

Міністерство освіти і науки України  
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Представництво "Польська академія наук" в Києві  
AGH університет "Гірничо-металургійна академія  
імені Станіслава Сташціа в Кракові", Польща  
Вінницький національний технічний університет  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
Національний авіаційний університет  
Тернопільський національний економічний університет  
Економічна академія "Д.А.Ценов", Болгарія  
Лудзький університет, Польща  
Штутгартський університет, Німеччина  
Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (ІЕЕЕ), Українська секція  
Громадська організація "Івано-Франківський ІТ кластер"

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

**Матеріали  
міжнародної науково-технічної конференції  
молодих вчених, аспірантів та здобувачів вищої освіти**

**17–19 грудня 2025 року  
Івано-Франківськ, Україна**

**COMPUTER SCIENCE,  
INFORMATION TECHNOLOGIES  
AND MANAGEMENT SYSTEMS**

**Proceedings  
of the International Scientific Young Scientists Conference**

**CSYSC-2025**

**2025, December, 17–19  
Ivano-Frankivsk, Ukraine**

Івано-Франківськ  
2025

УДК 004+005

*Науковий редактор*

докт. техн. наук, проф. **Л.Б. Петришин** (КНУ; AGH University)

*Рецензенти:*

д.т.н., проф. **В.В. Безкоровайний**;

д.т.н., проф. **М. Дудек**;

д.т.н., проф. **В.М. Синеглазов**.

**Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління** : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та здобувачів вищої освіти, м. Івано-Франківськ, 17–19 грудня 2025 року. Електронне видання / наук. ред. Л. Б. Петришин. Івано-Франківськ : Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2025. 313 с.

**ISBN 978-966-640-624-1**

Збірник містить матеріали Міжнародної науково-технічної конференції з галузі комп'ютерних наук, інформаційних технологій, систем управління та ігрового програмного забезпечення.

**УДК 004+005**

**ISBN 978-966-640-624-1**

© Колектив авторів, 2025

© КНУ ім. В. Стефаника, 2025

<b>Зміст</b> .....	<b>3</b>
1. Мобільний застосунок для відстеження переглянутих фільмів та книг із рекомендаціями на основі алгоритмів штучного інтелекту <b>Анастасія Будзак та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>10</b>
2. Глибинні згорткові автоенкодери для стиснення растрових зображень <b>Вікторія Бабала та Віталій Горслов</b> .....	<b>14</b>
3. Колекційна карткова гра із ботами на основі алгоритмів штучного інтелекту <b>Віталій Козьмин та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>18</b>
4. Веб-платформа для комунікації з підтримкою мультимедіа та реального часу <b>Кузів Роман</b> .....	<b>21</b>
5. Аналіз невідповідності візуальних кластерів та медичних діагнозів у задачах автоматичної класифікації дерматоскопічних зображень <b>Дмитро Кузьменко та Ігор Гребеннік</b> .....	<b>25</b>
6. Інформаційна система підтримки публікації, оцінювання та аналітики наукових і літературних матеріалів <b>Богач Надія та Семаньків Марія</b> .....	<b>31</b>
7. Система розпізнавання аномалій у ДНК на основі моделей обробки природної мови <b>Наталія Руденко та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>36</b>
8. Інтерактивна ігрова модель візуалізації чотиривимірного простору <b>Калин Богдан</b> .....	<b>40</b>
9. Система підтримки управління академічними процесами та аналітики у вищому навчальному закладі <b>Буковецька Каріна та Семаньків Марія</b> .....	<b>43</b>
10. Система створення інтерактивних художніх сцен із асистентом на основі алгоритмів штучного інтелекту <b>Мацьків Андрій та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>48</b>

11. Система обліку та моніторингу практики студентів вищих навчальних закладів <b>Андрухів Богдан</b> .....	<b>52</b>
12. Game-Based Technologies as a Tool for Developing Students` Creative Thinking <b>Oleksandr Obydalo and Svitlana Ponomarova</b> .....	<b>55</b>
13. Parallel Computing in Game Development <b>Oleksandr Obydalo and Svitlana Ponomarova</b> .....	<b>59</b>
14. Системи планування особистих подій із елементами інтелектуального аналізу Богдан Новоселецький.....	<b>63</b>
15. Аналіз сучасних технологій модифікації та генерації цифрових зображень <b>Василь Паранюк та Юрій Ляш</b> .....	<b>67</b>
16. Алгоритми клітинних автоматів для генерації рівнів у комп'ютерних іграх <b>Антоняк Володимир</b> .....	<b>71</b>
17. Система моніторингу мережевого трафіку з інтерактивною візуалізацією карти мережі <b>Паланій Орест та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>75</b>
18. Агент штучного інтелекту для адаптивного планування та прийняття рішень у ігровому середовищі у режимі реального часу <b>Іван Дуцак та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>79</b>
19. Аналіз ефективності різних архітектур нейронних мереж у задачі розв'язання sudoku <b>Павлюк Віталій та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>83</b>
20. Інформаційна система косметологічної клініки із веб-асистентом на основі штучного інтелекту для розпізнавання шкірних захворювань <b>Валентин Олійник та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>87</b>
21. Система для реалізації збору благодійних внесків на основі крипто-технологій <b>Андрій Юрків та Юрій Стрілецький</b> .....	<b>90</b>

22. Фреймворк для навантажувального тестування систем електронної комерції <b>Сенич Дмитро</b> .....	<b>95</b>
23. Integrating Artificial Intelligence into the Educational Process for Learning Traffic Rules <b>Yelyzaveta Zelenchenkova and Tetiana Shamanina</b> .....	<b>99</b>
24. Система підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку <b>Артем Артеменко, Людмила Колесник</b> .....	<b>103</b>
25. Інтелектуальна система аналізу логів веб-застосунків для виявлення несправностей <b>Денис Сем'яник, Михайло Петришин</b> .....	<b>107</b>
26. Нова типографіка в інтерфейсах: як шрифти впливають на довіру <b>Цеменко Марина Юрїївна та Морозова Анна Іванівна</b> .....	<b>111</b>
27. Research on the Model and Implementation Options for Optimizing Route Construction Using the Google Maps API <b>Nahorni Ivan and Roxana Petrova</b> .....	<b>115</b>
28. Fluid Motion Simulation in Game Applications <b>Oleksandr Obydalo and Svitlana Ponomarova</b> .....	<b>118</b>
29. Веб-застосунок підтримки саморозвитку на основі формалізованого представлення цілей та алгоритмічного планування <b>Гетьманська Олександра, Семаньків Марія</b> .....	<b>122</b>
30. Система управління манікюрним салоном із онлайн-конструктором та веб-асистентом на основі алгоритмів штучного інтелекту <b>Діана Федик та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>126</b>
31. Мобільний застосунок для догляду за кімнатними рослинами із рекомендаціями на основі алгоритмів штучного інтелекту <b>Денис Прокоп'юк та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>130</b>
32. Cooperative Deep Reinforcement Learning Framework for Efficient Traffic Light Control on an Isolated Intersection <b>Lytvynenko Mykhailo and Rebezyuk Leonid</b> .....	<b>134</b>

33. Інформаційна система для продажу автомобілів із 3D-візуалізацією на основі алгоритмів штучного інтелекту та веб-інтерфейсом <b>Мочернюк Назар та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>138</b>
34. Виявлення фейкових новин у соціальних мережах за допомогою глибинних мереж <b>Гречин Ірина та Ровінський Віктор</b> .....	<b>142</b>
35. Інформаційна система для публікування художніх творів із модерацією текстів на основі алгоритмів штучного інтелекту та веб-інтерфейсом <b>Денис Куцінський та Артем Ізмайлов</b> .....	<b>146</b>
36. Система онлайн-продажу одягу <b>Олександр Білий</b> .....	<b>150</b>
37. Розробка гри з елементами штучного інтелекту для NPC <b>Гейко Андрій</b> .....	<b>153</b>
38. Машинне навчання у системах електронної комерції <b>Лахманюк Ганна, Горелов Віталій</b> .....	<b>157</b>
39. Розробка інформаційної системи управління фінансами користувача з аналітикою витрат <b>Колодніцьки Роман</b> .....	<b>160</b>
40. Електронна бібліотека з функцією перегляду книг <b>Христина Палій та Віктор Ровінський</b> .....	<b>164</b>
41. Компілятор сценаріїв візуальних новел <b>Рудий Вячеслав та Петришин Михайло</b> .....	<b>167</b>
42. Інтерактивна семантична карта знань з використанням Python та Django <b>Коцко Андрій</b> .....	<b>172</b>
43. Ідентифікація особи на цифровому зображенні із використанням машинного навчання <b>Книш Владислав</b> .....	<b>176</b>
44. Браузерний застосунок для управління персональними фінансами з AI-модулем рекомендацій <b>Желіховська Тетяна</b> .....	<b>180</b>

45. Система управління процесами коворкінг-простору <b>Марта Бодник та Наталія Превисокова</b>	<b>184</b>
46. Веб-платформа обліку та моніторингу студентів вищих навчальних закладів <b>Кісляк Андрій</b>	<b>187</b>
47. Аналіз систем автоматизації піцерії <b>Сергій Бедей</b>	<b>191</b>
48. Моделювання інформаційної системи для пошуку та відтворення аудіоконтенту <b>Вікторія Толстая та Наталія Превисокова</b>	<b>194</b>
49. Веб-застосунок для організації бібліотеки та інтерактивного спілкування з персонажами творів на основі алгоритмів штучного інтелекту <b>Любов Турчин та Артем Ізмайлов</b>	<b>199</b>
50. Система перевірки якості передачі даних камери та мікрофона на основі алгоритмів машинного навчання <b>Дмитро Наумець та Артем Ізмайлов</b>	<b>203</b>
51. Problems of the deep learning neural networks output da-ta quality assessment <b>HALAICHUK Y.V., MIROSHNYK M.A.</b>	<b>207</b>
52. Візуальна новела <b>Гоян Олександр та Михайло Петришин</b>	<b>210</b>
53. Система управління мережею закладів харчування із рекомендаціями на основі алгоритмів штучного інтелекту <b>Артур Олексюк та Артем Ізмайлов</b>	<b>215</b>
54. Android-додаток кур'єра служби доставки <b>Бащук Ростислав</b>	<b>219</b>
55. Інтегроване управління медичним обслуговуванням пацієнтів <b>Гараздюк Іван та Семаньків Марія</b>	<b>222</b>
56. Аналіз сучасних технологій модифікації та генерації цифрових зображень <b>Андрій Тарас та Юрій Стрілецький</b>	<b>226</b>

57. Створення веб-платформи для підбору медіа-контенту на основі гібридної моделі машинного навчання <b>Бернацький Євгеній</b> .....	<b>230</b>
58. Інформаційно-аналітична мобільна система для підтримки здорового харчування <b>Пліхтяк Микола та Семаньків Марія</b> .....	<b>233</b>
59. Система прогнозування продажів на основі нейронних мереж <b>Рудка Артем</b> .....	<b>237</b>
60. Розробка системи гейміфікації продуктивності з адаптивним визначенням пріоритетності завдань <b>Кучірка Любомир та Лідія Штаєр</b> .....	<b>239</b>
61. Адаптивна освітня платформа на основі поведінки користувача <b>Сигіль Степан</b> .....	<b>243</b>
62. Система моніторингу мережевого трафіку Windows <b>Букатюк Іван</b> .....	<b>246</b>
63. Розробка веб-застосунку для організації особистих завдань з моделлю прогнозування навантаження користувача <b>Микола Фецяк, Лідія Штаєр</b> .....	<b>249</b>
64. Система підтримки кулінара з інтерактивним формуванням меню на основі наявних інгредієнтів <b>Айб Олександр</b> .....	<b>254</b>
65. Багатомовна комунікаційна платформа для міжнародних знайомств із функцією автоматичного перекладу <b>Часовщиков Юрій та Віктор Ровінський</b> .....	<b>258</b>
66. Машинне навчання у системах електронної комерції <b>Лахманюк Ганна</b> .....	<b>262</b>
67. Система прийняття підприємницьких рішень в умовах невизначеності і ризику <b>Артем Нестерук та Наталія Превисокова</b> .....	<b>265</b>
68. Особливості системи аналізу медичних зображень із використанням методу опорних векторів <b>Катерина Гоцуляк та Володимир Кобзєв</b> .....	<b>269</b>

69. Використання методів рішення диференціальних рівнянь в комп'ютерній інженерії <b>Павло Буйлін та Наталія Назарова</b> .....	<b>273</b>
70. Огляд та застосування матричних методів у комп'ютерній графіці <b>Максім Доманський та Наталія Назарова</b> .....	<b>277</b>
71. Огляд методів варіаційного числення та їх використання для інформаційних технологій <b>Артем Фатаєв та Наталія Назарова</b> .....	<b>281</b>
72. Порівняльний аналіз можливостей систем комп'ютерної математики для розв'язування різних типів рівнянь <b>Вероніка Каспар та Наталія Назарова</b> .....	<b>286</b>
73. Застосування комбінаторних принципів у розв'язанні задач оптимізації <b>Станіслав Муленко та Наталія Назарова</b> .....	<b>290</b>
74. Застосування математичного моделювання в криптографії <b>Максим Теплов та Наталія Назарова</b> .....	<b>294</b>
75. Аналіз даних за допомогою методів регресійного аналізу <b>Аллен Укачукву та Наталія Назарова</b> .....	<b>298</b>
76. Огляд методів визначення позитивності матриць <b>Дмитро Войтков та Наталія Назарова</b> .....	<b>302</b>
77. Web-System for Travel Route and Points of Interest Review and Rating <b>Oleksandr Petrykov, Vitaliy Lyapota, Oleksii Nazarov</b> .....	<b>306</b>
78. Використання неблокуючих підходів для реалізації контейнерів у високоефективних інформаційних системах <b>Andrii Strelchenko, Artem Khovrat and Volodymyr Kobziev</b> .....	<b>310</b>

# Мобільний застосунок для відстеження переглянутих фільмів та книг із рекомендаціями на основі алгоритмів штучного інтелекту

Анастасія Будзак<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студентка, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

budzak.anastasiia@comp-sc.if.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Представлено мобільний застосунок «Media Tracker», призначений для відстеження переглянутих фільмів і прочитаних книг користувачів. Система забезпечує зручне керування особистою медіабібліотекою та формування рекомендацій на основі індивідуальних уподобань.

**Ключові слова:** Медіа, Персоналізовані рекомендації, Трекер, Штучний інтелект.

## Mobile Application for Tracking Watched Movies and Read Books Using Artificial Intelligence-Based Recommendations

Anastasiia Budzak<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

budzak.anastasiia@comp-sc.if.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** A mobile application «Media Tracker» has been presented to track users' watched films and read books. The system provides convenient management of a personal media library and generates recommendations based on individual preferences.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Media, Personalized Recommendations, Tracker.

## 1 Вступ

У контексті зростання обсягів цифрового контенту та популярності онлайн-платформ користувачі дедалі частіше стикаються з проблемою впорядкування переглянутого матеріалу та пошуку нових рекомендацій відповідно до власних інтересів [1, 2, 3].

Актуальність дослідження визначається потребою у створенні зручного інструменту, який дозволить автоматизувати процес обліку переглянутих фільмів і прочитаних книг та забезпечить формування персоналізованих рекомендацій із використанням технологій штучного інтелекту.

