально оцінених продуктів. Ця функція є особливо корисною для споживачів, які прагнуть вибрати найкращі товари на основі відгуків і рейтингу інших покупців.

2. Широкий асортимент продукції. Rozetka забезпечує доступ до великого асортименту товарів у різноманітних категоріях, включно з електронікою, побутовою технікою, одягом і товарами для дому. Велика кількість доступних позицій дозволяє проводити глибокий аналіз даних за різними типами продукції.

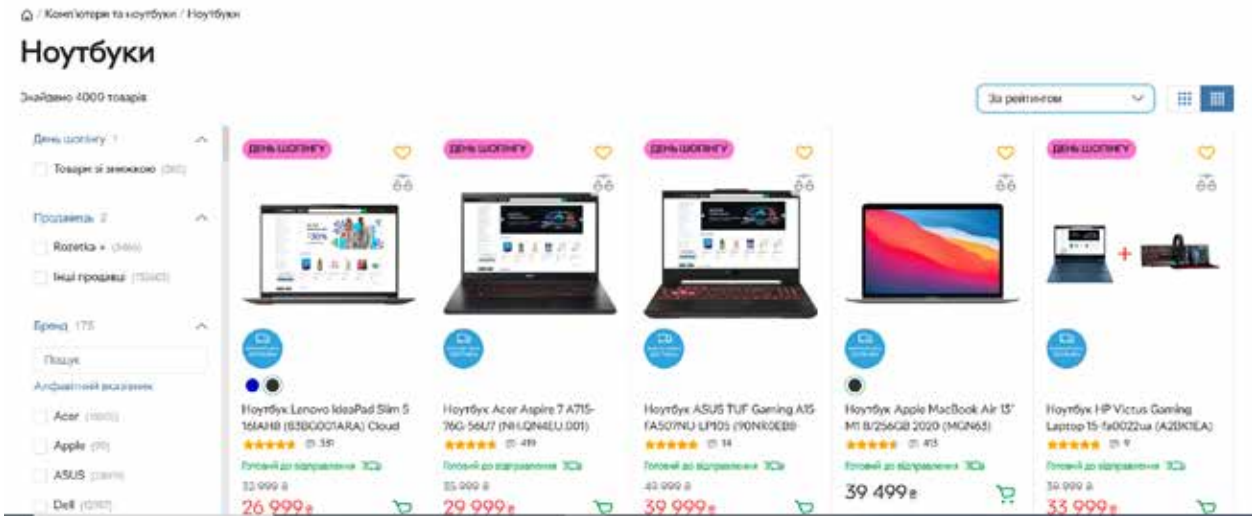

Рис. 1. Інтернет-магазин Rozetka [5]

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

3. Система знижок і акцій. Платформа регулярно організовує акційні пропозиції та знижки на окремі категорії товарів, що формується з урахуванням попиту та актуальної потреби в продукції.

На рис. 1 представлено схематичне зображення системи Rozetka, яка демонструє ключові аспекти її функціонування.

До основних переваг платформи належать:

– широкий асортимент товарів – Rozetka пропонує велику кількість товарів у різних категоріях, що дозволяє користувачам знайти все необхідне в одному місці;

– зручний інтерфейс – інтуїтивно зрозумілий дизайн платформи спрощує процес навігації, вибору товарів і оформлення замовлення;

– сортування та фільтри – користувачі можуть сортувати товари за популярністю, ціною, рейтингом та іншими параметрами, що полегшує пошук потрібної продукції;

– система відгуків – наявність відгуків і оцінок від інших покупців допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо покупки;

– гнучка система доставки – Rozetka співпрацює з багатьма службами доставки, пропонуючи користувачам різні варіанти отримання товарів;

– акції та знижки – постійні акції та спеціальні пропозиції дають змогу придбати товари за вигідними цінами;

– підтримка клієнтів – розвинена служба підтримки допомагає оперативно вирішувати проблеми, пов’язані із замовленнями.

Разом із перевагами платформа має і певні недоліки:

– проблеми з якістю деяких товарів – інколи користувачі стикаються із товарами низької якості, особливо якщо постачальником є сторонній продавець;

– доставка може затримуватись – попри широкий вибір варіантів доставки, інколи трапляються затримки, особливо в періоди великих розпродажів;

– обмежена відповідальність за сторонніх продавців – на платформі можуть бути представлені сторонні продавці, і Rozetka не завжди несе відповідальність за їхнє обслуговування та якість продукції;

– можливі технічні проблеми – інколи платформа може працювати з перебоями, особливо під час високого навантаження (наприклад, у період розпродажів);

– непрозора політика повернення – деякі користувачі зазначають, що процес повернення товарів може бути складним або тривалим;

– фокус на популярні товари – деякі менш поширені або вузькоспеціалізовані товари можуть бути недоступні або представлені в обмеженій кількості.

АТБ-МАРКЕТ

АТБ-Маркет – це одна з найбільших українських мереж продуктових магазинів, яка активно впроваджує сучасні онлайн-інструменти для підвищення зручності своїх покупців [6].

Основні функції та можливості сайту АТБ-Маркет включають:

1. Онлайн-каталог товарів.

Сайт пропонує детальний каталог продукції, що охоплює різноманітні категорії товарів – від свіжих продуктів харчування до побутових товарів. Кожна позиція супроводжується детальним описом, якісним зображенням та актуальною ціною, що дозволяє споживачам отримувати повну інформацію про товар перед покупкою.

2. Акції та спеціальні пропозиції.

На платформі регулярно оновлюється інформація про поточні акції та знижки. Наприклад, популярна щотижнева акція «Економія» дає можливість придбати товари за зниженими цінами. Такі пропозиції

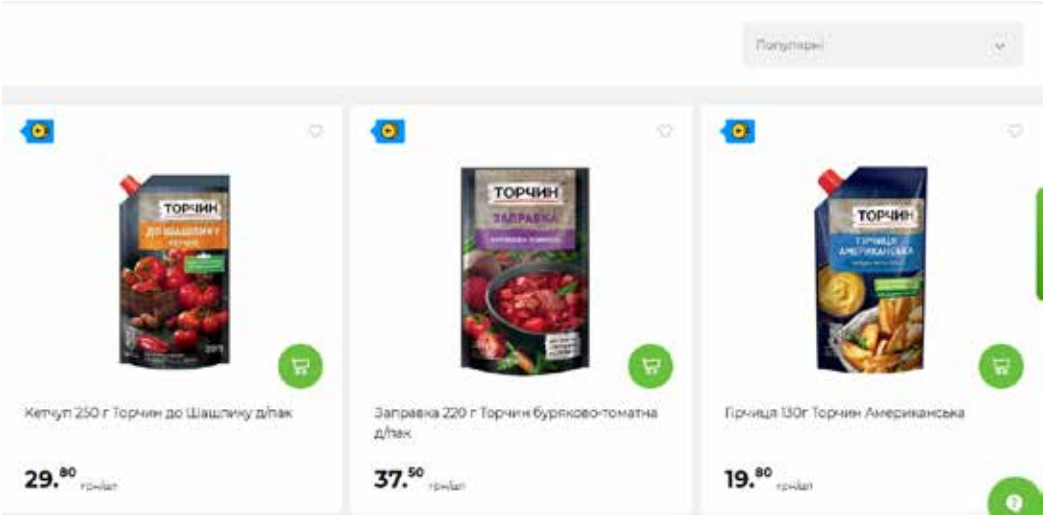

Рис. 2. Сайт АТБ-Маркету [6]

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

не лише сприяють економії, але й допомагають користувачам зрозуміти, які товари в конкретних категоріях є популярними та чому.

На рис. 2 зображено інтерфейс сайту АТБ-Маркету із функцією сортування товарів за популярністю, що є корисним інструментом для швидкого доступу до найбільш затребуваних позицій.