Метою дослідження є розробка мобільного застосунку «Media Tracker», який забезпечує користувачам можливість вести власну медіабібліотеку, відстежувати перегляди та отримувати рекомендації, які сформовані на основі індивідуальних уподобань за допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

Практична значимість роботи полягає у створенні сучасного кросплатформного рішення, яке поєднує інструменти React Native [4], Firebase [5] та відкриті джерела даних (TMDB, Open Library). Запропонований застосунок сприяє підвищенню ефективності взаємодії користувачів із медіаконтентом, розширює можливості персоналізації та демонструє приклад практичного застосування інтелектуальних технологій у мобільних системах повсякденного користування.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сучасні користувачі активно споживають медіаконтент – фільми, серіали, книги, аудіокниги. Зі зростанням кількості ресурсів з'являється потреба у зручних інструментах для впорядкування переглядів і отримання персоналізованих рекомендацій. Найпопулярнішими рішеннями у цьому контексті на даний момент є:

- Letterboxd [1] – соціальна мережа для кіноманів із привабливим інтерфейсом, рейтингами та добірками. Недоліки: відсутність української мови, підтримки книг і можливості додавання власного контенту.
- Goodreads [2] – сервіс для читачів із великою базою видань та системою рецензій. Мінуси: застарілий інтерфейс, відсутність інтеграції з фільмами та українізації.
- Taste.io [3] – ресурс із рекомендаціями фільмів за схожістю уподобань, однак не підтримує книги чи серіали й доступний лише англійською.

Жоден із цих сервісів не забезпечує комплексного обліку фільмів і книг одночасно, не має україномовного інтерфейсу й можливості додавання власного контенту.

### 3 Запропоноване рішення

Мобільний застосунок «Media Tracker» призначений для ведення особистої медіабібліотеки, створення добірок і отримання рекомендацій на основі уподобань користувача. Основними перевагами, які доступні користувачеві є:

- облік переглянутих і запланованих фільмів та книг;
- інтеграція з TMDB [6] і Open Library [7];
- додавання власних записів;
- робота ШІ-асистента, який автоматично формує рекомендації;
- перегляд статистики активності;
- українізований інтерфейс.

На головному екрані користувач переглядає контент, фільтрує його за типом і статусом, може переглянути рекомендації підібрані штучним інтелектом (рис. 1), а в профілі – бачить статистику, добірки й налаштування.

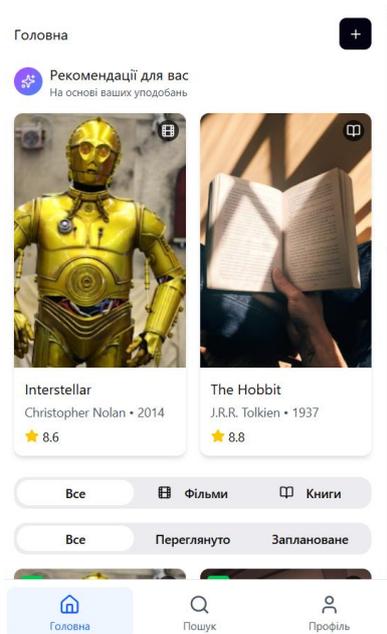


Рис. 1. Макет головного екрану з вікном роботи ШІ-асистента

Технологічна основа запропонованого рішення:

- React Native – кросплатформна розробка;
- Firebase Firestore – база даних користувачів і контенту;
- Firebase Authentication – автентифікація;
- TMDB API та Open Library API – джерела даних;

- Expo [8] – тестування й збірка;
- JavaScript (ES6+) – логіка застосунку.

Інтелектуальний модуль реалізує контентно-орієнтовану фільтрацію, що аналізує жанри, авторів і ключові слова, формуючи персональні добірки.

## Висновки

Автоматизація процесів керування персональним медіаконтентом є важливим напрямом розвитку сучасних інформаційних технологій. У цьому контексті представлений мобільний застосунок «Media Tracker» забезпечує користувачам зручний інструмент для відстеження переглянутих фільмів і прочитаних книг, формування добірок та отримання рекомендацій, згенерованих на основі індивідуальних уподобань.

Отримані результати підтверджують практичну цінність проєкту, оскільки він спрощує взаємодію користувача з великими обсягами медіаінформації, підвищує комфорт і персоналізацію користувацького досвіду.

Подальший розвиток проєкту передбачає вдосконалення алгоритмів рекомендацій із використанням моделей машинного навчання, розширення функцій спільного доступу до медіадобірок та інтеграцію із соціальними платформами.

## Література (References)

1. Letterboxd Ltd., "Social Network for Film Lovers," [Online]. Available: <https://letterboxd.com/>. [Accessed 07 11 2025].
2. Goodreads, Inc. (Amazon Company), "Book Recommendations and Reviews," [Online]. Available: <https://www.goodreads.com/>. [Accessed 07 11 2025].
3. Taste.io, "Personalized Movie Recommendations," [Online]. Available: <https://www.taste.io/>. [Accessed 07 11 2025].
4. Meta Platforms, Inc., "React Native — Framework for Building Native Apps Using React," [Online]. Available: <https://reactnative.dev/>. [Accessed 07 11 2025].
5. Google Firebase, "Firebase Documentation — Cloud Firestore and Authentication," [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs>. [Accessed 07 11 2025].
6. The Movie Database (TMDB), "API Documentation," [Online]. Available: <https://www.themoviedb.org/documentation/api>. [Accessed 07 11 2025].
7. Open Library, "Developer API," [Online]. Available: <https://openlibrary.org/developers/api>. [Accessed 07 11 2025].
8. Expo.dev, "Expo Documentation — Build and Deploy Universal Apps," [Online]. Available: <https://docs.expo.dev/>. [Accessed 07 11 2025].

# Глибинні згорткові автоенкодери для стиснення растрових зображень

Вікторія Бабала<sup>1</sup>[0009-0002-4321-9339], Віталій Горєлов<sup>2</sup>[0000-0002-2106-8704]

<sup>1</sup> студентка, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
viktoriia.babala.21@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., доцент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

**Анотація.** Розглянуто способи стиснення растрових зображень та виконано попередній аналіз класичних і нейромережових методів. Запропоновано методику навчання автокодувальників в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, що включає використання фрагментів зображень, акумуляцію градієнта та комбіновану функцію втрат. Окреслено очікуваний вплив вибору функції втрат на якість реконструкції та визначено напрями подальшого дослідження.

**Ключові слова:** Автоенкодери, Глибинне навчання, Стиснення зображень, Функція втрат.

## Deep convolutional autoencoders for raster image compression

Viktoriia Babala<sup>1</sup>[0009-0002-4321-9339] and Vitalii Horielov<sup>2</sup>[0000-0002-2106-8704]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
viktoriia.babala.21@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Associate prof., Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper examines methods of compressing digital raster images and performs a preliminary analysis of classical and neural network-based methods. A methodology for training autoencoders in the context of constrained computing resources is proposed, which includes the use of image fragments, gradient accumulation, and combined loss function. The expected impact of the choice of loss function on the quality of reconstruction is outlined and directions for further research are identified.

**Keywords:** Autoencoders, Deep learning, Image compression, Loss function.

## 1 Вступ

Зростання обсягів мультимедійних даних підвищує вимоги до ефективності методів їх зберігання та передачі. Традиційні алгоритми стиснення демонструють обмеження при низьких бітрейтах, тоді як сучасні нейромережеві моделі забезпечують вищу якість, але потребують значних обчислювальних ресурсів [1, 2].

Актуальність роботи зумовлена необхідністю розробки методик, що дозволяють отримувати високоякісні моделі глибинного стиснення за умов обмежених апаратних ресурсів. Така задача є важливою для широкого кола застосувань – від мобільних пристроїв до систем реального часу, де обчислювальні можливості є критичним фактором.

Метою роботи є дослідження методів стиснення зображень на основі глибинних згорткових автокодувальників із застосуванням методів адаптації моделей до обмежених обчислювальних ресурсів та комбінованої функції втрат, що дозволяє досягти вищих показників якості при заданому обсязі даних порівняно з існуючими методиками.

Наукова новизна полягає у запропонованій методиці навчання сучасних моделей глибинного стиснення на апаратному забезпеченні з обмеженим обсягом відеопам'яті. Також запропоновано використання комбінованої функції втрат, що узгоджує структурні та перцептивні характеристики зображення для підвищення якості реконструкції.

Практична значущість полягає у можливості застосування розробленої методики для підготовки моделей глибинного стискання на доступному масовому апаратному забезпеченні. Це сприяє зниженню вартості обчислювальних експериментів і створює умови для масштабованого впровадження методів глибинного стискання у прикладних галузях, таких як дистанційне зондування, медична візуалізація та інтелектуальні відеосистеми.

## 2 Аналіз предметної області

Стиснення зображень із втратами є задачею пошуку балансу між швидкістю передачі даних (Rate,  $R$ ) та величиною спотворень (Distortion,  $D$ ). Алгоритм, реалізований у стандарті JPEG, базується на дискретному косинусному перетворенні блоків зображення  $8 \times 8$  пікселів з подальшим квантуванням та ентропійним кодуванням [3]. Хоча цей метод є обчислювально ефективним, блочна структура призводить до появи характерних візуальних артефактів при низьких значеннях Rate, а лінійна природа перетворень обмежує здатність кодека адаптуватися до складних текстур. Більш сучасні стандарти, такі як HEVC, використовують складні методи передбачення, але залишаються алгоритмами з жорстко заданою логікою [4].

Альтернативний напрямок Learned Image Compression – розглядає стиснення як задачу наскрізної оптимізації автоенкодера [2]. Базова архітектура складається з енкодера, що перетворює вхідне зображення у латентний простір, квантувача та декодера, що відновлює зображення.

Удосконалені архітектури, такі як Scale Hyperprior, додатково включають гіпер-мережі для моделювання статистики латентного простору, що дозволяє точніше оцінити та мінімізувати бітрейт [5]. Однак, навчання таких моделей вимагає значних обсягів відеопам'яті (VRAM) для зберігання градієнтів згорткових шарів. Стандартні конфігурації передбачають використання batch size розміром 16-32 зображення, який при роздільній здатності  $256 \times 256$  вимагає від 16 до 24 ГБ VRAM [6]. Подібні вимоги суттєво обмежують можливість тренування моделей на поширеному користувацькому апаратному забезпеченні, де доступна відеопам'ять часто не перевищує 4-6 ГБ.

### 3 Запропоноване рішення

Для досягнення поставленої мети розроблено комплексне рішення, що включає оптимізовану методику навчання та модифіковану функцію втрат, орієнтовану на візуальне сприйняття.

#### 3.1 Оптимізація процесу навчання

Запропонована стратегія дозволяє навчати моделі рівня Scale Hyperprior на графічному процесорі з 4 ГБ відеопам'яті без втрати стабільності процесу збіжності. Вона складається з трьох компонентів:

1. Навчання на фрагментах – використання повних зображень замінено на вибірку випадкових фрагментів розміром  $256 \times 256$  пікселів [1]. Це забезпечує стаціонарність статистики вхідних даних та зменшує вимоги до пам'яті для зберігання карт ознак.
2. Акумуляція градієнта – для забезпечення стабільної збіжності стохастичного градієнтного спуску необхідний достатній розмір пакету (batch size  $\geq 32$ ) [6]. На обмеженому обладнанні це реалізовано шляхом накопичення градієнтів протягом  $N$  ітерацій без оновлення ваг.
3. Змішана точність – арифметичні операції згорткових шарів переведено у формат FP16, тоді як оновлення ваг та накопичення градієнтів виконується у FP32 [7]. Це дозволило зменшити використання пам'яті без втрати точності моделі.

#### 3.2 Модифікація функції втрат

Стандартна метрика Mean Squared Error (MSE) максимізує відношення сигнал/шум, але погано корелює з людським сприйняттям якості, призводячи до згладжування текстур [8]. Запропоновано використання комбінованої функції втрат:

$$L_{\text{perceptual}} = \lambda R + \alpha(1 - \text{MS-SIM}) + \beta \text{LPIPS} + \gamma \text{MSE}$$

де MS-SSIM відповідає за збереження структурної інформації на різних масштабах, а Learned Perceptual Image Patch Similarity (LPIPS) обчислює відстань між

зображеннями у просторі ознак попередньо навченої мережі VGG [8]. Включення цього компоненту спрямоване на збереження перцептивно значущих деталей та текстур. Параметри  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  є гіперпараметрами, що задаються емпірично та контролюють ваговий внесок кожного компонента втрат у загальну метрику оптимізації.

## Висновки

Запропонована методика навчання нейронних моделей стиснення зображень передбачає поєднання роботи з фрагментами зображень, акумуляції градієнта та змішаної точності обчислень, що дає змогу тренувати архітектури типу Scale Hyperprior на користувачькому апаратному забезпеченні з обмеженим обсягом відеопам'яті. Також обґрунтовано використання комбінованої функції втрат, яка поєднує MSE та перцептивну метрику LPIPS. Очікується, що включення LPIPS дозволить зменшити характерні для оптимізації за MSE спотворення, зокрема втрату текстурних деталей і блочні артефакти, замінивши їх менш помітними високочастотними відхиленнями.

Подальші дослідження передбачають перевірку ефективності запропонованої методики на розширених наборах даних, оптимізацію архітектури з урахуванням різних режимів швидкості передачі даних, аналіз взаємодії перцептивних метрик у комбінованій функції втрат та впровадження додаткових механізмів адаптації до апаратних обмежень.

## Література (References)

1. J. Balle, V. Laparra and E. P. Simoncelli, "End-to-end optimized image compression," in International Conference on Learning Representations, Toulon, 2017.
2. D. Minnen, J. Ballé and G. Toderici, "Joint autoregressive and hierarchical priors for learned image compression," in Systems, Advances in Neural Information Processing, Montreal, 2018.
3. G. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 38, no. 1, pp. 18-34, 1992.
4. H. Miska and L. Jani, "The High Efficiency Image File Format Standard," Signal Processing Magazine, IEEE, vol. 32, pp. 150-156, 2015.
5. J. Ballé, D. Minnen, S. Singh, "Variational Image Compression with a Scale Hyperprior," in International Conference on Learning Representations, Vancouver, 2018.
6. J. Rasley, S. Rajbhandari, O. Ruwase and Y. He, "DeepSpeed: System Optimizations Enable Training Deep Learning Models with Over 100 Billion Parameters," in Proceedings of the 26th International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, New York, 2020.
7. P. Micikevicius, S. Narang, J. Alben and G. Diamos, "Mixed Precision Training," in The Sixth International Conference on Learning Representations, Vancouver, 2018.
8. R. Zhang, P. Isola, E. Shechtman and O. Wang, "The Unreasonable Effectiveness of Deep Features as a Perceptual Metric," in 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018.

# Колекційна карткова гра із ботами на основі алгоритмів штучного інтелекту

Віталій Козьмін<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
vitalii.kozmyn.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Описано побудову інтелектуальної системи для PvE-режиму колекційної карткової гри “Divine Conquest”. Запропонований підхід передбачає застосування адаптивних алгоритмів штучного інтелекту для моделювання поведінки реального гравця та аналізу стану матчу. Наведено особливості формування рішень ботом та архітектурні принципи, що забезпечують динамічність і реалістичність ігрової взаємодії.

**Ключові слова:** CCG, PvE, Аналітичні алгоритми, Ігрові боти.

## Collectible Card Game with Bots Based on Artificial Intelligence Algorithms

Vitalii Kozmyn<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> Student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
vitalii.kozmyn.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper describes the development of an intelligent system for the PvE mode of the collectible card game “Divine Conquest.” The proposed approach involves the use of adaptive artificial intelligence algorithms to simulate real player behavior and analyze the state of the match. The features of the bot’s decision-making process and the architectural principles that ensure dynamic and realistic gameplay interaction are outlined.

**Keywords:** Analytical Algorithms, CCG, Game Bots, PvE.

## **1 Вступ**

У сучасній індустрії цифрових ігор значну увагу приділено розвитку систем, здатних відтворювати поведінку, наближену до людської [1, 2]. Це особливо важливо у колекційних карткових іграх, де стратегія, оцінка стану гри та прогнозування дій суперника відіграють ключову роль.

Метою дослідження є розробка гри “Divine Conquest”, яка поєднує механіку карткової гри з елементами аналітики та тактичного планування у вигляді інтелектуального PvE-бота.

Практичне значення розробки полягає у створенні більш динамічного та реалістичного ігрового досвіду у колекційній картковій грі шляхом застосування сучасних підходів до моделювання поведінки на основі штучного інтелекту.

## **2 Аналіз предметної області**

Колекційні карткові ігри характеризуються великою кількістю стратегічних рішень, що залежать від структури колоди, ресурсів, типів карт і можливих ходів суперника. При цьому, сучасні підходи до поведінкового аналізу, що базуються на багатofакторній оцінці стану середовища [2], демонструють високу ефективність у стратегічних іграх. У запропонованій грі “Divine Conquest” додаткову складність створює система трьох локацій, що формує багатовимірний простір прийняття рішень. Відповідно, інтелектуальний бот має оцінювати не лише поточний стан сил, а й перспективи розвитку гри, що узгоджується з дослідженнями стратегічних агентів та адаптивних моделей [3].

## **3 Запропоноване рішення**

У дослідженні розглядається концепція інтелектуальної системи, яка аналізує стан гри, оцінює контроль над локаціями та прогнозує можливі дії гравця. Алгоритм отримує структуровані дані про карти, характеристики, ресурси та ситуацію на трьох локаціях, після чого формує рішення, що відповідає поточному етапу матчу. Запропонована модель змінює стилі поведінки залежно від фаз гри: обережні дії на початку, активніше реагування в середині та прогнозування у фінальних ходах.

Модуль штучного інтелекту функціонує в межах клієнт-серверної архітектури, де сервер відповідає за обчислення та формування рішень бота, а клієнт відображає результат цих дій. На рисунку 1 наведено головне меню гри, яке демонструє клієнтську частину системи та інтерфейс користувача, через який реалізується взаємодія з ігровими модулями. Така структура дозволяє незалежно розвивати алгоритм, збирати статистику про прийняті рішення та поступово посилювати адаптивність моделі.

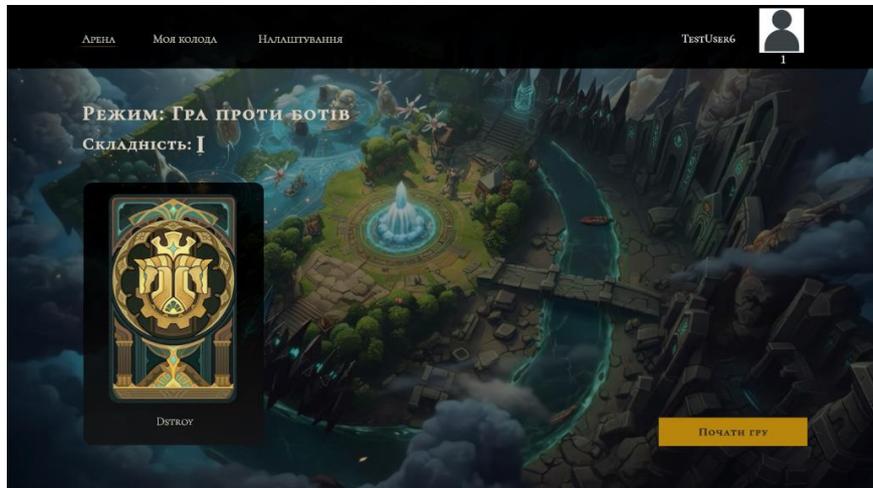


Рис. 2. Головне меню гри “Divine Conquest”

Застосовані підходи до побудови запропонованого рішення корелюють із методиками, що застосовуються у практичному розробленні ігрових AI-модулів на сучасних рушіях, зокрема Unity [4].

## Висновки

У роботі представлено концепцію інтелектуальної системи для PvE-режиму гри “Divine Conquest”, яка формує поведінку бота на основі аналізу стану гри, адаптації до змінних умов та прогнозування можливих дій гравця. Запропонований підхід забезпечує динамічну взаємодію та дозволяє моделювати поведінку, близьку до реальної, що сприяє підвищенню якості геймплею.

Подальшою перспективою є вдосконалення прогнозувальних механізмів, розширення адаптивних систем поведінки та дослідження моделей складніших PvE-сценаріїв.

## Література (References)

1. Russell, S., Norvig, P.: Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Pearson (2021). <https://aima.cs.berkeley.edu/>
2. Yannakakis, G., Togelius, J.: Artificial Intelligence and Games. Springer (2018).
3. Cowling, P., Ward, C., Powley, E.: Monte Carlo Tree Search in strategy game environments. IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games (3), 1–15 (2012). <https://ieeexplore.ieee.org/document/5967354>
4. Unity Technologies: Implementing Game AI Systems. Unity Documentation (2023). <https://docs.unity.com/en-us/ai/ai-overview>

## Веб-платформа для комунікації з підтримкою мультимедіа та реального часу

Кузів Роман

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

roman.kuziv.22@gmail.pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі проводиться дослідження сучасних технологій високонавантажених систем реального часу 2025–2026 років з метою обґрунтування оптимального стеку для створення веб-платформи для комунікації в реальному часі. Порівнюються рантайми Bun, Node.js, Deno та Go, фреймворки Hono та Express, а також актуальні підходи до побудови мікросервісних архітектур. На основі аналізу планується використання Bun з Hono на бекенді та Next.js 15 на фронтенді. Планована платформа працюватиме виключно в браузері, матиме мікросервісну архітектуру та підтримку мультимедіа через WebRTC. Дослідження спрямоване на досягнення в 3–5 разів вищої продуктивності порівняно з традиційними рішеннями на Node.js.

**Ключові слова:** мікросервісна архітектура, реальний час.

## Web platform for communication with multimedia and real-time support

Kuziv Roman

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

roman.kuziv.22@gmail.pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper conducts research into modern high-load real-time technologies of 2025–2026 in order to justify the optimal stack for creating a fully open-source web communication platform. A comparative analysis of Bun, Node.js, Deno and Go runtimes, Hono and Express frameworks, as well as current microservice architecture approaches is performed. The planned platform will use Bun with Hono on the backend and Next.js 15 on the frontend, operate exclusively in the browser, and support multimedia via WebRTC. The research aims to achieve 3–5 times higher performance compared to traditional Node.js solutions.

**Keywords:** microservice architecture, real-time.

## 1 Вступ

У сучасних умовах цифрової трансформації системи онлайн-комунікації відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної взаємодії між користувачами на відстані. Популярні платформи, такі як Discord, Zoom чи Google Meet, демонструють високий рівень інтеграції мультимедійних технологій, однак здебільшого ґрунтуються на централізованих або монолітних архітектурних підходах. Така структура обмежує можливості масштабування, ускладнює впровадження нових функціональних модулів і знижує гнучкість системи. Зростання обсягів мережевого трафіку та потреби у стійких каналах зв'язку формують запит на розподілені рішення, здатні забезпечити низькі затримки й високу якість комунікації.

## 2 Постанова задачі

Метою роботи є розробка високопродуктивної веб-платформи реального часу з підтримкою текстової комунікації, обміну файлами та мультимедійного зв'язку (голос/відео) з мікро сервісною архітектурою на базі сучасного технологічного стеку 2025–2026 років.

## 3 Аналіз реалізації

У роботі проводиться аналіз реалізації високонавантажених систем реального часу з акцентом на мікросервісну архітектуру та протоколи внутрішньої взаємодії. Мікросервісний підхід передбачає розподіл системи на незалежні компоненти з чітким визначенням інтерфейсів, що забезпечує незалежне масштабування, швидке розгортання оновлень і стійкість до відмов. Для комунікації між мікросервісами традиційно використовується REST API, однак у 2025 році все більшої популярності набуває gRPC — високопродуктивний RPC-фреймворк від Google, побудований на HTTP/2 з бінарною серіалізацією Protobuf.

gRPC забезпечує в 3–10 разів менший обсяг трафіку порівняно з JSON у REST завдяки ефективній серіалізації, підтримує bidirectional streaming для реального часу (наприклад, для чатів або голосу), автоматичну генерацію коду для TypeScript, Go та інших мов, а також вбудовану підтримку аутентифікації та балансування навантаження. Аналіз 2025 року (AWS, Wallarm) показує, що gRPC перевершує REST у швидкості на 5–7 разів у мікросервісних мережах, зменшує затримку на 30–50 % і ідеально підходить для систем з мільйонами одночасних з'єднань. Однак gRPC вимагає проксі для браузерів (gRPC-Web), що ускладнює публічний API, тому в роботі планується гібридний підхід: gRPC для внутрішньої взаємодії, REST/Noop для клієнтських запитів.

Аналіз рантаймів 2025 року фокусується на Bun як альтернативі Node.js для JS/TS-екосистеми. Bun, написаний на Zig, демонструє найнижчий час запуску та вищу пропускну здатність, що критично для реального часу. Таблиця 1 ілюструє ключові метрики на основі бенчмарків 2025 року.

**Таблиця 1. Порівняння продуктивності рантаймів (2025)**

Показник	Bun (1.2+)	Node.js 22	Deno 2.0	Go 1.22
Старт сервера (cold start)	2,8–3,2 мс	38–45 мс	15–22 мс	1–2 мс
HTTP-запити/с на 1 ядро (Hello World)	118–124 тис.	38–42 тис.	68–74 тис.	92–98 тис.
50 000 одночасних WebSocket → RAM	260–300 МБ	1,1–1,4 ГБ	720–850 МБ	520–610 МБ
JSON-парсинг (операцій/с)	52–56 тис.	14–18 тис.	22–29 тис.	80–90 тис.
Час виконання 1 млн JSON-операцій	18–21 с	68–78 с	38–44 с	11–13 с
Споживання CPU під 100k req/s	38–42 %	92–100 %	68–75 %	55–62 %

Фреймворк Hono обрано для бекенду завдяки швидкості маршрутизації (3–6 разів вища, ніж Express) і нативній сумісності з Bun. Фронтенд на Next.js 15 з App Router забезпечить серверний рендеринг і оптимізацію для браузера. Мікросервісна архітектура Redis гарантує дуже високу стійкість.

## Висновок

Проведене дослідження підтверджує, що стек Bun + Hono + Next.js 15 є оптимальним для створення відкритої веб-платформи реального часу 2025–2026 років. Аналіз показав переваги Bun у швидкості запуску та WebSocket-обробці, Hono — у маршрутизації, а Next.js 15 — у продуктивності браузерного додатка. Запропонована мікросервісна архітектура з gRPC, WebRTC і MinIO забезпечить

3–5-кратне зростання продуктивності порівняно з Node.js + Express. Обраний напрям є перспективним

### **Література (References)**

1. Bun Official Benchmarks 2025. URL: <https://bun.sh/benchmarks>
2. Next.js 15 Documentation. URL: <https://nextjs.org/docs>
3. Hono – Ultrafast web framework for the Edges. URL: <https://hono.dev>
4. WebRTC Official Site. URL: <https://webrtc.org>
5. MinIO High Performance Object Storage. URL: <https://min.io>
6. gRPC Official Site. URL: <https://grpc.io>
7. AWS. gRPC vs REST - Difference Between Application Designs. URL: <https://aws.amazon.com/compare/the-difference-between-grpc-and-rest/>

## **Аналіз невідповідності візуальних кластерів та медичних діагнозів у задачах автоматичної класифікації дерматоскопічних зображень**

Дмитро Кузьменко<sup>1[0009-0006-1366-9530]</sup> та Ігор Гребеннік<sup>2[0000-0003-3716-9638]</sup>

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна  
<sup>1</sup>dmytro.kuzmenko@nure.ua, <sup>2</sup>igor.grebennik@nure.ua

**Анотація.** Метою дослідження є аналіз того, наскільки природні візуальні структури дерматоскопічних зображень узгоджуються з реальними клінічними діагнозами. На основі ознак моделі ConvNeXt-tiny побудовано латентний простір, який було стиснуто методом PCA, візуалізовано через UMAP та кластеризовано за допомогою KMeans із кількістю кластерів  $k = 11$ . Такий підхід дає можливість побачити, як глибинна модель групує зображення, виходячи виключно з морфологічних характеристик. Порівняння цих візуальних груп із діагнозами MILK10k показує, що нозологічні межі не збігаються з природною геометрією простору ознак. У багатьох регіонах карти різні діагностичні категорії значною мірою перетинаються, тоді як одна й та сама нозологія представлена у кількох віддалених сегментах. Меланома, як і інші злоякісні стани, не утворює єдиної компактної області, а розподілена між різними візуальними зонами. Додатковий статистичний аналіз демонструє наявність кластерів із високою концентрацією злоякісних утворень, у межах яких природно змішуються доброякісні випадки. Усе це свідчить про суттєву структурну невідповідність між медичною класифікацією та реальним морфологічним різноманіттям зображень.

**Ключові слова:** кластеризація, UMAP, ConvNeXt, латентний простір, просторово-візуальна неоднорідність, MILK10k, дерматоскопія.

## **Аналіз невідповідності візуальних кластерів та медичних діагнозів у задачах автоматичної класифікації дерматоскопічних зображень**

Dmytro Kuzmenko<sup>1[0009-0006-1366-9530]</sup> and Igor Grebennik<sup>2[0000-0003-3716-9638]</sup>

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
<sup>1</sup>dmytro.kuzmenko@nure.ua, <sup>2</sup>igor.grebennik@nure.ua

**Abstract.** The aim of this study is to examine how well the natural visual structures of dermatoscopic images align with real clinical diagnoses. Based on features extracted from the ConvNeXt-tiny model, a latent space was constructed, compressed using PCA, visualized through UMAP, and clustered with KMeans using  $k = 11$  clusters. This approach makes it possible to observe how a deep model groups images solely according to their morphological characteristics. A comparison of these visual groups with MILK10k diagnoses shows that nosological boundaries do not correspond to the natural geometry of the feature space. In many regions of the map, different diagnostic categories significantly overlap, while a single nosology may be distributed across several distant segments. Melanoma, as well as other malignant conditions, does not form a single compact region but is scattered across multiple visual zones. Additional statistical analysis reveals clusters with a high concentration of malignant cases, within which benign samples naturally occur as well. All these observations indicate a substantial structural mismatch between medical classification and the actual morphological diversity of the images.

**Keywords:** clustering, UMAP, ConvNeXt, latent space, spatial-visual heterogeneity, MILK10k, dermatoscopy.

## 1 Вступ

Автоматична класифікація дерматоскопічних зображень є одним із найбільш перспективних напрямів використання глибокого навчання у медичній діагностиці, про що свідчать результати сучасних досліджень, де моделі досягають рівня дерматологів за точністю визначення злоякісних утворень [1]. Однак, незважаючи на значний прогрес у точності моделей, низка класів і досі залишається складною для розпізнавання, особливо коли йдеться про меланому чи інші рідкісні злоякісні стани. Однією з причин є те, що реальна морфологічна структура шкірних уражень надзвичайно варіативна. У межах однієї нозології можуть існувати зовсім різні візуальні прояви, тоді як морфологічно схожі утворення нерідко належать до різних діагностичних груп.