Перевагами такої платформи є:

– широкий онлайн-каталог товарів. Сайт АТБ-Маркет пропонує великий вибір продукції, охоплюючи різні категорії, що дозволяє клієнтам знайти всі необхідні товари в одному місці;

– детальна інформація про товари. Кожна позиція в каталозі супроводжується описом, якісними зображеннями та актуальною ціною, що полегшує вибір товару;

– акції та знижки. Регулярні акції, такі як «Економія», дозволяють купувати товари за вигідними цінами, що приваблює велику кількість покупців;

– зручність використання. Інтуїтивний інтерфейс сайту забезпечує легкий доступ до категорій товарів, акцій та функцій сортування, наприклад, за популярністю або ціною;

– можливість економії часу. Онлайн-платформа дозволяє швидко вибрати необхідні товари та отримати інформацію про їхню наявність, що зменшує час на здійснення покупок;

– адаптація під сучасні потреби. Сайт відповідає сучасним тенденціям ринку, активно інтегруючи онлайн-функціонал, щоб задовольнити вимоги цифрових споживачів.

Також платформа має і деякі недоліки:

– обмежений функціонал доставки. Порівняно з іншими великими платформами можливості доставки можуть бути менш розвиненими або доступними лише в окремих регіонах;

– відсутність персоналізованих рекомендацій. На відміну від платформ із інтегрованими системами штучного інтелекту, сайт не завжди пропонує персоналізовані рекомендації, що могли б покращити досвід користувача.

– Можливі технічні збої. У періоди високого навантаження (наприклад, під час розпродажів або святкових акцій) платформа може працювати нестабільно.

– Обмежена кількість унікальних товарів. Асортимент може бути менш різноманітним порівняно з іншими великими гіпермаркетами або спеціалізованими магазинами.

– Не завжди актуальна інформація про наявність товарів. У деяких випадках інформація про наявність товарів у конкретних магазинах може оновлюватися із затримкою.

– Відсутність мобільного застосунку (або обмежений функціонал). Хоча сайт зручний для використання, відсутність повноцінного мобільного застосунка може бути недоліком для активних користувачів смартфонів.

ПЕРСОНАЛЬНИЙ АСИСТЕНТ PRIVATBANK

Персональний асистент у ПриватБанку [7], відомий як Консьєрж-сервіс, є сучасною преміальною послугою, орієнтованою на задоволення персональних потреб клієнтів. Ця послуга спрямована на забезпечення зручності та економії часу, виконуючи широкий спектр завдань для користувачів преміум-класу.

Основні можливості Консьєрж-сервісу:

1. *Банківська підтримка та фінансові послуги.*

Консьєрж-сервіс забезпечує допомогу у вирішенні банківських питань, таких як:

– Надання доступу до преміальних продуктів та консультацій щодо інвестицій, валютних операцій чи страхування.

– Вирішення питань із блокуванням карток, випуском додаткових карток чи відновленням паролів.

– Підтримка у здійсненні переказів і наданні консультацій у реальному часі.

2. *Організація подорожей.*

Персональний асистент надає підтримку у:

– бронюванні авіаквитків, підборі готелів, оренді авто та організації трансферів;

– замовленні екскурсій і наданні актуальної інформації про візові вимоги;

– допомозі у зміні або скасуванні бронювань у випадку непередбачених обставин.

3. *Дозвілля та розважальні послуги.*

Консьєрж-сервіс надає підтримку у бронюванні квитків на культурні та спортивні заходи, а також:

– рекомендації щодо ресторанів, кафе чи інших розважальних місць;

– організацію VIP-місць або святкових подій відповідно до уподобань клієнта.

4. *Особисті доручення та побутові послуги.*

Персональний асистент виконує завдання, включаючи:

– організацію доставки квітів, подарунків або урочистих подій;

– замовлення послуг додому, пошук спеціалістів для ремонту чи технічного обслуговування;

– допомогу з переїздом або пошук рідкісних товарів.

5. *Медичні та юридичні консультації*.

Консьєрж-сервіс може:

– організувати запис до лікаря чи пошук медичних центрів;

– надавати рекомендації щодо юридичних чи адвокатських послуг.

На рис. 3 продемонстровано зразок роботи Консьєрж-сервісу в мобільному застосунку Приват24.

Перевагами сервісу є такі:

– цілодобова доступність через телефон, чат у Приват24 або месенджери;

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

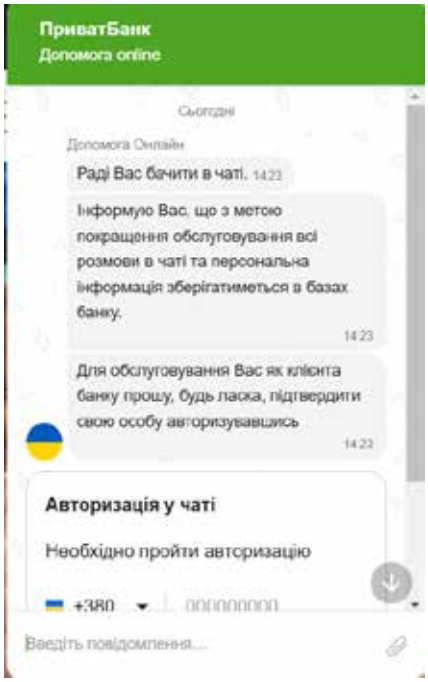

Рис. 3. Мобільний застосунок Приват24

– широкий спектр послуг, орієнтованих на потреби клієнтів;

– підтримка в надзвичайних ситуаціях, зокрема у подорожах.

Серед обмежень сервісу можна виділити такі:

– обмеження доступу лише для клієнтів преміум-сегменту;

– можливі затримки у виконанні запитів у пікові години.

ЧАТ-БОТ ROZETKA

У межах сервісу Rozetka персональний асистент представлений у вигляді Telegram-бота, який є ефективним інструментом для користувачів популярного інтернет-магазину. Чат-бот забезпечує можливість здійснювати покупки, отримувати інформацію та вирішувати питання, пов’язані з обслуговуванням, без необхідності переходу на вебсайт або звернення до служби підтримки. Завдяки інтеграції з Telegram цей інструмент забезпечує оперативну взаємодію з платформою, спрощуючи процес онлайн-шопінгу та роблячи його більш зручним для користувачів [5].

На рис. 4 наведено приклад роботи чат-бота Rozetka в Telegram.

Основними функціями системи є:

1. *Інформація про товари та пошук.*

Чат-бот дає користувачам можливість:

– шукати товари за назвою або категорією;

– отримувати інформацію про характеристики товарів, їх наявність та актуальні ціни. Це особливо корисно для тих, хто шукає конкретний товар або бажає ознайомитися з асортиментом у певній категорії, такій як електроніка, одяг чи продукти.

2. *Сортування за популярністю та акційні пропозиції.*

Користувачі можуть переглядати:

– найпопулярніші товари в різних категоріях;

– список поточних акцій та знижок. Це дозволяє швидко знаходити вигідні пропозиції та бути в курсі