У глибоких моделях немає внутрішнього уявлення про медичну таксономію, тому вони групують дані, виходячи виключно із взаємної подібності зображень. Якщо геометрія латентного простору не відповідає медичним класам, класифікатор змушений ділити єдині морфологічні структури на різні класи або, навпаки, об'єднувати різні діагнози у спільні групи. Це призводить до помилок, які важко виправити простими змінами архітектури або даних.

У цій роботі досліджується питання, наскільки сильно відрізняється природна візуальна організація дерматоскопічних зображень від нозологічних меж, на які спирається медична класифікація.

## 2 Основна частина

### 2.1 Матеріали та методи

У дослідженні використано набір дерматоскопічних зображень MILK10k [2], що містить 10 480 JPEG-файлів. Для кожного зображення було забезпечено повний збіг між файлом, медичними метаданими та діагностичними мітками через поле `lesion_id`, що гарантує коректність відповідності між даними.

Для формування ознак застосовано модель ConvNeXt-tiny, з якої вилучено класифікаційну голову, залишивши лише блоки ознак. Кожне зображення було перетворено на вектор розмірності 768. Для зменшення простору ознак до компактнішої форми використовувалося головне компонентне аналізування, яке скоротило розмірність до 50 компонентів без суттєвої втрати інформації.

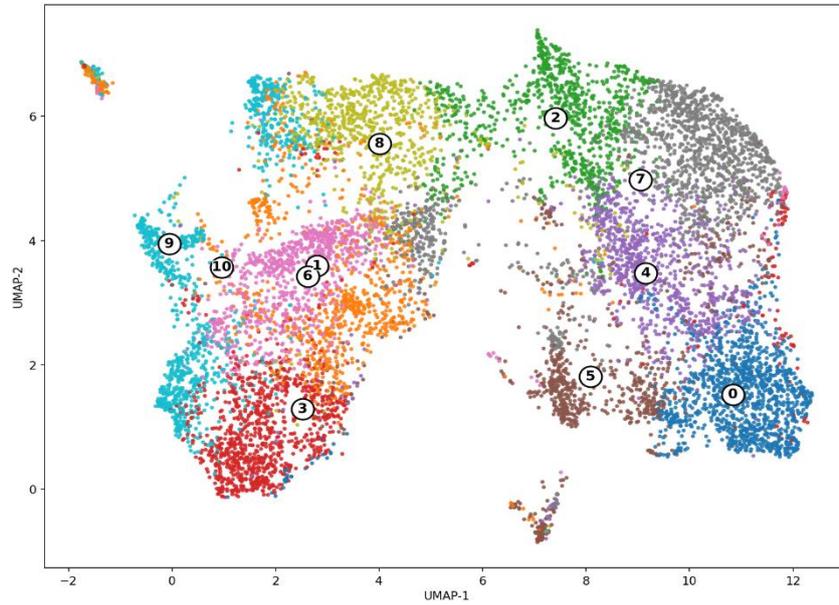
Для візуалізації латентної структури даних використовувався метод UMAP, розроблений для передачі як глобальних, так і локальних топологічних зв'язків у низьковимірних проєкціях [3]. На основі PCA-простору виконувалась кластеризація KMeans з кількістю кластерів  $k = 11$ , що відповідає морфологічній складності даних і забезпечує достатньо деталізоване розбиття простору.

### 2.2 Результати

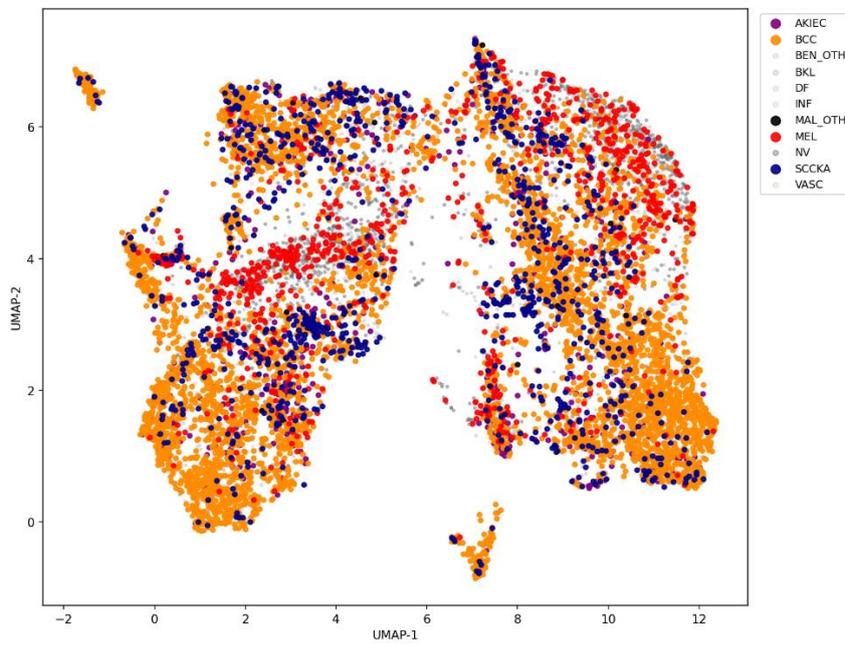
Проєкція UMAP продемонструвала чітку самоорганізацію даних у компактні групи, які відображають морфологічну подібність зображень. На рис. 1 ця структура виглядає як карта, що складається з одинадцяти зон, кожна з яких характеризується власними кольоровими варіаціями, типом пігментації, гладкістю або нерівністю структури та особливостями країв. Ці кластери утворюються виключно на основі візуальної схожості, без будь-яких знань про діагнози.

Коли у цей самий простір накладаються реальні діагностичні мітки (див. рис. 2), стає очевидним, що нозологічні класи не відповідають межах візуальних груп. Діагнози розміщені фрагментарно, перетинаються між собою та займають кілька різних зон. Особливо яскраво це видно на прикладі меланоми, яка, згідно з попередніми дослідженнями, характеризується широким спектром візуальних проявів [1, 4], і в нашому випадку також не формує окремого компактного регіону, а присутня у багатьох віддалених сегментах. Аналогічно, доброякісні невуси та BKL утворюють значні зони, що частково перекривають області ВСС та інших злоякісних утворень.

Дані табл. 1 зі статистикою підтверджують це спостереження. Деякі кластери, наприклад кластер 0, мають надзвичайно високу частку злоякісних випадків (87.4%), але водночас містять і численні доброякісні зразки. Інші кластери містять великі групи меланом, але при цьому розташовані поруч із доброякісними станами. Така неоднорідність свідчить про те, що навіть у межах одного діагнозу існує кілька різних морфологічних підтипів.



**Рис. 1.** Візуальні кластери латентного простору (UMAP)



**Рис. 2.** Розподіл медичних діагнозів у латентному просторі

**Таблиця 1.** Статистика кластерів MILK10k

Cluster	Total	Malignant	MEL	Rate (%)
0	1310	1145	17	87.4
9	285	244	30	85.61
10	805	686	15	85.22
4	1029	870	20	84.55
3	1115	897	48	80.45
1	958	740	56	77.24
5	861	621	92	72.13
8	803	558	50	69.49
2	902	613	101	67.96
6	939	485	217	51.65
7	1473	655	254	44.47

### 2.3 Аналіз

Порівняння візуальних та медичних структур (див. рис. 1–2) показує, що латентний простір моделі формує складну багатовимірну поверхню, у якій морфологічні патерни з'являються природним чином, без прив'язки до формальних нозологічних категорій. Медична класифікація, навпаки, є дискретною та базується на біологічних характеристиках, які не завжди мають однозначний візуальний прояв.

Коли простір ознак не збігається з нозологією, модель стикається з ситуацією, у якій межа між класами проходить усередині єдиного морфологічного регіону або, навпаки, різні за природою утворення потрапляють у спільну зону. Це й призводить до помилок класифікації, найпоширенішими з яких є хибне визначення меланоми як доброякісного невуса та навпаки [1, 4]. Така поведінка підтверджує, що простий багатокласовий поділ не враховує геометрії manifoldy й не здатний відобразити складність візуальних закономірностей.

Наявність кластерів з високою концентрацією злоякісних випадків, у яких одночасно розміщені й доброякісні стани, створює «ризикові зони», де навіть невелика зміна освітлення, орієнтації чи текстури може змістити зразок у протилежний діагностичний клас. Такі зони є ключовими для аналізу помилок моделей і важливими при розробці алгоритмів, які враховують відстані в латентному просторі, локальні центроїди або прототипні представлення.

## Висновки

Проведений аналіз латентного простору показав фундаментальну різницю між організацією зображень за морфологічною схожістю та медичною класифікацією. Візуальні manifoldy є неперервними, розгалуженими та змішаними, тоді як нозологія описує реальність дискретними категоріями. Наслідком цієї

невідповідності є неможливість класичних класифікаторів побудувати стабільну межу між складними або рідкісними діагнозами.

У майбутніх дослідженнях перспективними здаються підходи, які враховують геометрію латентного простору, включають прототипні представлення класів, локальні метричні рішення або комбінують візуальні та додаткові модальності даних.

## Література (References)

1. A. Esteva, B. Kuprel, R. A. Novoa, J. Ko, S. M. Swetter, H. M. Blau and S. Thrun, "Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks," *Nature*, vol. 542, no. 7639, p. 115—118, 2017, doi: 10.1038/nature21056.
2. MILK Study Team, "MILK10k," ISIC Archive, 2025, doi:10.34970/648456.
3. B. Ghogh, M. Crowley, F. Karray and A. Ghodsi, *Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP)*, Cham: Springer International Publishing, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-10602-6\_17.
4. V. Rotemberg, N. Kurtansky, B. Betz-Stablein, L. Caffery, E. Chousakos, N. Codella, M. Combalia, S. Dusza, P. Guitera and D. Gutman, "A patient-centric dataset of images and metadata for identifying melanomas using clinical context," *Scientific Data*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.1038/s41597-021-00815-z.

# Інформаційна система підтримки публікації, оцінювання та аналітики наукових і літературних матеріалів

Богач Надія, Семаньків Марія

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ,  
Україна

nadiia.bohach.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі розглядається розробка веб-платформи для публікації, обговорення та рецензування наукових і літературних праць. Проведено аналіз існуючих рішень на ринку, виявлено їхні недоліки та виявлено необхідні рішення. Спроектвано архітектуру системи та реалізовано програмний продукт, що забезпечує повний цикл взаємодії автора з аудиторією: від завантаження матеріалів до отримання фахової рецензії. Окреслено практичну значимість розробленої системи для різних категорій користувачів: від створення середовища професійного зростання для авторів до надання інструментів об'єктивного оцінювання контенту для експертів

**Keywords:** Ключові слова: веб-платформа, наукові публікації, структуроване рецензування, соціальна взаємодія.

## Web platform for publishing, discussing, and reviewing scientific and literary works.

Nadiia Bohach, Mariia Semankiv

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

nadiia.bohach.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper considers the development of a web platform for publishing, discussing, and reviewing scientific and literary works. An analysis of existing solutions on the market was conducted, their shortcomings were identified, and necessary solutions were found. The system architecture was designed and a software product was implemented that provides a full cycle of interaction between the author and the audience: from uploading materials to receiving professional

reviews. The practical significance of the developed system for different categories of users is outlined: from creating an environment for professional growth for authors to providing tools for objective content evaluation for experts.

**Keywords:** web platform, scientific publications, structured peer review, social interaction.

## 1 Вступ

Наукові та літературні спільноти сьогодні працюють з величезною кількістю цифрового контенту: дисертації, статті, чернетки розділів, рецензії, коментарі та рейтинги. Однак ці дані часто фрагментовані: матеріали зберігаються в статичних репозиторіях, обговорення відбуваються в неструктурованих соціальних мережах, а аналітика прихована або відсутня. Це створює безлад у процесах оцінювання та ускладнює керування зворотним зв'язком. Ефективність роботи автора та якість публікацій напряму залежить від того, наскільки швидко і зручно можна отримати та проаналізувати змістовний фідбек.

Дослідження зосереджено на тому, щоб створити єдину, зручну систему, яка об'єднає всі ці процеси. Розробка такого інструменту дозволить автоматизувати рутинні завдання (наприклад, відстеження прогресу читання) і допоможе авторам та спільноті приймати кращі рішення на основі точних, структурованих оцінок, а не інтуїції чи простих "лайків". Такі системи можуть значно покращити фахове зростання авторів та прозорість наукової комунікації.

Метою цієї роботи є розробка та опис веб-системи, яка допоможе авторам, рецензентам та читачам легко керувати процесами публікації, забезпечувати фахове обговорення та аналізувати якість текстового контенту.

## 2 Аналіз розробки системи

### 2.1 Аналіз розробки системи

Процес розробки системи базується на вимогах, у першому розділі, та передбачає створення масштабованого веб-додатку. Враховуючи необхідність підтримки різних ролей користувачів (автор, читач, рецензент, модератор), розробка ведеться з використанням ітеративного підходу. Це дозволило поступово нарощувати функціонал, починаючи з базових модулів реєстрації та публікації, і закінчуючи складними алгоритмами рейтингування.

Ключовим етапом розробки стало проектування логічної структури додатку, яка повинна забезпечувати надійне зберігання даних (текстів, медіа-файлів, метаданих) та швидку обробку запитів користувачів. Було визначено, що система повинна складатися з клієнтської частини (Frontend), яка відповідає за візуалізацію та взаємодію з користувачем, та серверної частини (Backend), яка

реалізує бізнес-логіку, обробку рецензій та збір статистики. Особливу увагу приділено безпеці даних та розмежуванню прав доступу.

## 2.2 Архітектурний підхід до побудови системи

Для побудови надійної та гнучкої системи було обрано архітектурний патерн MVC (Model-View-Controller). Цей підхід дозволяє розділити логіку додатку на три незалежні компоненти, що спрощує розробку, тестування та подальшу підтримку коду [1].

- **Model:** відповідає за роботу з даними та бізнес-логіку. У розробленій системі моделі описують сутності (Користувач, Публікація, Рецензія, Коментар) та правила їх взаємодії з базою даних.
- **View:** відповідає за відображення інтерфейсу користувача. Представлення отримують дані від контролера та формують HTML-сторінки, з якими взаємодіють автори та читачі.
- **Controller:** приймає запити від користувача, обробляє їх, звертаючись до моделі, та вибирає відповідне представлення для відображення результату. [2]

Така архітектура дозволяє змінювати візуальне оформлення сайту без втручання в бізнес-логіку, а також легко масштабувати функціонал, додаючи нові контролери для нових можливостей.

## 2.3 Підхід до вибору інструментальних засобів реалізації

Вибір технологічного стека було здійснено на основі критеріїв продуктивності, безпеки та популярності технологій у корпоративному секторі.