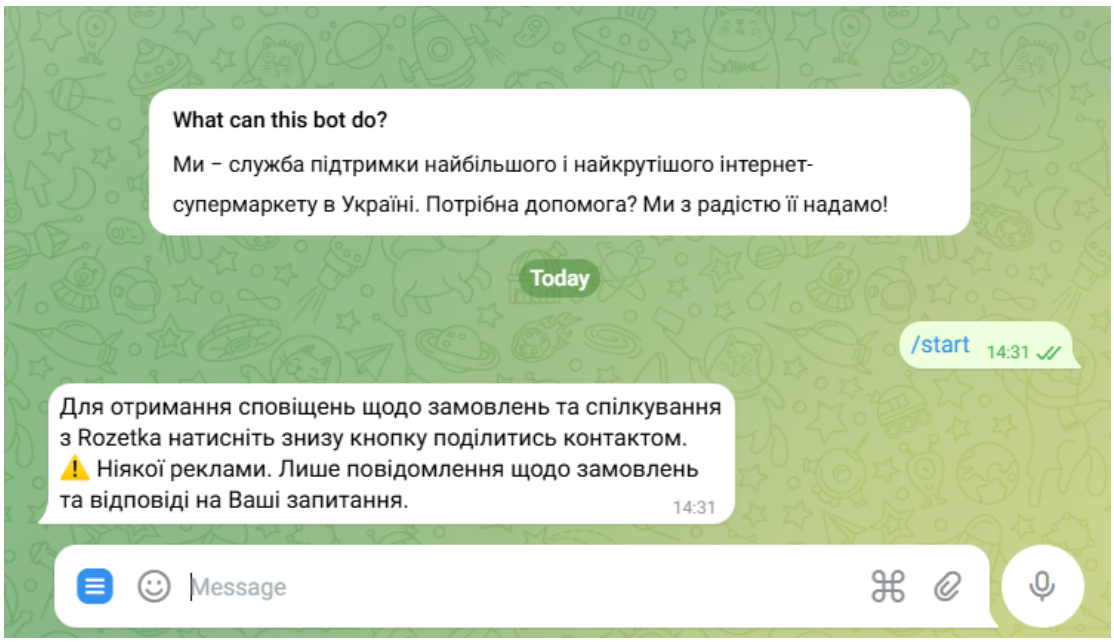

Рис. 4. Чат-бот Rozetka [5]

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

новинок або популярних акцій, що сприяє обґрунтованому вибору товарів.

3. *Інформація про замовлення та відстеження доставки.*

Чат-бот забезпечує:

– оновлену інформацію про статус замовлення на всіх етапах – від оформлення до доставки;

– надання трекінг-номерів для відстеження посилок;

– інформування про передбачувану дату прибуття замовлення. Ця функція дозволяє користувачам ефективно контролювати процес доставки без потреби звертатися до служби підтримки.

4. *Служба підтримки.*

Чат-бот полегшує взаємодію зі службою підтримки, даючи такі можливості:

– автоматичне формування запитів до відповідного відділу;

– перенаправлення до оператора в разі необхідності персональної допомоги. Це сприяє оперативному вирішенню питань і забезпечує швидкий доступ до консультацій.

Перевагами використання чат-боту є:

– зручність у використанні завдяки інтеграції з месенджером Telegram;

– оперативний доступ до інформації про товари, замовлення та акційні пропозиції;

– автоматизація вирішення питань через службу підтримки.

Серед обмежень чат-боту можна виділити такі:

– можливість обмеження функціоналу для користувачів, які не знайомі з використанням месенджерів;

– необхідність стабільного інтернет-з’єднання для роботи бота.

CRM-СИСТЕМА HUBSPOT

HubSpot є платформою CRM, яка пропонує широкий набір інструментів для автоматизації маркетингу, управління продажами, створення контенту та підвищення якості обслуговування клієнтів. Завдяки своїй гнучкості та багатофункціональності HubSpot вважається ефективним рішенням для бізнесу різних масштабів: малого, середнього та великого. Платформа дозволяє зберігати всю інформацію про клієнтів в одному місці, аналізувати їхню поведінку, проводити маркетингові кампанії та оптимізувати процеси обслуговування клієнтів. Головною особливістю HubSpot є універсальність, що охоплює продажі, маркетинг та підтримку клієнтів [8].

Основні можливості CRM-системи HubSpot такі:

1. *Автоматизація управління клієнтськими даними.*

Платформа дозволяє централізовано зберігати інформацію про клієнтів, зокрема історію взаємодій, дані про покупки та пошукові запити.

2. *Маркетингова автоматизація.*

Інструменти HubSpot дають змогу налаштовувати email-кампанії з персоналізованими пропозиціями на основі даних про клієнтів.

3. *Управління продажами*.

CRM-система дозволяє відстежувати кожен етап взаємодії з клієнтами у воронці продажів, планувати зустрічі та генерувати аналітичні звіти про ефективність роботи.

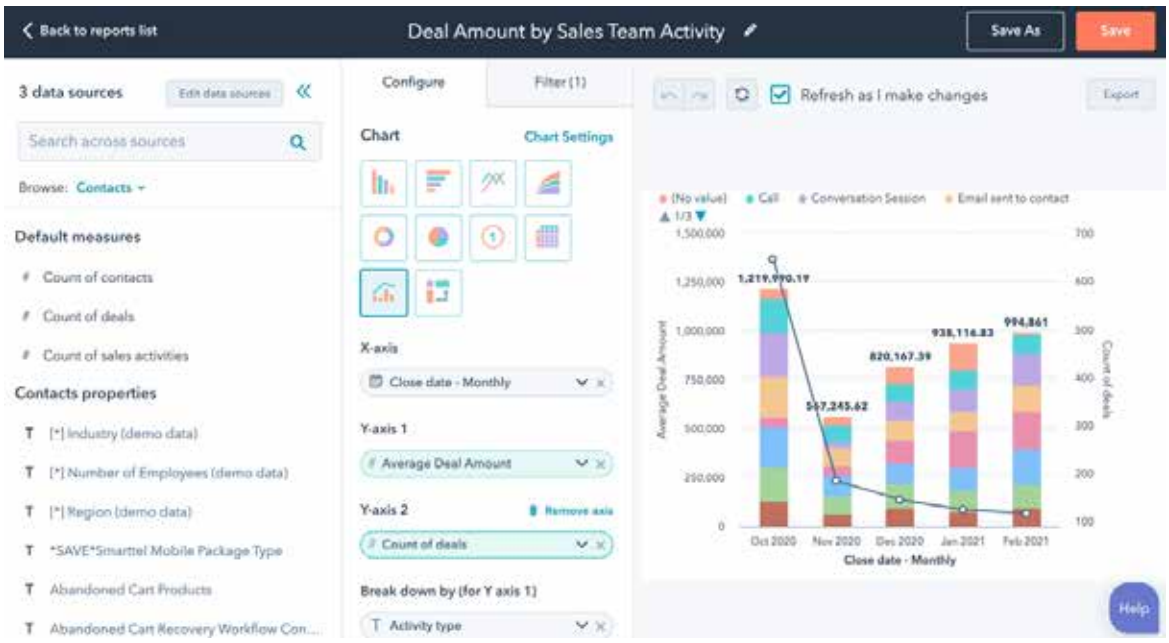

Рис. 5. Ілюструє загальний вигляд CRM-системи HubSpot, а рис. 6 – інтерфейс чат-боту.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

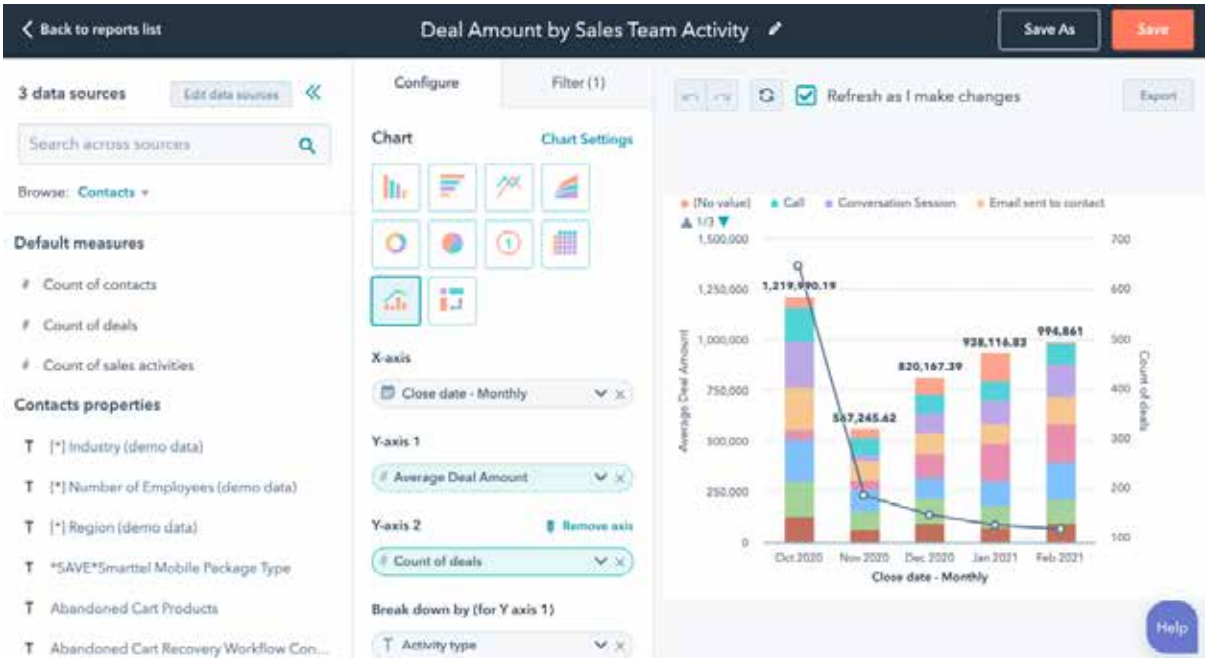

Рис. 5. Загальний вигляд hubspot

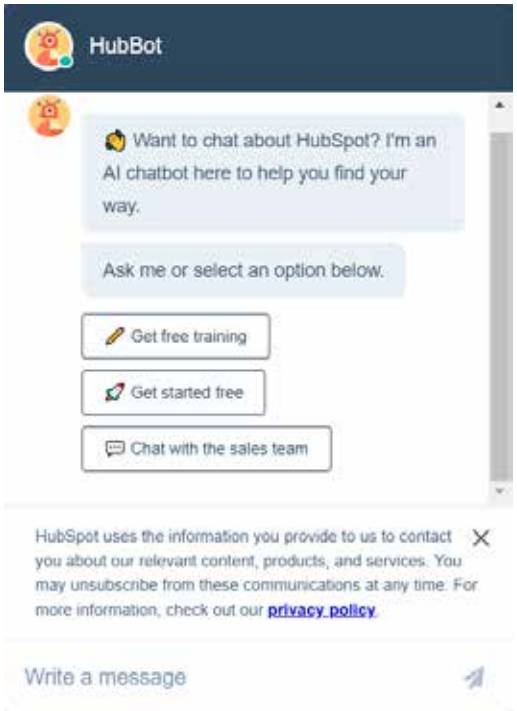

Рис. 6. Інтерфейс чат-боту HubSpot

4. *Підтримка клієнтів.*

Вбудований чат-бот автоматизує відповіді на поширені запити та створює квитки для опрацювання запитів.

Переваги HubSpot такі:

1. *Простий інтерфейс.*

Інтуїтивно зрозумілий дизайн дозволяє використовувати систему навіть без глибоких технічних знань, що робить її доступною для малого бізнесу.

2. *Інтеграція з платформами.*

Платформа підтримує інтеграцію з Google Ads, Facebook, LinkedIn, Slack, Salesforce тощо, що забезпечує доступ до різних каналів для залучення клієнтів і аналізу їхньої поведінки.

3. *Гнучкість у налаштуваннях.*

Можливість адаптації CRM до потреб конкретного бізнесу, зокрема створення унікальних полів для клієнтських даних, налаштування дашбордів та автоматизації сценаріїв.

4. *Безкоштовна версія.*

Базовий функціонал безкоштовної версії дозволяє ознайомитися з платформою та виконувати основні завдання.

Недоліками HubSpot є:

1. *Висока вартість платних тарифів.*

Вартість розширених пакетів становить $890–$3600, що є обтяжливим для малого бізнесу.

2. *Обмежений функціонал безкоштовної версії.*

У базовій версії відсутня інтеграція із соціальними мережами, що є важливим каналом трафіку.

3. *Відсутність української локалізації.*

Відсутність інтерфейсу українською мовою може ускладнювати використання для вітчизняних підприємств.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

КОМПАРАТИВНИЙ АНАЛІЗ РІШЕНЬ

Далі наведено компаративний аналіз розглянутих рішень, розроблених для аналізу обслуговування клієнтів, у тому числі і для аналізу їхніх вподобань. Для забезпечення порівняння різних рішень вибрано множину критеріїв, що дозволяють врахувати їхні основні функції, доступність та ефективність у реальних умовах використання. Далі наведено ключові критерії, що використовуються для порівняння розглянутих рішень:

1. *Тип інтеграції* – опис того, з якими платформами та сервісами може інтегруватися система для розширення функціоналу.

2. *Функціональність* – перелік можливостей, які пропонує система для автоматизації бізнес-процесів (наприклад, маркетинг, підтримка клієнтів, продажі).

3. *Простота використання* – рівень складності у використанні системи для кінцевих користувачів без глибоких технічних знань.

4. *Ціна* – вартість використання системи, включаючи наявність безкоштовних версій або платних планів з різними функціональними можливостями.

5. *Підтримка клієнтів* – можливості взаємодії з клієнтами через систему, зокрема чат-боти, автоматичні відповіді, надання підтримки.

6. *Налаштування та персоналізація* – можливості для адаптації інтерфейсу та функцій під потреби конкретного бізнесу, а також налаштування під специфічні завдання.

7. *Мовна підтримка* – наявність локалізацій платформи для різних мов, зокрема української (табл. 1).

Вимоги до системи

Перш ніж розпочати розробку системи, необхідно чітко визначити вимоги до її функціональних і нефункціональних характеристик. Це дозволить створити архітектуру, яка задовольнить потреби користувачів і забезпечить ефективність роботи системи. Користувачу має бути доступна вся функціональність системи, а саме: аналіз даних, пов’язаних з товаром, візуалізація даних, робота персонального асистента, сортування результатів. Варіанти використання усіх функцій системи наведено на діаграмі прецедентів на рис. 7.

Функціональні вимоги системи. З урахуванням потреб людей з вадами зору та наявних систем можна визначити такі функціональні вимоги для створення зручної та ефективної платформи:

1. *Аналіз даних про вподобання користувача*.

Система повинна збирати та аналізувати дані про вподобання користувача на основі різних параметрів, таких як:

– історія покупок та переглядів товарів;

– демографічні дані, такі як вік, стать, місце проживання;

Табл. 1. Компаративний аналіз рішень

Критерій	ПриватБанк	Rozetka	HubSpot
Тип інтеграції	Інтеграція з фінансовими сервісами, чатами, банківськими системами	Інтеграція з Telegram для взаємодії з клієнтами	Інтеграція з Google Ads, Facebook, LinkedIn, Salesforce та іншими платформами
Функціональність	Управління банківськими операціями, фінансові консультації, подорожі, розваги	Пошук товарів, перегляд акцій, відстеження доставки, служба підтримки через чат-бот	Автоматизація маркетингу, управління продажами, підтримка клієнтів, аналітика
Простота використання	Досить простий інтерфейс для широкого кола користувачів	Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс через Telegram	Проста у використанні платформи, але потребує певного розуміння маркетингових процесів
Ціна	Безкоштовна, але доступна лише для преміум-клієнтів	Безкоштовна	Безкоштовна версія з обмеженим функціоналом, платні плани від $890 до $3600
Підтримка клієнтів	Чат-боти, обробка запитів, консультації по телефону	Чат-бот для автоматизації запитів, зв’язок з операторами	Чат-боти, квитки підтримки, автоматизовані відповіді
Налаштування та персоналізація	Обмежене налаштування в рамках банківських операцій	Персоналізація через чат-бот для пошуку товарів	Гнучкі налаштування, можливість створювати кастомізовані поля та дашборди
Мовна підтримка	Українська мова підтримується	Українська мова підтримується	Відсутня українська мова