- Мова програмування **C#**: об'єктно-орієнтована мова зі строгою типізацією, яка є стандартом для розробки на платформі .NET. Вона забезпечує високу швидкість виконання коду та надійність [1].
- Фреймворк **ASP.NET Core MVC**: сучасний, кросплатформний фреймворк для створення веб-додатків. Він надає вбудовані засоби для реалізації маршрутизації, автентифікації (Identity) та захисту від веб-атак, що критично важливо для платформи з контентом користувачів [2].
- Система управління базами даних **Microsoft SQL Server**: реляційна СУБД, яка забезпечує цілісність даних та ефективне виконання складних запитів. Використання технології **Entity Framework Core** дозволило працювати з базою даних через об'єкти **C#**, спрощуючи маніпуляції з даними.
- Середовище розробки: **Visual Studio**, що надає зручні інструменти для написання коду, налагодження та керування пакетами **NuGet** [3].

### 3 Практична значимість

Практична значимість розробленої веб-платформи полягає у вирішенні проблеми розриву комунікації між автором та аудиторією. Впровадження системи дозволяє досягти наступних результатів:

- Для авторів: Забезпечено доступ до інструментів професійного зростання. Завдяки системі структурованих рецензій автори отримують конкретні поради щодо покращення своїх робіт, а модуль аналітики дозволяє зрозуміти реальні інтереси читачів (відстеження глибини читання, популярність окремих глав). Забезпечено дослідникам платформу для обміну результатами власних робіт, критичного обговорення нових ідей та встановлення професійних зв'язків, отримано можливість презентувати свої напрацювання широкій фаховій аудиторії, що сприяє зовнішній оцінці, виявленню недоліків та уточненню підходів. Це стимулює міждисциплінарну взаємодію, завдяки якій народжуються інноваційні концепції та формуються нові напрями досліджень та сприяє розвитку науки, забезпечує її відкритість, динамічність і безперервне вдосконалення.
- Для наукової та літературної спільноти: Створено механізм прозорого рейтингування контенту. На відміну від звичайних соціальних мереж, де популярність залежить від клікбейту, у розробленій системі рейтинг формується на основі якості матеріалу, підтвердженої рецензентами. Процес рецензування дозволить об'єктивно оцінити зміст, структуру та логіку матеріалу, виявити неточності, суперечності або прогалини, які автор може не помітити. Такий процес підсилює професійність роботи та забезпечує створення більш якісних, цілісних і надійних матеріалів у будь-якій сфері діяльності.
- Для освітніх установ: Платформа може бути використана як інструмент для організації навчального процесу, зокрема для рецензування курсових та дипломних робіт, забезпечуючи цифровізацію академічної взаємодії.

Створений програмний продукт є готовим рішенням, яке може бути розгорнуте на сервері та використане для створення тематичних спільнот або цифрових бібліотек.

### Висновки

Розробка інформаційної веб-платформи для публікації, обговорення та рецензування є актуальним завданням для сучасної академічної спільноти, дослідників, викладачів, студентів, а також для авторів і критиків літературних матеріалів та організацій, що займаються поширенням і оцінюванням інтелектуального контенту. Запропонований гібридний підхід, що базується на модульній архітектурі (MVC) та централізованому управлінні контентом, дозволив створити гнучкий і потужний інструмент для професійної комунікації. Використання сучасних технологій C# та ASP.NET Core забезпечило надійність та зручність у користуванні. Впровадження такої системи допоможе навести лад у процесах

зворотного зв'язку, підвищити ефективність фахового рецензування та зробити вагомий крок до розвитку керованих якістю цифрових спільнот.

## **Література**

1. Freeman A. Pro ASP.NET Core 6. 9th ed. New York : Apress, 2022. 1050 p.
2. Troelsen A., Japikse P. C# 10 and .NET 6 – Modern Cross-Platform Development. 6th ed. Birmingham : Packt Publishing, 2021. 800 p.
3. Connolly T., Begg C. Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. 6th ed. Boston : Addison-Wesley, 2014. 1440 p.

# Система розпізнавання аномалій у ДНК на основі моделей обробки природної мови

Наталія Руденко<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студентка, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
nataliia.rudenko.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто розробку десктопного додатку для аналізу ДНК-послідовностей з використанням методів обробки природної мови (NLP). Проведено аналіз існуючих інструментів біоінформатики та виявлено їхні обмеження щодо контекстного аналізу. Запропоновано рішення на базі моделі DNABERT, яке дозволяє виявляти аномалії через оцінку ймовірності k-мерів. Реалізовано візуалізацію результатів та функцію симуляції мутацій.

**Ключові слова:** DNABERT, NLP, Біоінформатика, Виявлення аномалій, Семантичний пошук.

## DNA Anomaly Detection System Based on Natural Language Processing Models

Nataliia Rudenko<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
nataliia.rudenko.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper considers the development of a desktop application for DNA sequence analysis using Natural Language Processing (NLP) methods. An analysis of existing bioinformatics tools was conducted, identifying their limitations regarding contextual analysis. A solution based on the DNABERT model is proposed, which allows for anomaly detection through k-mer probability

estimation. Visualization of results and a mutation simulation function have been implemented.

**Keywords:** Anomaly Detection, Bioinformatics, DNABERT, NLP, Semantic Search.

## 1 Вступ

У сучасній біоінформатиці стрімке зростання обсягів геномних даних вимагає нових підходів до їх обробки та інтерпретації. Традиційні методи часто фокусуються на буквальному порівнянні послідовностей, не враховуючи складні контекстні залежності, що притаманні біологічним структурам [1].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення інструментів, які здатні виявляти приховані аномалії та функціональні патерни в ДНК, використовуючи передові методи машинного навчання, зокрема алгоритми обробки природної мови (NLP) та архітектуру трансформерів [2].

Метою дослідження є розробка програмної системи для виявлення аномалій у ДНК-послідовностях та семантичного пошуку мотивів на основі нейромережевої моделі DNABERT, з можливістю візуалізації результатів для зручного аналізу.

Практична значимість полягає у створенні доступного інструменту для дослідників та студентів, який дозволяє швидко оцінювати "нормальність" генетичних послідовностей, проводити віртуальні експерименти з мутаціями ("What-if" аналіз) без лабораторних витрат та знаходити функціонально схожі ділянки геному.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Існуючі інструменти для аналізу ДНК, такі як BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) та GATK (Genome Analysis Toolkit), є стандартом у галузі, проте мають певні обмеження.

BLAST [3] – ефективний для пошуку локальних вирівнювань, але працює переважно з буквальною збігом символів. Він може пропустити ділянки, які мають різну структуру, але виконують схожу біологічну функцію (семантична схожість).

GATK [4] – є потужним інструментом для виявлення варіацій (SNP, інсерції, делеції), але він складний у налаштуванні та фокусується на порівнянні з референсним геномом, а не на внутрішньому контекстному аналізі самої послідовності.

Більшість існуючих рішень не розглядають ДНК як "мову" зі своєю граматикою та контекстом, що обмежує можливість виявлення нетипових патернів, які не є явними помилками читування, але є біологічними аномаліями.

### 3 Запропоноване рішення

Для вирішення окреслених проблем розроблено десктопний додаток, що використовує архітектуру трансформерів для аналізу ДНК. Система базується на моделі DNABERT, яка попередньо навчена на геномних даних людини. Архітектура додатку зображена на рисунку 1.

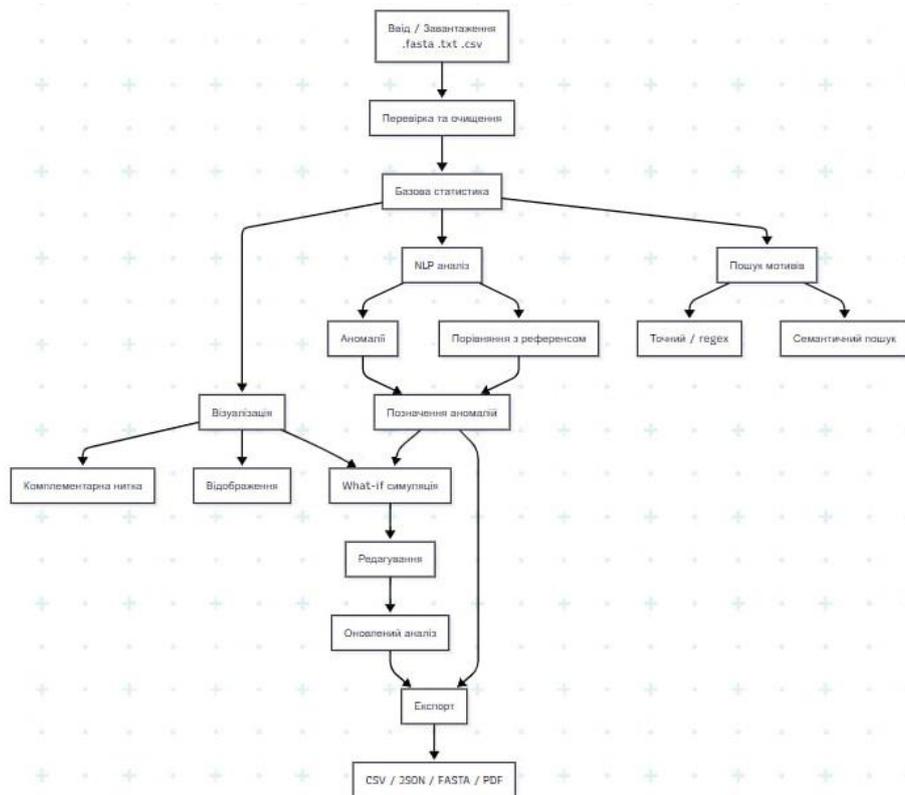


Рисунок. 1. Архітектура додатку

Основний функціонал системи включає:

- Введення та попередня обробка даних: Система підтримує ручне введення послідовностей або завантаження файлів у форматах FASTA, .txt та .csv. Реалізовано автоматичну перевірку коректності символів, очищення даних та розрахунок базової статистики.
- Візуалізація: Забезпечується інтерактивне відображення введеного ланцюга. Результати аналізу відображаються у вигляді «теплової карти», де кольорова градація вказує на ступінь «нормальності» або аномальності кожної ділянки.
- NLP-аналіз: Виявлення аномалій здійснюється шляхом розбиття послідовності на k-мери та оцінки ймовірності їх появи в контексті (механізм Masked

Language Modeling). Також реалізовано можливість порівняння аналізованої послідовності із завантаженим референсним геномом.

- Пошук мотивів: Реалізовано гнучку систему пошуку, що включає точний пошук, пошук за регулярними виразами (regex) та семантичний пошук. Останній використовує векторні представлення (embeddings) для знаходження ділянок, які є семантично близькими до запиту, навіть за відсутності точного символічного збігу.
- «What-if» симуляція: Користувач має можливість редагувати послідовність вручну, при цьому система перераховує ймовірності та оновлює візуалізацію, дозволяючи оцінити вплив внесеної мутації на контекстну цілісність ділянки.

Технічна реалізація виконана мовою Python. Для інтерфейсу користувача використано бібліотеку PyQt6, що забезпечує кросплатформність та зручність використання. Робота з нейронною мережею реалізована за допомогою бібліотек PyTorch та Transformers (Hugging Face), а для обробки біологічних форматів даних використано бібліотеку Biopython [5].

## Висновки

У роботі представлено систему розпізнавання аномалій у ДНК, яка поєднує сучасні NLP-підходи з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. Запропоноване рішення дозволяє проводити глибокий контекстний аналіз генетичних даних, що є перевагою над традиційними методами вирівнювання. Реалізовані функції візуалізації та семантичного пошуку значно спрощують процес дослідження та інтерпретації результатів.

Подальше дослідження передбачатиме вдосконалення існуючих аналітичних функцій та розширення функціоналу для підтримки складніших біологічних моделей та інтеграції з публічними базами даних.

## Література (References)

1. DNABERT: pre-trained Bidirectional Encoder Representations from Transformers model for DNA-language in genome / Y. Ji et al. *Bioinformatics*. 2021. Vol. 37, no. 15. P. 2112–2120.
2. Deep learning for genomics: from early neural nets to modern large language models / T. Yue et al. *International journal of molecular sciences*. 2023. Vol. 24, no. 21. P. 15858.
3. BLAST: Basic Local Alignment Search Tool. URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (дата звернення: 07.11.2025).
4. GATK: Genome Analysis Toolkit. URL: <https://gatk.broadinstitute.org/> (дата звернення: 07.11.2025).
5. Antao T. *Bioinformatics with python cookbook: use modern python libraries and applications to solve real-world computational biology problems*. Packt Publishing, Limited, 2022.

# Інтерактивна ігрова модель візуалізації чотиривимірного простору

Калин Богдан

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

bohdan.kalyn.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі досліджено математичні та програмні підходи до моделювання багатовимірних просторів та їх проєкцій у форматах 2D, 3D та 4D. Проаналізовано сучасні засоби візуалізації складних геометричних структур, визначено їхні обмеження та особливості інтерактивної взаємодії у реальному часі. Запропоновано ігрову платформу, яка демонструє поступовий перехід між просторами різної розмірності на основі рушія Unity, дозволяючи користувачу інтуїтивно зрозуміти властивості нижчих і вищих вимірів. Наведено переваги моделі, окреслено можливості її подальшого використання у освітніх та наукових цілях.

**Ключові слова.** Багатовимірні простори, 4D-візуалізація, математичне моделювання, Unity, проєкції, гіперкуб.

## Interactive game model of visualization of four- dimensional space

Bohdan Kalyn

Vasyl Stefanyk Carpathian National University

bohdan.kalyn.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper explores mathematical and software approaches to modeling multidimensional spaces and their projections in 2D, 3D and 4D formats. Modern means of visualization of complex geometric structures are analyzed, their limitations and features of interactive interaction in real time are determined. A game platform is proposed that demonstrates a gradual transition between spaces of different dimensions based on the Unity engine, allowing the user to intuitively understand the properties of lower and higher dimensions. The advantages of the model are presented, and the possibilities of its further use for educational and scientific purposes are outlined.

**Keywords:** Multidimensional spaces, 4D visualization, mathematical modeling, Unity, projections, hypercube.

## **1 Вступ**

Моделювання просторових явищ є ключовим інструментом у науці, освіті та ігровій індустрії. Сучасні цифрові технології дозволяють візуалізувати складні структури, які раніше існували переважно у теоретичних описах.

Тривимірна графіка стала стандартом, однак візуалізація просторів із розмірністю  $>3$  досі залишається складною та малодослідженою задачею.

У цій роботі розглядається модель, що інтерактивно демонструє еволюцію від двовимірного середовища до тривимірного та подальшу візуалізацію чотиривимірного простору. Це дозволяє користувачу інтуїтивно зрозуміти поняття вимірності, проекцій та динаміки об'єктів.

## **2 Аналіз сучасних підходів та предметної області**

Дослідження багатовимірних просторів є міждисциплінарною областю, що поєднує математику, комп'ютерну графіку та програмну інженерію. Існуючі підходи до візуалізації багатовимірних структур зосереджуються переважно на статичних моделях або демонстраціях, які орієнтовані на вузьке коло фахівців. Більшість наявних ресурсів пропонує математичні описи багатовимірних геометрій, однак вони залишаються малоприматними для інтерактивної роботи, оскільки не забезпечують динамічну взаємодію з моделлю та не пояснюють перехід між різними просторовими вимірностями. Розробки, пов'язані з 4D-візуалізацією, часто обмежуються окремими експериментальними інструментами або науковими симуляторами, які не захоплюють увагу користувача і не дозволяють йому інтуїтивно зрозуміти поведінку об'єктів у просторі, що має більше трьох вимірів.

Складність існуючих підходів полягає також у специфіці математичного апарату: для коректного відображення 4D-об'єктів необхідно застосовувати багатовимірні матриці перетворень, складні проекційні моделі та алгоритми візуалізації, які не завжди інтегруються в інтерактивні графічні середовища. Іншим обмеженням є відсутність рішень, що поєднували б у собі поступовий перехід між 2D, 3D і 4D просторами, що є важливим для формування інтуїтивного розуміння багатовимірності. Таким чином, розробка доступної, навчально орієнтованої та водночас інтерактивної системи, яка відображає властивості різних вимірностей у єдиній платформі, залишається актуальною задачею сучасних досліджень.

## **3 Розроблена модель та підхід**

У межах роботи було створено інтерактивну середу, яка демонструє перехід від двовимірного простору до тривимірного та далі до простору вищої розмірності. Платформа реалізована на рушії Unity та поєднує графічні, математичні та ігрові механізми для послідовного дослідження моделей різних вимірностей. На першому етапі користувач взаємодіє з двовимірним світом, де поведінка окремих

об'єктів здається аномальною. Після переходу у тривимірне середовище стає зрозуміло, що ці «аномалії» були результатом проекцій тривимірних структур на площину. Цей підхід дозволяє користувачу самостійно усвідомити особливості просторових проекцій та природу спотворень, що виникають при переході між вимірами.

Наступним етапом є представлення чотиривимірного простору, де застосовуються математичні моделі гіперкуба, багатовимірних обертань та перспективних і ортографічних проекцій. Користувач отримує можливість взаємодіяти з об'єктами, чия структура змінюється залежно від їхнього положення у четвертому вимірі, що підсилює розуміння понять на кшталт зрізів, проекцій та багатовимірної динаміки. Реалізація побудована на використанні матриць перетворень простору  $\mathbb{R}^4$ , які проєктуються у тривимірне середовище з подальшим рендерингом у 2D. Такий підхід дозволив створити інтуїтивно зрозумілу та водночас науково обґрунтовану модель, що здатна слугувати базою для подальших освітніх або дослідницьких розробок.

## Висновки

Проведене дослідження дозволило сформувати інтерактивну модель, що демонструє властивості та поведінку об'єктів у просторах різної вимірності, забезпечуючи поступовий перехід від 2D до 3D та подальшу візуалізацію 4D-простору. Розроблена платформа показала, що використання ігрового середовища є ефективним засобом для пояснення абстрактних концепцій багатовимірної геометрії, оскільки інтерактивність суттєво підвищує рівень сприйняття складного матеріалу та сприяє формуванню інтуїтивного розуміння просторових проекцій і взаємозв'язків між вимірами.

## Література(References)

1. Munzner T. Visualization Analysis and Design. CRC Press, 2014.
2. Marriott K., Chen J., Laycock S. et al. Immersive Analytics. Springer, 2018.
3. C. C. Aggarwal, Recommender Systems: The Textbook. Springer. C: 8- 37,2016
4. Vogiatzis G., Peters C. Interactive Visualization of Four-Dimensional Objects Using Real-Time Rendering Techniques. IEEE Computer Graphics and Applications, 2020.
5. Stephenson C. 4D Visualization Techniques in Computer Graphics. ACM SIGGRAPH Course Notes, 2017.
6. Unity Technologies. Unity Manual & Scripting API. Unity Documentation, 2023.

## Система підтримки управління академічними процесами та аналітики у вищому навчальному закладі

Буковецька Каріна, Семаньків Марія

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ,  
Україна

karina.bukovetska.22@pnu.edu.ua  
mariia.semankiv@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі обгрунтовується актуальність створення єдиної системи управління навчальними процесами для підвищення ефективності, узгодженості й прозорості освітньої діяльності. Запропоновано концепцію розробки інтегрованої системи, що базується на централізованій базі даних та модульній архітектурі. Окреслено практичну значимість такого рішення для різних категорій користувачів: від автоматизації рутинних завдань для деканатів до надання аналітичних інструментів для керівництва.

**Ключові слова:** Управління академічними процесами, Аналіз даних, Автоматизація процесів, Вища освіта.

## System for management support of academic processes and analytics in a higher education institution

Karina Bukovetska, Semankiv Maria

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

karina.bukovetska.22@pnu.edu.ua  
mariia.semankiv@pnu.edu.ua

**Abstract.** This paper substantiates the relevance of creating a unified academic process management system to enhance the efficiency, consistency, and transparency of educational activities. A concept for the development of an integrated system based on a centralized database and a modular architecture is proposed. The practical significance of such a solution for various user categories is

outlined, ranging from the automation of routine tasks for dean's offices to the provision of analytical tools for management.

**Keywords:** Academic process management, Data analysis, Process automation, Higher education.

## 1 Вступ

Університети щодня оперують значними обсягами академічних даних: від списків студентів і оцінок до навчальних планів, розкладів та навантаження викладачів, тощо. У більшості випадків ця інформація зберігається у різних програмах, таблицях або навіть у паперовому вигляді. Така фрагментованість ускладнює доступ до даних, уповільнює робочі процеси та створює ризики неточностей.

Актуальність створення єдиної системи управління навчальними процесами зумовлена кількома ключовими факторами:

- Потреба в оперативному отриманні достовірної інформації для прийняття управлінських рішень. Позаяк, університети дедалі більше покладаються на дані щодо успішності, відвідуваності, навантаження та контингенту студентів.
- Цифровізація освіти вимагає переходу від розрізнених локальних інструментів до комплексних систем, які автоматизують рутинні операції: формування звітів, підготовку наказів, опрацювання результатів сесій тощо.
- Зростання конкурентності між закладами вищої освіти, і ефективність внутрішніх процесів стає важливою складовою їхньої конкурентоспроможності.

У зв'язку з цим виникає потреба у створенні інтегрованого програмного рішення, що забезпечить централізоване зберігання даних, зручний доступ до них та інструменти для аналітики. Такі системи дозволяють суттєво зменшити кількість ручної роботи, підвищити точність даних і покращити організацію освітнього процесу на всіх рівнях.

Метою даної роботи є розробка та опис системи підтримки управління академічними процесами й аналітики у вищому навчальному закладі, яка забезпечує об'єднання даних, їх автоматизовану обробку та надання інструментів для ефективного аналізу.

## 2 Аналіз розробки системи

### 2.1 Загальні принципи роботи таких систем

Системи управління навчальними процесами працюють за схожим принципом, який можна розділити на кілька кроків:

- Збір даних: Перший крок — зібрати всю інформацію в одному місці. Це дані про студентів, викладачів, предмети, оцінки тощо.
- Структурування та зберігання: Далі цю інформацію потрібно правильно організувати та надійно зберігати [1].
- Обробка та автоматизація: Система має вміти виконувати рутинні завдання автоматично. Наприклад, самостійно генерувати звіт про успішність групи чи формувати наказ.
- Аналіз та візуалізація: Зібрані дані обробляються, щоб показати їх у зручному вигляді — у формі графіків та звітів. Це допомагає швидко зрозуміти загальну картину.
- Аналітика та прийняття рішень: Особливий акцент робиться на інструментах аналітики, які дозволяють виявляти тенденції, прогнозувати ризики та оптимізувати ресурси на основі даних.
- Надання доступу: Кожен користувач має отримати доступ тільки до тієї інформації, яка йому потрібна для роботи.

## 2.2 Архітектурний підхід до побудови системи

Основна ідея системи — подолати хаос, об'єднавши дані. Для цього пропонується архітектура, що складається з двох головних частин: централізованої бази даних та набору модулів [2].

Централізована база даних — це «серце» системи. Вона є єдиним місцем, де зберігається вся актуальна інформація. Це гарантує, що дані не будуть дублюватися чи відрізнятися в різних відділах.

Модульна структура означає, що система складається з окремих незалежних блоків, кожен з яких відповідає за свою функцію. Наприклад:

4. Модуль «Студенти»: для ведення особових справ.
5. Модуль «Навантаження»: для розподілу предметів між викладачами.
6. Модуль «Аналітика»: для побудови звітів та графіків.

Такий підхід робить систему гнучкою: можна розробляти та впроваджувати модулі поступово, а за потреби — легко додавати нові.

## 2.3 Підхід до вибору інструментальних засобів реалізації

Вибір конкретних технологій для реалізації такої комплексної системи має ґрунтуватися на принципах надійності, масштабованості та зручності подальшої підтримки. Тому пропонується трирівнева архітектура, що розділяє логіку зберігання даних, їх обробку та представлення користувачеві.

- Рівень зберігання даних: Основою для зберігання даних має стати надійна система управління реляційними базами даних. Такий вибір обґрунтований тим, що академічні дані є високоструктурованими та мають чіткі зв'язки між собою, а СУРБД забезпечують цілісність цих даних.

- Рівень серверної логіки: Для реалізації бізнес-логіки системи доцільно використовувати сучасну, високопродуктивну платформу, яка має велику екосистему готових бібліотек. Ключовими вимогами до серверної частини є безпека, здатність обробляти велику кількість запитів та легкість інтеграції з базою даних [3].
- Рівень представлення: Інтерфейс користувача, з яким безпосередньо взаємодіятимуть співробітники, слід розробляти з використанням сучасних JavaScript-фреймворків. Такий підхід дозволяє створити швидкий, динамічний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, відокремивши логіку відображення від серверних обчислень.

Взаємодія між клієнтською та серверною частинами буде організована за допомогою REST API, що є галузевим стандартом для побудови гнучких та масштабованих веб-додатків.

### 3 Практична значимість

Розробка такої системи має велике практичне значення для університету. Вона дозволяє покращити роботу на всіх рівнях, забезпечуючи швидкий доступ до інформації, автоматизуючи рутинні процеси та мінімізуючи кількість помилок, пов'язаних із людським фактором.

Користь від впровадження системи отримують:

#### 1. Керівництво університету.

Система забезпечить доступ до актуальної інформації про успішність, відвідуваність, навантаження викладачів, перебіг вступної кампанії та результати сесій. Це дозволить приймати стратегічні рішення на основі детальних аналітичних даних, включаючи аналіз зрізів залишкових знань, порівняння показників за різні роки та прогнозування ризиків.

#### 2. Працівники деканатів та кафедр.

Значно скоротиться час на підготовку документації та формування звітності, адже система автоматично генеруватиме:

- рейтинги студентів;
- списки на стипендію;
- інформацію про пільгові категорії;
- індивідуальні навчальні графіки;
- розпорядження по факультету;
- дані для студентських квитків та дипломів;
- результати сесій та іспитів;
- звіти щодо курсових робіт, включно з верифікацією проходження антиплагіату.

Окрім модулів дозволять ефективно вести облік повторних курсів, перерахувань дисциплін та ДЕКів.

#### 3. Адміністративні процеси університету.

Система повністю підтримуватиме документообіг, пов'язаний із:

- поновленням студентів;
- переведенням між факультетами та спеціальностями;

- оформленням відрахувань;
- формуванням наказів;
- розсилкою електронних листів, зокрема запрошень на засідання кафедри та вчену раду.

Автоматизація дозволяє зменшити навантаження на працівників і прискорити виконання процедур, які раніше вимагали значного часу та ручної перевірки.

Загалом система робить робочі процеси прозорими, уніфікованими та менш залежними від людського фактору. Це забезпечує стабільну якість управління навчальними процесами та дозволяє університету перейти до моделі сучасного освітнього середовища, де всі ключові рішення ухвалюються на основі даних..

## **Висновки**

Розробка інтегрованої системи управління навчальними процесами є актуальним та важливим завданням. Запропонований підхід, що базується на централізованій базі даних та модульній архітектурі, дозволяє створити гнучкий та потужний інструмент. Використання сучасних технологій забезпечить надійність та зручність у користуванні. Впровадження такої системи допоможе навести лад в академічних даних, підвищити ефективність роботи співробітників та зробити крок до сучасного, керованого даними університету.

## **Література**

1. Турбан Е., Шарда Р., Делен Д. Business Intelligence, Analytics, and Data Science: A Managerial Perspective. 4th Edition. – Pearson, 2017. – 600 р.
2. Олійник В. В. Використання інформаційних систем для автоматизації управління ВНЗ. // Вісник НАУ. — 2021. — №4. — С. 112–118.
3. Мартін Р. Чиста архітектура. Мистецтво розробки програмного забезпечення. – Фабула, 2019. – 368 с.

# Система створення інтерактивних художніх сцен із асистентом на основі алгоритмів штучного інтелекту

Мацьків Андрій<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
andrii.matskiv.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Представлено веб-застосунок, призначений для створення, редагування та візуалізації інтерактивних історій. Моделювання нарративу реалізовано через наочну блокову структуру, що спрощує процес побудови діалогів та сцен. Здійснено інтеграцію асистента на основі штучного інтелекту, який допомагає користувачам у генерації рис персонажів та варіантів розвитку подій. Система поєднує інструментарій персонажів та проєктів з маркетплейсом контенту, забезпечуючи гнучкість у створенні складних нелінійних сюжетів.

**Ключові слова:** Веб-застосунок, Блокова структура, Інтерактивні історії, Наратив, Штучний інтелект.

## System for Creating Interactive Artistic Scenes with AI-based Assistant

Andrii Matskiv<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
andrii.matskiv.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper presents a web application designed for creating, editing, and visualizing interactive stories. Narrative modeling is implemented using a visual block-based structure that simplifies the process of constructing dialogues and scenes. The system integrates an AI-powered assistant that helps users

generate character traits and possible story developments. The platform combines tools for managing characters and projects with a content marketplace, providing flexibility for creating complex nonlinear narratives.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Block Structure, Interactive Stories, Narrative, Web application.

## 1 Вступ

У сучасну епоху цифрових креативних інструментів інтерактивний сторітелінг стає важливою частиною медіа-розваг та освіти. Зростає потреба у застосунках, які дозволяють користувачам вигадувати уявні світи та описувати вміст цього світу і не тільки у структурованому форматі [1-3].

Актуальність дослідження зумовлена обмеженою гнучкістю існуючих рішень [1-3], які часто не можуть ефективно поєднувати створення тексту з інтерактивним конструюванням або мають слабку структуру діалогів. Існує необхідність у інструментах, що дозволяють авторам зосередитися на творчості, мінімізуючи технічні бар'єри.

Метою даного дослідження є розробка веб-застосунку для створення текстових персонажів та конструювання діалогів, яка використовує вузловий підхід (node-based) та інтегрованого асистента на основі штучного інтелекту для генерування та покращення контенту.

Практична значимість запропонованої платформи полягає у створенні інтуїтивного інструменту, який зробить процес створення складних інтерактивних історій доступним не лише для професійних письменників, а й для широкого загалу, забезпечуючи можливості створення сюжетів, експорту та обміну контентом.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Ринок інструментів для інтерактивного сторітелінгу представлений різноманітними рішеннями, проте більшість із них має суттєві обмеження для широкого кола авторів.

Наприклад, Twine, попри свою популярність, має слабку ієрархічну структуру та обмежені можливості візуалізації, що ускладнює роботу над масштабними проектами [1]. Користувачам часто доводиться самостійно писати програмний код для додавання складних механік або мультимедіа, що значно підвищує поріг входження для новачків.

Інструмент Inklewriter добре підходить для лінійної прози, але не дозволяє ефективно моделювати складні розгалужені наративи [2]. Його функціонал зосереджений переважно на текстовому форматі "книги-гри", ігноруючи потребу у наочній схемі взаємозв'язків між сценами, що ускладнює навігацію у великих історіях.