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

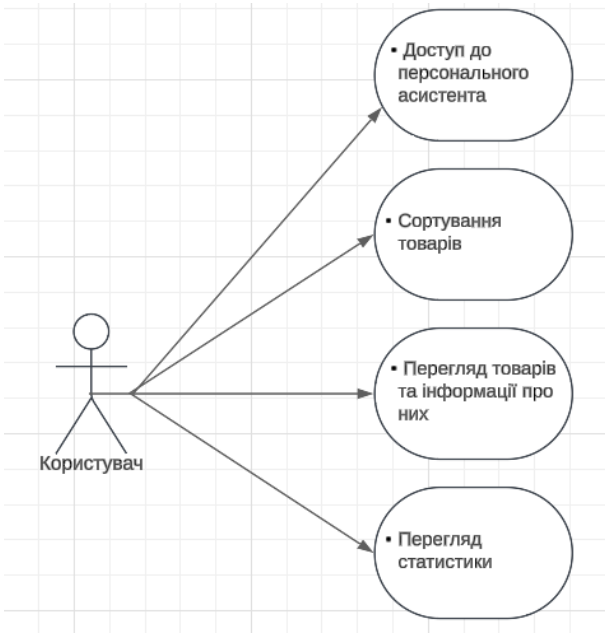

Рис. 7. Діаграма прецедентів

– поведінкові дані – час, проведений на сторінках товарів, кількість переглядів, взаємодія з різними категоріями товарів. Такий підхід дозволяє створити персоналізовані рекомендації, що полегшують процес пошуку та вибору товарів.

2. *Аналіз даних за допомогою штучного інтелекту*.

Використання алгоритмів машинного навчання є ключовим для аналізу зібраних даних. Система повинна:

– автоматично обробляти великі обсяги даних для виявлення закономірностей у вподобаннях та поведінці користувачів;

– прогнозувати подальші інтереси та вподобання користувача, щоб забезпечити йому кращі рекомендації та пропозиції;

– використовувати AI для адаптації інтерфейсу та надання допомоги користувачу на основі його історії взаємодії.

3. *Персональний асистент*.

Система повинна бути оснащена інтегрованим персональним асистентом, який буде:

– надавати допомогу у виборі товарів та послуг;

– використовувати голосові команди для спрощення взаємодії;

– інформувати користувача про стан замовлень, наявність товарів та акційні пропозиції. Персональний асистент має бути доступним на різних пристроях, що дозволяє користувачам легко взаємодіяти із системою в будь-яких умовах.

4. *Фільтрація та сортування товарів*.

Система повинна давати користувачам можливість:

– фільтрувати товари за різними параметрами (ціна, категорія, рейтинг, наявність у магазині);

– сортувати товари за популярністю, ціною, новизною тощо.

Нефункціональні вимоги системи. Нефункціональні вимоги визначають характеристики, якими повинна володіти система для забезпечення її ефективності, надійності та зручності користування, враховуючи потреби користувачів, зокрема людей з обмеженими можливостями.

1. *Продуктивність*.

Система повинна забезпечувати високу продуктивність і працювати в реальному часі. Це означає, що затримка в обробці зображень, наданні зворотного зв’язку та виконанні інших операцій повинна бути мінімальною, щоб користувачі могли швидко отримувати необхідну інформацію, особливо в умовах руху або термінових ситуацій.

2. *Надійність і стійкість до помилок*.

Система повинна бути стійкою до помилок і забезпечувати стабільну роботу навіть у випадку виникнення технічних збоїв. Для цього необхідно вбудувати механізми автоматичного відновлення та попередження користувача у разі проблем. Надійність особливо важлива для користувачів з обмеженими можливостями, оскільки їм може бути складніше справлятися з помилками або збоєм у роботі системи.

3. *Масштабованість*.

Система повинна бути здатна обробляти велику кількість користувачів та їхні запити, а також працювати з великими обсягами даних без зниження продуктивності. Це дозволить підтримувати ефективну роботу системи навіть у разі збільшення кількості користувачів, зокрема тих, хто має особливі потреби.

4. *Зручність у користуванні.*

Інтерфейс системи повинен бути інтуїтивно зрозумілим та зручним для користувачів, зокрема для людей з обмеженими можливостями. Для цього важливо забезпечити голосові підказки, які повинні бути чіткими та легко сприйнятними. Візуальні інтерфейси мають бути простими та зрозумілими, щоб користувачі могли легко взаємодіяти із системою, навіть якщо вони мають обмежену здатність до зорового сприйняття. Додатково повинна бути можливість налаштування інтерфейсу залежно від потреб конкретного користувача, зокрема зміни контрасту, шрифтів чи голосових налаштувань.

Обмеження та припущення. У процесі розробки системи необхідно враховувати такі обмеження та припущення:

1. *Умови змінного освітлення*.

Система повинна бути здатна працювати в умовах змінного освітлення, зокрема в темний час

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

доби або при сильному сонячному освітленні. Це означає, що система повинна забезпечувати коректну роботу за різних умов освітлення, використовуючи спеціальні алгоритми для адаптації до таких змін, щоб забезпечити чітке сприйняття об’єктів і перешкод.

2. *Продуктивність і залежність від якості з’єднання*.

Продуктивність системи може залежати від якості інтернет-з’єднання та точності GPS. З огляду на можливі обмеження у зв’язку або в низькій точності GPS у деяких регіонах або приміщеннях система повинна забезпечувати гнучкість у роботі за умов нестабільного з’єднання, зокрема шляхом оптимізації використання даних та зберігання критичної інформації на локальному рівні.

3. *Різний рівень технічної підготовки користувачів*.

Користувачі можуть мати різний рівень технічної підготовки, тому система повинна бути адаптована для різних категорій користувачів. Інтерфейс повинен бути простим та інтуїтивно зрозумілим як для досвідчених користувачів, так і для новачків. Це включає у себе використання чітких інструкцій, підтримку голосових підказок та адаптацію інтерфейсу під конкретні потреби користувача.

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

Процес розробки можна умовно поділити на два етапи: створення системи аналізу даних та розробку персонального асистента.

Розробка системи аналізу даних. На цьому етапі основним завданням є збирання та обробка даних для подальшого їх аналізу та прогнозування вподобань користувачів. Для цього були вибрані відповідні джерела даних, такі як результати опитувань, інформація з відкритих джерел (наприклад, портал ДІЯ), а також специфічні характеристики покупок.

Важливими параметрами для аналізу були:

– *Вік та стать покупців* – дають змогу визначити демографічні тенденції у покупках.

– *Категорії товарів* – дозволяють побачити, які групи товарів найчастіше купуються, що допомагає краще прогнозувати вподобання.

– *Кількість покупок та ціна за одиницю товару* – використовуються для аналізу економічної доступності та купівельних звичок.

– *Платіжний метод, дата покупки та місце покупки* – важливі для вивчення моделей платіжної поведінки та сезонних змін у попиті.

Ці дані проходять етап попередньої обробки, включаючи очищення від шуму та перевірку на коректність, що дозволяє забезпечити точність подальших прогнозів.

Розробка персонального асистента. Наступним етапом є розробка персонального асистента, який інтегрує мовну модель GPT-4o-mini [9], вибрану для цієї мети через її високу ефективність у роботі з текстовими даними та здатність генерувати природні відповіді і включає у себе такі кроки:

1. *Інтеграція GPT-4o-mini*. Для інтеграції мовної моделі використано API від OpenAI, зокрема OPEN_AI_API_KEY, який забезпечує доступ до моделі. API дозволяє здійснити автентифікацію користувача, що є необхідним для подальшої взаємодії з чат-системою. Такий підхід забезпечує безпеку доступу та контроль за використанням сервісу.

2. *Запит до мовної моделі (prompt)*. Кожен запит, який надсилається до мовної моделі, формулюється у вигляді спеціального запиту – prompt, що є текстовим описом проблеми чи питання, на яке система повинна дати відповідь. Цей запит передається через API, його результатом є відповідь від GPT-4o-mini (рис. 8).