Професійні платформи, такі як Articy:draft, пропонують потужний функціонал для командної роботи та експорту, але є надто складними в освоєнні та коштовними для початківців або інді-розробників [3].

Це створює потребу в інструменті, який поєднав би простоту використання з гнучкістю професійних рішень.

### 3 Запропоноване рішення

Для вирішення окреслених проблем запропоновано веб-застосунок, у якому клієнтська частина реалізована на бібліотеці React із використанням фреймворку Tailwind CSS для створення адаптивного інтерфейсу користувача [4, 5], а серверна – на фреймворку Django з використанням нереляційної бази даних MongoDB для гнучкого зберігання даних [6, 7].

Ключові компоненти та переваги запропонованої системи:

- Візуальний редактор наративу на базі бібліотеки React Flow, що дозволить будувати сюжет як інтерактивну павутину та спрощувати відповідно через інтуїтивну систему перетягування (рис. 1) [8].
- Проста система створення персонажів та опису їх зовнішності, характеру та поведінки, що дозволяє автору бачити розвиток історії.
- Інтегрований ШІ-асистент виступає унікальною функцією, яка допомагає у написанні тексту, генеруванні реакцій персонажів та пропонує варіанти продовження діалогів відповідно до вказівок автора, діючи як віртуальний співавтор.
- Екосистема та Маркетплейс забезпечують можливість експорту готових робіт, наприклад, у формат книги (PDF), та підтримують каталог, де користувачі можуть поширювати або продавати створені шаблони персонажів та сюжетів.

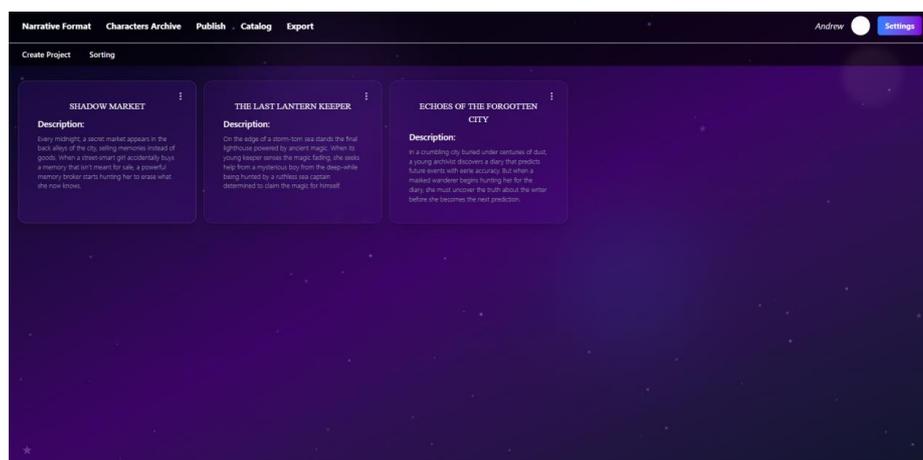


Рис. 1. Сторінка керування проєктами

Такий підхід робить процес створення інтерактивної літератури доступним для широкого кола користувачів, дозволяючи зосередитися на розкритті творчого потенціалу.

## **Висновки**

Запропонована веб-платформа надає сучасний та достатній інструментарій для створення інтерактивних нарративів, інтегруючи засоби візуального конструювання та текстового редагування у одному продукті, орієнтуючись на простоту використання, творчу гнучкість та доступність для авторів будь-якого рівня підготовки.

Подальші дослідження полягають у вдосконаленні механізмів редактора та розширенні функціоналу маркетплейсу, а також покращенні взаємодії із штучним інтелектом для надання більш точних контекстних рекомендацій у реальному часі.

## **Література (References)**

1. The Twine Team. "Twine". Twine / An open-source tool for telling interactive, nonlinear stories. [Online]. Available: <https://twinery.org/> [Accessed 20 11 2025]
2. Inkle. "Inklewriter". inklewriter. [Online]. Available: <https://www.inklewriter.com/> [Accessed 20 11 2025]
3. Articy Software GmbH & Co. KG. "articy:draft X – Narrative Design Tool for interactive projects". Articy. [Online]. Available: <https://www.articy.com/en/> [Accessed 20 11 2025]
4. React Team. "React". [Online]. Available: <https://react.dev/> [Accessed 20 11 2025]
5. Tailwind Labs. "Tailwind CSS - Rapidly build modern websites without ever leaving your HTML.". [Online]. Available: <https://tailwindcss.com/> [Accessed 20 11 2025]
6. Django Software Foundation. "Django documentation". [Online]. Available: <https://docs.djangoproject.com/en/5.2/> [Accessed 20 11 2025]
7. MongoDB. "MongoDB: The World's Leading Modern Database". [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/> [Accessed 20 11 2025]
8. React Flow Team / Webkid GmbH. "Node-Based UIs in React - React Flow". [Online]. Available: <https://reactflow.dev/> [Accessed 20 11 2025]

## Система обліку та моніторингу практики студентів вищих навчальних закладів

Андрухів Богдан

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
bohdan.andrukhiv.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі представлено веборієнтовану систему для обліку та моніторингу проходження практики студентами вищих навчальних закладів. Система дозволяє вести електронні звіти й щоденники, завантажувати документи, відстежувати етапи практики та формувати підсумкову оцінку. Запропоноване рішення підвищує прозорість контролю, спрощує комунікацію між студентами та керівниками й зменшує обсяг паперової документації, забезпечуючи більш організований і зручний процес проходження практики.

**Ключові слова:** веборієнтована система, студентська практика, моніторинг, PDF.

## System for the recording and monitoring of student practice in higher educational institutions

Bohdan Andrukhiv

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

bohdan.andrukhiv.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper presents a web-oriented system designed for recording and monitoring the internship progress of students in higher educational institutions. The system enables maintaining electronic reports and practice diaries, uploading documents, tracking practice stages, and generating the final evaluation. The proposed solution enhances transparency of control, simplifies communication between students and supervisors, and reduces the amount of paper documentation, ensuring a more organized and convenient practice management process.

**Keywords:** web-oriented system, student practice, monitoring, PDF.

## **1 Вступ**

Практична підготовка є ключовою складовою освітнього процесу студентів вищих навчальних закладів. Саме на цьому етапі формується професійний досвід, розвиваються навички роботи в реальних умовах, а студенти отримують можливість перевірити теоретичні знання на практиці. Однак традиційна система організації та контролю проходження практики залишається значною мірою паперовою та недостатньо структурованою. Використання друкованих щоденників, звітів та характеристик призводить до затримок, втрати документів і ускладнює комунікацію між студентами, керівниками від кафедри та підприємствами.

З огляду на постійне зростання кількості студентів та необхідність оптимізації внутрішніх процесів університетів виникає потреба у створенні сучасних електронних систем, що забезпечують ефективне управління всіма етапами проходження практики. Це дозволяє підвищити прозорість, зменшити навантаження на викладачів та забезпечити студентам доступ до зручного цифрового середовища.

## **2 Аналіз предметної області**

Проведений аналіз показав, що процес організації практики потребує чіткої послідовності дій, взаємодії декількох сторін та обробки великої кількості документів. Студенти повинні вести щоденник, виконувати завдання, формувати звіт і отримувати характеристику з підприємства. Керівники практики мають перевіряти подані матеріали, контролювати виконання завдань і виставляти підсумкову оцінку. Адміністрація університету – зберігати документацію, формувати відомості та контролювати якість проходження практики.

У традиційних умовах цей процес супроводжується значними труднощами: відсутність єдиного джерела інформації, затримки в комунікації, дублювання даних, складність відстеження поточного статусу практики для кожного студента. Це зумовлює потребу у створенні електронної системи, яка забезпечить централізоване керування документацією, чітке розмежування ролей та повну цифровізацію процесу.

## **3 Постановка задачі**

Метою роботи є розроблення веборієнтованої системи, що дозволить автоматизувати процес організації, контролю та документування практики студентів. Система повинна забезпечувати зручний прийом і зберігання матеріалів, електронний документообіг, відстеження етапів практики, формування звітності та підсумкової оцінки.

Також важливим завданням є створення механізму взаємодії різних категорій користувачів із чітким розмежуванням доступу, що дозволяє забезпечити структуровану роботу системи. Перехід до електронного формату має зменшити обсяг паперової документації та зробити процес більш організованим.

## 4 Аналіз реалізації

Розроблена система забезпечує можливість ведення електронних щоденників і звітів, завантаження необхідних документів та їх централізоване зберігання. Студент отримує зручний інтерфейс для роботи з матеріалами практики, а керівники – інструменти для перевірки документів, надання коментарів та формування підсумкової оцінки.

Усередині системи реалізовано логіку проходження практики, де кожен етап (завантаження завдання, ведення щоденника, подача звіту, формування характеристики, оцінювання) фіксується автоматично та відображається в особистому кабінеті користувача.

Система також підтримує повідомлення та сповіщення, що допомагають уникати пропусків дедлайнів та забезпечують своєчасну комунікацію між усіма сторонами. Завдяки централізованому електронному архіву всі документи зберігаються в одному місці, що спрощує роботу кафедри та дозволяє формувати звітність для внутрішніх потреб університету.

### Висновки

Розроблена система значно підвищує ефективність організації студентської практики, забезпечує чітку взаємодію між студентами, керівниками та адміністрацією та сприяє переходу до сучасних цифрових методів роботи. Електронний документообіг, структуроване відстеження етапів практики й автоматизоване формування підсумкової оцінки роблять процес прозорішим і менш трудомістким. Запропоноване рішення дозволяє мінімізувати ризики втрати документів, підвищує оперативність перевірки та сприяє підвищенню якості практичної підготовки студентів.

### Література (References)

1. Fakhira, I. N., Derta, S., Musril, H. A., & Okra, R.: Design of Internship Student Management Information System with Software Development Life Cycle Approach. *Knowbase: International Journal of Knowledge in Database* 3(2), 160–176 (2023).
2. Perdana, M. T., Farell, G., Sriwahyuni, T., & Mursyida, L.: Design and Implementation of a Web-Based Internship Management Information System for Vocational Education. *Jurnal Vokasi Informatika* 5(2), (2022).
3. Bloch, J.: *Effective Java*, 3rd edn. Addison-Wesley, Boston (2018).

# Game-Based Technologies as a Tool for Developing Students' Creative Thinking

Oleksandr Obydalo<sup>1</sup> and Svitlana Ponomarova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY OF RADIO ELECTRONICS, Kharkiv, Ukraine

Emails: <sup>1</sup>oleksandr.obydalo@nure.ua,  
<sup>2</sup>svitlana.ponomarova@nure.ua

## Ігрові технології як засіб розвитку творчого мислення студентів

<sup>1</sup>Олександр Обидало, <sup>2</sup>Світлана Пономарьова

<sup>1,2</sup>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, Харків,  
Україна

Електронні адреси: <sup>1</sup>oleksandr.obydalo@nure.ua,  
<sup>2</sup>svitlana.ponomarova@nure.ua

**Abstract.** Developing students' creative thinking has become a fundamental priority of contemporary STEM education. Rapid technological change, the growing complexity of professional tasks, and the expansion of intellectual labor require specialists who can generate novel, flexible, and context-sensitive solutions rather than rely solely on algorithmic, reproductive reasoning [1]. This paper explores the pedagogical potential of game-based technologies—serious games, high-interactive simulations, and structured gamification—as a scientifically grounded tool for advancing the key components of creativity: fluency, flexibility, originality, elaboration, hypothesis formation, and intrinsic motivation [2]. The paper analyzes cognitive mechanisms triggered through gameplay, demonstrates their role in overcoming cognitive fixation [3], and highlights the importance of iterative experimentation enabled by virtual environments. A system-level model for integrating game-based learning into STEM curricula is proposed, including recommendations for assessment and teacher roles. The study concludes that game-based technologies form a safe and motivating environment that supports divergent thinking, promotes self-directed inquiry, and strengthens the creative capacity of learners [4].

**Keywords:** game-based learning, creativity, STEM education, serious games, gamification, cognitive flexibility, simulations.

## **1 Introduction**

The contemporary educational landscape is shaped by rapid scientific and technological development, which imposes new demands on students' intellectual readiness [1]. Professions across nearly all sectors increasingly rely on non-routine problem solving, conceptual innovation, and the ability to navigate unfamiliar environments. As a result, creative thinking—understood as the capacity to produce novel, meaningful, and valuable ideas—becomes a central competence that modern education must intentionally cultivate. Traditional instructional models, which emphasize the reproduction of established rules, formulas, and algorithms, do not adequately prepare students for the ambiguous and open-ended challenges characteristic of STEM fields [2]. Instead, education requires a transition from verification-oriented instruction toward design-oriented learning, where students generate original solutions under realistic constraints.

Game-based technologies (GBT), including serious games, interactive simulations, and structured gamification, present a promising framework for fostering these competencies [4]. They provide dynamic, immersive, and feedback-rich environments that encourage experimentation, promote autonomy, and support divergent thinking. This paper examines how such technologies contribute to the systematic development of creative thinking among students.

## **2 The Nature of Creative Thinking in STEM Education**

Creative thinking in the STEM context refers not only to imagination and novelty but also to the ability to use scientific concepts in flexible and innovative ways. It encompasses the generation of multiple hypotheses, switching between conceptual frameworks, constructing unique solutions, refining ideas in detail, and maintaining intrinsic motivation during complex tasks. Researchers typically identify six measurable components of creativity [5]:

- Fluency: the ability to produce many relevant ideas or hypotheses.
- Flexibility: the capacity to shift between strategies or conceptual domains.
- Originality: the statistical novelty or non-standard nature of proposed solutions.
- Elaboration: detailed development, refinement, and justification of ideas.
- Hypothesis development: constructing testable scientific propositions.
- Satisfaction: positive emotional engagement and self-motivation during creative work.

Game-based environments naturally stimulate these components through iterative experimentation, narrative engagement, and authentic problem contexts [4].

## **3 Cognitive Mechanisms Triggered by Game-Based Technologies**

GBT promote creative thinking through several interconnected mechanisms.

First, they support the transition from reproductive to productive thinking. When students rely on routine strategies that do not fit the game's context, simulations provide immediate feedback—such as a failed construction or incorrect trajectory—which compels them to reconsider assumptions and explore alternative approaches [3]. This process helps overcome cognitive fixation and encourages flexible reasoning.

Second, GBT accelerate iterative cycles of hypothesis testing. Virtual environments allow students to run experiments repeatedly with minimal cost or delay, dramatically increasing the number of attempts they can perform. This iterative process strengthens elaboration, resilience [4], and the ability to refine ideas.

Third, gameplay enhances motivation and curiosity. Game mechanics transform abstract learning objectives into concrete challenges, missions, or quests, which sustain attention and perseverance. Higher engagement correlates with increased fluency, as motivated students generate more ideas [6] and explore more conceptual paths.

Finally, game-based settings provide a safe space for failure, allowing students to test risky or unconventional ideas without the fear of negative evaluation. Such environments are essential for divergent thinking, experimentation, and the pursuit of originality.

#### **4 Forms of Game-Based Technologies for Creativity Development**

Several categories of GBT are particularly effective for developing creative competencies.

Interactive simulations (sandbox environments) allow manipulation of variables and rapid testing of hypotheses, supporting elaboration and scientific reasoning [4].

Serious games integrate narrative, constraints, and complex problem contexts, prompting students to devise flexible and original solutions [2].