3. *Додаткові поля (message)*. Окрім основного запиту, використовуються додаткові параметри,

Рис. 8. Верхньорівнева структура системи

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

зокрема поле message, яке допомагає моделі покращити якість її роботи. Це поле не тільки містить додаткові інструкції або контекст для кращого розуміння запиту, але й функціонує як механізм заохочення, стимулюючи модель до більш точної та релевантної відповіді.

4. *Використання датасету*. У процесі формулювання відповіді важливим є також використання специфічного датасету (наприклад, [10]), який містить дані, що допомагають моделі генерувати точніші та більш персоналізовані відповіді. Це може бути, наприклад, інформація про попередні покупки користувача чи його вподобання. Датасет використовуються для кращого навчання та підготовки до відповіді, а також для оптимізації персоналізації.

5. *Результат роботи.* Після обробки запиту мовною моделлю результатом є текстова відповідь, яка надається користувачу. Ця відповідь формується на основі контексту запиту, а також з урахуванням попереднього досвіду взаємодії з користувачем.

Наступним кроком розробки є створення системи аналізу вподобань українського покупця. Для цього етапу вибрано підхід, який передбачає використання датасету, що складається з різноманітних даних про покупки та демографічні характеристики користувачів. Ці дані забезпечують основу для створення моделі, яка дозволяє аналізувати споживчі звички та формулювати персоналізовані рекомендації.

Деталізація етапу:

1. *Джерела даних*.

– *Результати опитувань.* Для створення детальної картини вподобань українських покупців було проведено опитування серед різних категорій користувачів. Це дозволило зібрати первинні дані про переваги покупців, їхні звички, улюблені категорії товарів, платіжні методи та інші важливі аспекти їхньої поведінки.

– *Інформація з відкритих джерел (портал ДІЯ)* [4]. Доповненням до результатів опитувань стали дані (наприклад, перетворення текстових даних у числові значення).

– *Візуалізація даних*. Створення графіків та діаграм для аналізу основних тенденцій, таких як розподіл покупок за категоріями товарів, зміни у попиті за періодами часу, середні витрати покупців тощо. Це дозволяє легко виявити патерни та закономірності (рис. 9–12).

4. *Прогнозування майбутніх покупок*. На основі цих оброблених даних створюється модель, яка може прогнозувати майбутні покупки покупців. Для цього використовуються методи машинного навчання, зокрема нейронні мережі, які навчаються на історичних даних. Модель на основі минулих покупок і вподобань передбачає, які товари можуть бути цікаві користувачеві в майбутньому. Це дозволяє формувати персоналізовані рекомендації для кожного покупця.

Для прогнозування майбутніх покупок використано глибоку нейронну мережу (Deep Neural Network, DNN), яка складається з кількох прихованих шарів. Для її реалізації використано TensorFlow [11]. Результати прогнозування за допомогою розробленої мережі наведено на рис. 13–14.

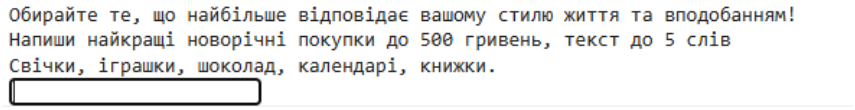

Рис. 9. Результат роботи персонального асистента

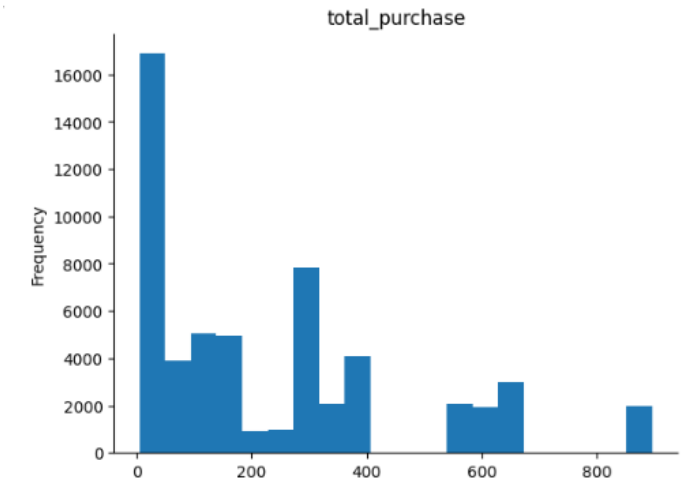

Рис. 10. Загальна вартість покупок (долари США)

Т3. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

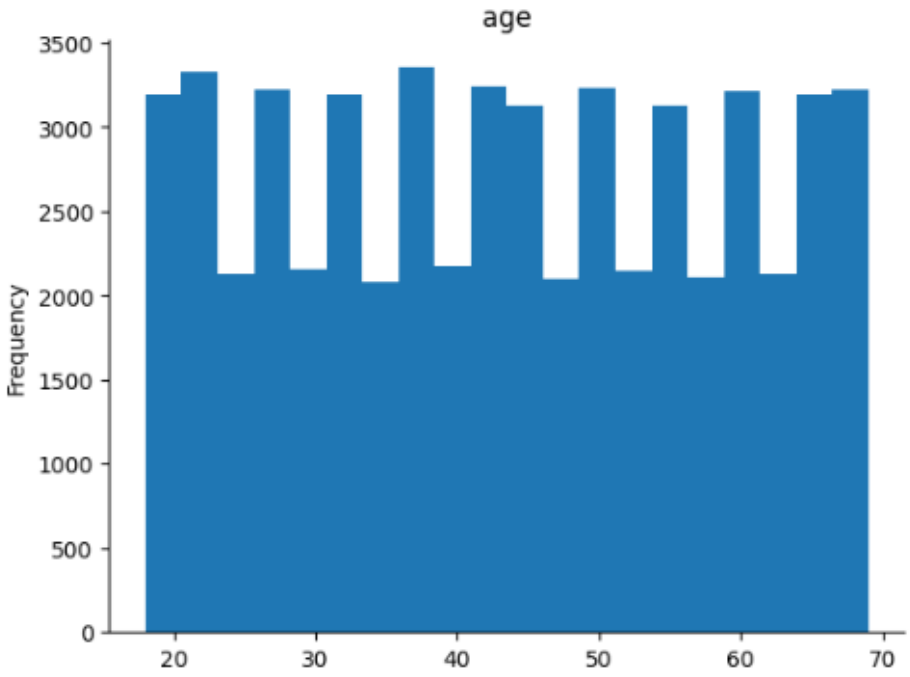

Рис. 11. Вік покупців

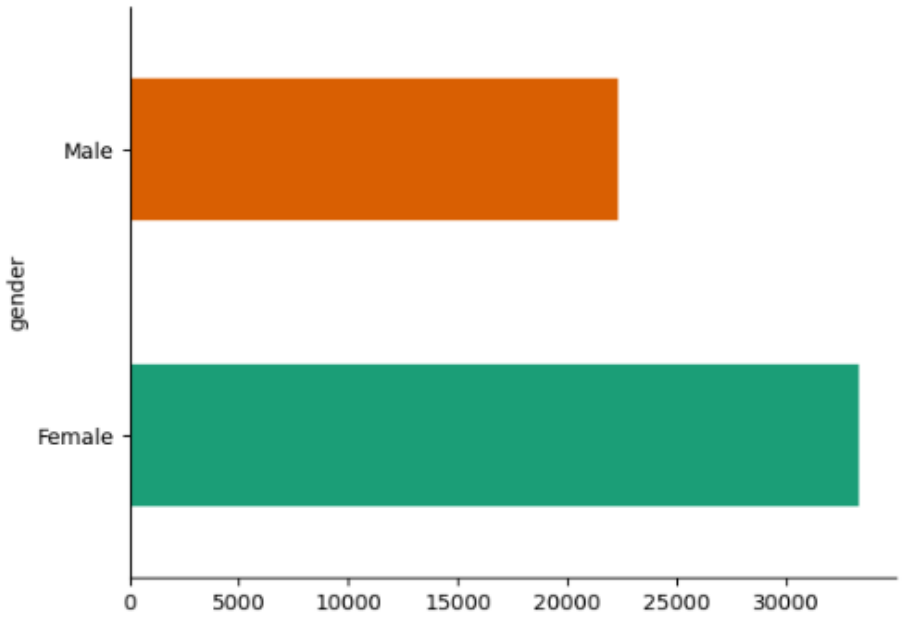

Рис. 12. Стать опитаних покупців

Як видно з представлених результатів, завдання аналізу даних, візуалізації та прогнозування виконуються на високому рівні, що підтверджує ефективність розробленої системи.

Висновки

У статті розглянуто процес розробки системи аналізу вподобань українського покупця з використанням елементів штучного інтелекту та інтегрованого персонального асистента. Проведений аналіз наявних рішень показав, що більшість сучасних систем персоналізації обмежені у своїх можливостях і не використовують передові технології штучного інтелекту, такі як мовні моделі GPT. В результаті запропоноване рішення на основі інтелектуальних алгоритмів значно покращує

ISSN 2786-9024

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

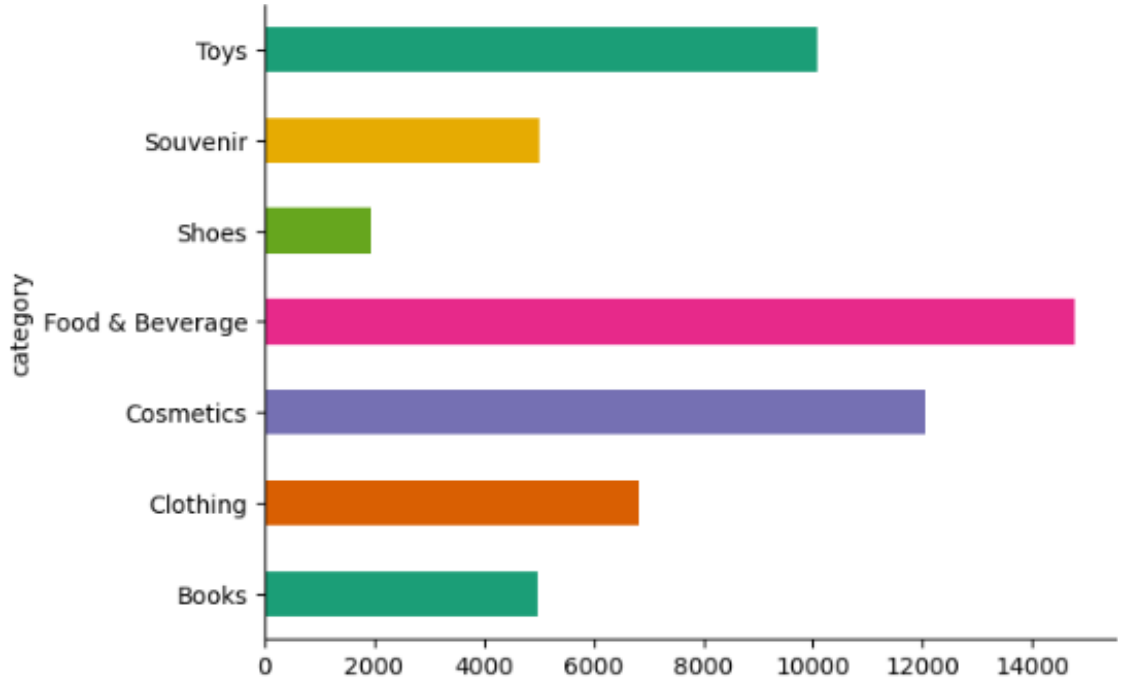

Рис. 13. Категорія товарів

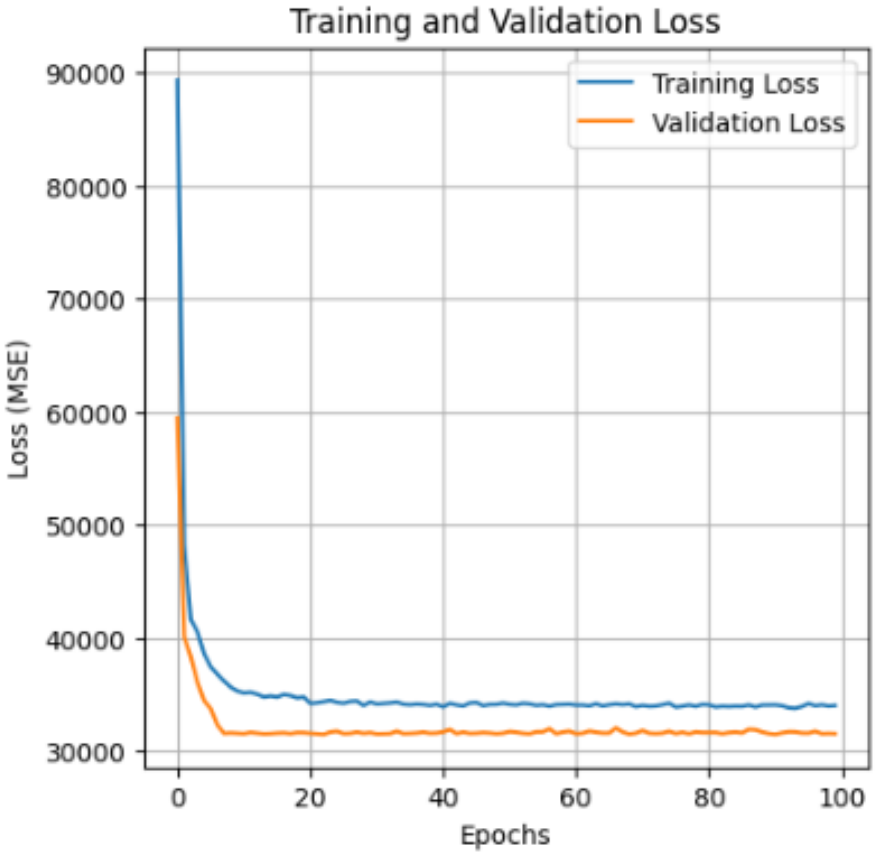

Рис. 14. Втрати під час навчання моделі

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

Рис. 15. Прогноз нейронної мережі

якість прогнозування вподобань та взаємодії з користувачем.

У процесі визначення функціональних вимог виявлено, що система повинна включати можливості аналізу вподобань користувача на основі різноманітних параметрів. Це дозволяє створити систему, здатну персоналізувати досвід покупок, покращуючи взаємодію з покупцем. Крім того, були визначені нефункціональні вимоги, серед яких особлива увага була приділена надійності, масштабованості та зручності інтерфейсу, що особливо важливо для користувачів з різними рівнями технічної підготовки та для осіб з обмеженими можливостями.

Розробка персонального асистента на основі мовної моделі GPT дозволяє ефективно взаємодіяти з користувачем, надаючи йому зручні інтерфейси та голосові підказки. Така система не лише забезпечує персоналізовані рекомендації, але й покращує взаємодію користувача з платформою завдяки інтеграції штучного інтелекту в усі етапи взаємодії.

Таким чином, запропонована система аналізу вподобань українського покупця є потужним інструментом для створення персоналізованих рекомендацій і прогнозування майбутніх покупок. Вона має потенціал значно покращити досвід покупок, роблячи його більш зручним і адаптованим до індивідуальних потреб користувачів, що може суттєво підвищити ефективність функціонування електронної комерції в Україні.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно цього дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Програмний код викладено для вільного доступу за посиланням: https://github.com/Sirkulya-cpp/Diplom.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Litslink. GPT-4 Turbo Assistant: The Ultimate Tool for Building AI Solutions. Litslink Blog, 2024. [Онлайн]. URL: https://litslink.com/blog/gpt-4-turbo-assistant. Дата звернення: 10.11.2024.

[2] Nguyen D.-N., Nguyen V.-H., Trinh T., Ho T., and Le H.-S. A personalized product recommendation model in e-commerce based on retrieval strategy. J. Open Innov. Technol. Market Complexity, vol. 10, no. 2, p. 100303, Jun. 2024, DOI: 10.1016/j.joitmc.2024.100303.

[3] Suchacka G., and Stemplewski S. Application of Neural Network to Predict Purchases in Online Store. Information

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

Systems Architecture and Technology: Proceedings of 37th International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2016. Part IV. Z. Wilimowska, L. Borzemski, A. Grzech, and J. Świątek, Eds., vol. 524, Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham, 2017, pp. 213–222. DOI: 10.1007/978-3-319-46592-0_19.

[4] Державний портал відкритих даних «Дія». Портал відкритих даних України. Дані, використані для аналізу споживчих вподобань. [Онлайн]. URL: https://diia.data.gov.ua/info-center. Дата звернення: 10.11.2024.

[5] Rozetka – Інтернет-магазин. Інформація про можливості та функціонал інтернет-магазину Rozetka. [Онлайн]. URL: https://rozetka.com.ua. Дата звернення: 10.11.2024.

[6] АТБ-Маркет. Офіційний сайт мережі магазинів АТБ. Інформація про акції, сортування товарів та доступний функціонал.[Онлайн].URL:https://www.atbmarket.com. Дата звернення: 10.11.2024.

[7] ПриватБанк – Офіційний сайт. Інформація про персональний асистент «Консьєрж-сервіс» та інші сервіси банку. [Онлайн]. URL: https://privatbank.ua. Дата звернення: 10.11.2024.

[8] HubSpot CRM. Опис функціоналу CRM-системи HubSpot, її можливостей та обмежень. [Онлайн]. URL: https://www.hubspot.com. Дата звернення: 10.11.2024.

[9] OpenAI API Documentation. Опис можливостей інтеграції GPT-4o-mini через OpenAI API для створення персонального асистента. [Онлайн]. URL: https://platform.openai.com/docs. Дата звернення: 10.11.2024.

[10] Google Trends. Аналіз пошукових запитів користувачів для виявлення трендів та вподобань. [Онлайн]. URL: https://trends.google.com. Дата звернення: 10.11.2024.

[11] TensorFlow Documentation. Офіційна документація TensorFlow для створення та навчання нейронних мереж. [Онлайн]. URL: https://www.tensorflow.org. Дата звернення: 10.11.2024.

ANALYSIS SYSTEM OF UKRAINIAN CONSUMER PREFERENCES WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS AND AN INTEGRATED PERSONAL ASSISTANT

Dmytro Sirko, Iaroslav Dorogyy

The article discusses a system for analyzing the preferences of Ukrainian consumers, which uses elements of artificial intelligence and an integrated personal assistant to improve the personalization process in e-commerce. The main functional and non-functional requirements for such a system are defined, ensuring it provides users with an intuitive interface, fast processing of requests, and effective product recommendation personalization. An important feature of the system is the use of the GPT-4o-mini language model to create an integrated personal assistant capable of recognizing user needs and suggesting relevant products based on their preferences and previous purchases.

The development process of the system included two main stages: creating a data analysis system for buyers and developing a personal assistant. A dataset was used for analyzing consumer preferences, including parameters such as age, gender, product category, purchase quantity, unit price, payment method, and other characteristics. Using this data, several graphs were built to reflect consumer behavior trends, which allows for more accurate predictions of future purchases.

At the same time, the system was equipped with the ability to predict future purchases based on neural networks, enabling the prediction of upcoming purchases using machine learning algorithms. The development of this part of the system ensured prediction accuracy and minimized losses during the model training phase. The created neural network showed effectiveness in predicting user behavior, contributing to an enhanced level of personalization and ease of shopping for each user.

The article also analyzes existing solutions in the field of artificial intelligence and personalized recommendation systems used in e-commerce. This analysis helps to identify the strengths and weaknesses of such systems and find ways to improve them for implementation in the Ukrainian market. Furthermore, the proposed solutions combine advanced technologies and user-friendliness, ensuring the system’s successful adaptation to the needs of Ukrainian consumers.

Keywords: *Ukrainian customer, preferences, artificial intelligence, personal assistant, app, system, analysis.*

REFERENCES

[1] Litslink. GPT-4 Turbo Assistant: The Ultimate Tool for Building AI Solutions. Litslink Blog, 2024. [Online]. URL: https://litslink.com/blog/gpt-4-turbo-assistant. Accessed: 10.11.2024.

[2] Nguyen D.-N., Nguyen V.-H., Trinh T., Ho T., and Le H.-S. A personalized product recommendation model in e-commerce based on retrieval strategy. J. Open Innov. Technol. Market Complexity, vol. 10, no. 2, p. 100303, Jun. 2024. DOI: 10.1016/j.joitmc.2024.100303.

[3] Suchacka G., and Stemplewski S. Application of Neural Network to Predict Purchases in Online Store. Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 37th International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2016. Part IV, Z. Wilimowska, L. Borzemski, A. Grzech, and J. Świątek, Eds., vol. 524, Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham, 2017, pp. 213–222. DOI: 10.1007/978-3-319-46592-0_19.

[4] Derzhavnyy portal vidkrytykh danykh “Diya”. Portal vidkrytykh danykh Ukrayiny. Danyi, vykorystani dlya analizu spozhyvchykh vpodoban. [Online]. URL: https://diia.data.gov.ua/info-center. Accessed: 10.11.2024.

ТЗ. №4(36)’2025 https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).316388

[5] Rozetka – Internet-mahazyn. Informatsiya pro mozhlyvosti ta funktsional internet-mahazynu Rozetka. [Online]. URL: https://rozetka.com.ua. Accessed: 10.11.2024.
[6] ATB-Market. Ofitsiynyy sayt merezhi mahazyniv ATB. Informatsiya pro aktsiyi, sortuvannya tovariv ta dostupnyy funktsional. [Online]. URL: https://www.atbmarket.com. Accessed: 10.11.2024.
[7] PrivatBank – Ofitsiynyy sayt. Informatsiya pro personal’nyy asystent ‘Kons’yerzh-servis’ ta inshi servisy banku. [Online]. URL: https://privatbank.ua. Accessed: 10.11.2024.
[8] HubSpot CRM. Opys funktsionalu CRM-systemy HubSpot, yiyi mozhlyvostey ta obmezhen’. [Online]. URL: https://www.hubspot.com. Accessed: 10.11.2024.
[9] OpenAI API Documentation. Opys mozhlyvostey intehratsiyi GPT-4o-mini cherez OpenAI API dlya stvorennya personal’noho asystenta. [Online]. URL: https://platform.openai.com/docs. Accessed: 10.11.2024.
[10] Google Trends. Analiz poshukovykh zapytiv korystuvachiv dlya vyjavlennya trendiv ta vpodobannya. [Online]. URL: https://trends.google.com. Accessed: 10.11.2024.
[11] TensorFlow Documentation. Ofitsiyna dokumentatsiya TensorFlow dlya stvorennya ta navchannya neyronnykh merezh. [Online]. URL: https://www.tensorflow.org. Accessed: 10.11.2024.

НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація»

Всеукраїнський науковий збірник
Заснований у липні 1998 року
Виходить 2 рази на рік

Мови видання: українська, англійська (змішаними) мовами.

Т3. № 4(36)'2025

Підписано до друку 10.06.2025. Формат 60×84/8.
Папір офсетний. Гарнітура Calibri. Цифровий друк.
Умовно друк. арк. 6,05. Тираж 150. Замовлення № 0525/420.

Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022