Gamification elements—such as levels, points, badges, and constraint cards—guide students toward creative exploration [6]. Constraint cards can intentionally restrict the use of familiar principles, encouraging conceptual flexibility.

Analog gamification, including physical manipulative games, links abstract concepts with embodied experience. For instance, a “Physics Tower” activity requires teams to construct structures based on physical laws written on blocks, promoting fluency and systemic thinking.

Additionally, brainstorming sessions and mind-mapping activities can be gamified to foster associative thinking, rapid idea generation, and conceptual structuring.

#### **5 Systemic Requirements for Implementation**

Successful integration of GBT requires rethinking both teaching roles and assessment approaches.

Teachers act not as transmitters of knowledge but as facilitators and cognitive diagnosticians, analyzing students' problem-solving patterns, identifying cognitive fixation,

and guiding them toward divergent strategies. Telemetry from game environments can support real-time cognitive diagnostics [5].

Assessment should focus on the process of creativity, not solely on the correctness of the final answer [5]. Criteria may include the number of hypotheses (fluency), diversity of strategies (flexibility), uniqueness of solutions (originality), and depth of justification (elaboration). Game-based metrics must reflect meaningful creative achievements rather than mechanical actions.

## Conclusion

Game-based technologies constitute an effective and scientifically grounded tool for developing creative thinking in modern STEM education [4]. They provide high intrinsic motivation, support iterative experimentation, encourage safe risk-taking, and cultivate the full spectrum of creative competencies. Their successful implementation depends on the establishment of a creative-risk environment, dual-system assessment, and professional teacher training. By integrating GBT into educational practice, institutions can better prepare students for complex professional challenges requiring innovation, adaptability, and lifelong learning.

## References

1. Amabile, T. *Creativity in Context*. Westview Press, 1996.
2. Gee, J. P. *What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy*. Palgrave Macmillan, 2003.
3. Smith, S. M. "Fixation, incubation, and insight in memory and creative thinking." *The Cambridge Handbook of Creativity*, Cambridge University Press, 2010.
4. Kiili, K. "Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model." *Internet and Higher Education*, 8(1), 2005, pp. 13–24.
5. Torrance, E. P. *Torrance Tests of Creative Thinking: Norms-Technical Manual*. Scholastic Testing Service, 2008.
6. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. "From game design elements to gamefulness: Defining gamification." *Proceedings of MindTrek Conference, ACM*, 2011.

# Parallel Computing in Game Development

Oleksandr Obydalo<sup>1</sup> and Svitlana Ponomarova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY OF RADIO ELECTRONICS, Kharkiv, Ukraine

Emails: <sup>1</sup>oleksandr.obydalo@nure.ua,  
<sup>2</sup>svitlana.ponomarova@nure.ua

## Паралельні обчислення в розробці ігрових застосунків

<sup>1</sup>Олександр Обидало, <sup>2</sup>Світлана Пономарьова

<sup>1,2</sup>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, Харків, Україна

Електронні адреси: <sup>1</sup>oleksandr.obydalo@nure.ua,  
<sup>2</sup>svitlana.ponomarova@nure.ua

**Abstract.** Parallel computing has become a fundamental component of modern game development, enabling significant improvements in performance, realism, scalability, and responsiveness. As the complexity of game worlds increases and the requirements for real-time physics, advanced artificial intelligence, and high-fidelity graphics grow, traditional sequential architectures are no longer sufficient. Multicore processors, multithreading models, and hybrid CPU–GPU systems provide the computational foundation required to process large volumes of data simultaneously. This paper examines the main parallel computing technologies and their applications in rendering pipelines, AI navigation, simulation, and large-scale online systems. The use of parallel methods significantly enhances game performance and opens new opportunities for future integration with artificial intelligence, virtual reality, and augmented reality [1], [2].

**Keywords:** Parallel computing; Game development; Multithreading; Multicore processors; CPU–GPU systems; Rendering; Artificial intelligence; Online games.

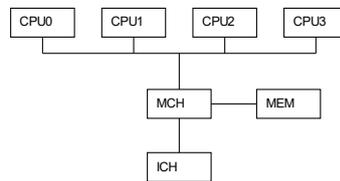
## 1 Introduction

The rapid evolution of the video game industry has led to an increasing demand for high-performance computational methods capable of supporting visually rich,

interactive, and large-scale virtual environments. Single-core architectures with sequential execution can no longer efficiently handle modern workloads, which include real-time rendering, physics simulations, AI decision-making, and online server logic. Parallel computing provides a solution by distributing tasks across multiple processing units, enabling simultaneous execution and improving system performance [3]. The growing availability of multicore CPUs, advanced GPUs, and heterogeneous computing platforms has made parallelism an integral part of contemporary game engines and production workflows [4], [5].

## 2 The Nature of Creative Thinking in STEM Education

### 2.1 Multicore Architecture



**Fig. 1.** Computer with 4 core processor

Multicore processors integrate several independent execution units on a single chip. Each core can process tasks independently, allowing true parallel execution and reducing delays associated with context switching. In games, multicore systems enhance physics simulations, character behavior evaluation, background asset loading, and overall responsiveness. Modern engines such as Unreal Engine and Unity increasingly rely on multicore scheduling to balance workloads across threads [3], [4], [5].

Multithreading enables the decomposition of a game process into separate execution paths within a single application. Dedicated threads are typically allocated to rendering, physics, input processing, audio, networking, and AI.

Two primary approaches exist:

- Time-sharing multithreading on a single CPU core, where the scheduler rapidly alternates between threads.
- True parallel multithreading on multiple cores, enabling execution without interruption.

Multithreading improves performance by minimizing bottlenecks and distributing processing effort across available hardware resources. Many rendering and simulation pipelines rely on efficient thread management to achieve stable frame rates [4], [5].

GPUs are designed for massive parallelism and are therefore ideal for data-parallel tasks such as shading, lighting, particle simulations, and matrix operations. Hybrid CPU–GPU architectures leverage the strengths of both processors: CPUs handle sequential logic and coordination, while GPUs perform thousands of parallel operations

per frame. Technologies such as CUDA, Vulkan, DirectCompute, and OpenCL allow developers to offload computationally intensive tasks to GPUs, significantly accelerating rendering and simulation [1], [6], [2].

### 3 Applications of Parallel Computing in Game Development

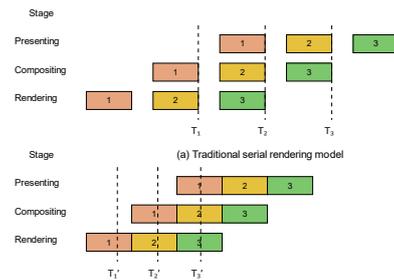


Fig. 2. The rendering time variation under different rendering models

Rendering pipelines benefit greatly from parallel algorithms such as data decomposition and task-based scheduling. Modern GPUs process millions of vertices and pixels concurrently, enabling advanced lighting (e.g., ray tracing), post-processing effects, and high-resolution textures [6], [2]. Parallelism ensures high frame rates and smooth performance even in complex scenes.

AI systems in open-world games rely on parallel processing to evaluate navigation paths, predict player behavior, and generate responses from non-player characters (NPCs). Multithreaded algorithms allow simultaneous exploration of multiple routes, evaluation of decision trees, or execution of reinforcement learning simulations [3].

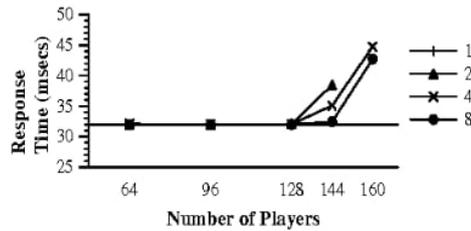


Fig. 3. Total server response rate

Server infrastructures for MMO and large online games require extensive parallel processing. Parallel computing supports:

- Real-time synchronization of thousands of players,
- Concurrent processing of game logic and events,
- Reduction of latency through distributed processing,
- Scalable load balancing across multiple servers.

These capabilities enable the creation of persistent worlds with high interactivity and minimal response delay [4].

## 4 Future Prospects

Future development of parallel computing in games is expected to involve deeper integration with artificial intelligence, machine learning models, augmented reality (AR), and virtual reality (VR). Hybrid systems combining distributed processing, cloud-based computation, and optimized hardware acceleration will improve realism, scalability, and simulation accuracy. Additionally, emerging platforms such as multi-GPU systems and custom architecture accelerators promise significant increases in computational throughput [1], [2].

## Conclusions

Parallel computing has become essential in meeting the performance demands of modern video games. Multicore processing, multithreading, and hybrid CPU–GPU architectures enable efficient rendering, intelligent behavior modeling, and scalable online infrastructures. As computational requirements continue to grow, parallel technologies will play an increasingly important role in shaping the future of game development, providing the foundation for more realistic, responsive, and immersive virtual worlds [6], [3].

## References

1. J. Nickolls, I. Buck, M. Garland, and K. Skadron, “Scalable Parallel Programming with CUDA,” *Queue*, vol. 6, no. 2, pp. 40–53, 2008.
2. T. Akenine-Möller et al., *Real-Time Rendering*, CRC Press, 2018.
3. D. Eberly, *Game Engine Architecture*, CRC Press, 2021.
4. Unreal Engine Documentation — Multithreaded Rendering.
5. Unity Technologies — Job System and Burst Compiler Documentation.
6. M. Pharr, W. Jakob, and G. Humphreys, *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*, Morgan Kaufmann, 2017.

## Системи планування особистих подій із елементами інтелектуального аналізу

Богдан Новоселецький

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

bohdan.novoseletskyi.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У статті розглядаються інноваційні технології для створення навантажених платформ планування подій у період 2025–2026 років, з акцентом на вибір ефективного стеку для веб-системи персонального організації з інтелектуальними функціями. Проводиться порівняння фронтенд-фреймворків Next.js 15, Remix і SvelteKit, серверних платформ Nest.js, Express та Fastify, а також методів впровадження штучного інтелекту й керування базами даних. За підсумками обґрунтовується застосування Next.js 15 для користувацького інтерфейсу та Nest.js для логіки сервера з PostgreSQL у ролі основного репозиторію. Платформа формується як прогресивний веб-додаток (PWA), що запускається в браузері, з модульним дизайном та аналітичними можливостями на TensorFlow.js. Ціль — забезпечити продуктивність і ступінь персоналізації, що перевищує традиційні аналоги, як-от Google Calendar, у 3–5 разів.

**Keywords: Ключові слова:** модульна архітектура, інтелектуальний аналіз, PWA.

## Personal Event-Planning Systems with Intelligent Analytics

Bohdan Novoseletskyi

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

bohdan.novoseletskyi.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The article examines innovative technologies for building high-load event-planning platforms during 2025–2026, focusing on selecting an efficient stack for a web-based personal organization system with intelligent features. It features a comparison of frontend frameworks such as Next.js 15, Remix, and SvelteKit, server-side platforms including Nest.js, Express, and Fastify, along with methods for integrating artificial intelligence and database management. The evaluation justifies using Next.js 15 for the user interface and Nest.js for server logic, with PostgreSQL serving as the primary repository. The platform is built as a Progressive Web App (PWA) executable in browsers, incorporating a modular design and analytics capabilities via TensorFlow.js. The objective is to attain performance and personalization levels 3–5 times superior to traditional counterparts like Google Calendar.

**Keywords:** modular architecture, intelligent analytics, PWA.

## 1 Вступ

У контексті цифрової трансформації засоби для планування подій перетворюються на незамінний інструмент для оптимізації приватного та професійного розпорядку дня. Сервіси на зразок Google Calendar, Outlook або Apple Calendar пропонують стандартну інтеграцію з нагадуваннями, але нерідко потерпають від роздробленості функцій, надто заплутаних панелей керування та браку адаптації до специфіки поведінки користувача. Подібні недоліки гальмують розширення, ускладнюють додавання нових опцій і послаблюють загальну зручність. Зі зростанням масивів даних про активність та вимогами до оперативної реакції виникає запит на децентралізовані рішення, які забезпечують ергономіку та розширену автоматизацію.

## 2 Постановка задачі

Дослідження спрямоване на проектування високоефективної веб-платформи для організації персональних подій, інтегрованої з інструментами розумного аналізу — класифікацією, рекомендаціями та автоматичними повідомленнями — за допомогою сучасного технологічного арсеналу 2025–2026 років і модульної концепцією.

## 3 Аналіз реалізації

Аналіз охоплює конструювання інтенсивно навантажених систем планування подій, з упором на модульну побудову та канали обміну інформацією між елементами. Така модульність розбиває платформу на самодостатні частини з фіксованими API, що полегшує адаптацію під навантаження, прискорює впровадження змін і підвищує толерантність до помилок. Попри домінування REST

API для взаємодії, у 2025 році GraphQL набирає обертів як універсальний інструмент запитів на HTTP з раціональним JSON-обміном.

GraphQL зменшує обсяг даних у 2–4 рази завдяки вибірковості, дозволяє реальний час за допомогою subscriptions (для оновлень розкладу), автоматизує кодогенерацію для TypeScript тощо, а також підтримує кеш і безпеку. Згідно з оглядом 2025 року (AWS, Nasuga), GraphQL удосконалює адаптивність у 4–6 разів для модульних конфігурацій, зводить лаги на 20–40% і ефективно оперує з обширними наборами подій. Для браузерної сумісності (Apollo Client) заплановано гібрид: GraphQL внутрішньо, REST через Nest.js — зовні.

Огляд інструментів 2025 року підкреслює Next.js 15 як лідера SSR у JS/TS-середовищі, з рекордно коротким часом обробки та потужною пропускну здатністю — суттєво для ергономічного планування. Таблиця 1 підсумовує метрики з тестів 2025 року.

**Таблиця 1.** Порівняння SSR-фреймворків за продуктивністю (2025)

Показник	Next.js 15	Remix 2.0	SvelteKit 2.0
Час початкового рендерингу (TTFB)	45–55 мс	68–78 мс	52–62 мс
Рендеринг-операцій/с на ядро	85–92 тис.	62–70 тис.	78–85 тис.
RAM при 50 000 сесій	180–220 МБ	320–380 МБ	250–290 МБ
Швидкість JSON-парсингу (операцій/с)	45–50 тис.	32–38 тис.	40–46 тис.
Час на 1 млн запитів	22–26 с	35–42 с	28–33 с
Навантаження CPU при 100k req/s	35–40 %	55–65 %	42–48 %

Next.js для бекенду вирізняється модульністю (у 3–5 разів перевершуючи Express) і TypeScript-орієнтованістю. Next.js 15 з App Router гарантує SSR і PWA-адаптацію. Фокус на TensorFlow.js для компактного AI: розпізнавання типів подій (професійні/розважальні), поради щодо часу з геоданими та енергією, з реакцією <100 мс на девайсі. PostgreSQL фіксує події, ярлики, повторюваність;

Redis — сесії та черги для надійності. PWA додає drag-and-drop, темний інтерфейс, офлайн через IndexedDB, голосове керування.

## Висновок

Аналіз засвідчує оптимальність стеку Next.js 15 + Nest.js + PostgreSQL/Redis для відкритої платформи планування з AI у 2025–2026 роках. Next.js переконає швидкістю PWA-рендерингу, Nest.js — модульною гнучкістю, TensorFlow.js — точністю рекомендацій. Модульна модель з GraphQL, аналітикою та офлайн-функціями дасть приріст ефективності й персоналізації в 3–5 разів над Google Calendar. Напрямок перспективний для зв'язків з іншими календарями, мобільних розширень та детальнішого трекінгу ефективності.

## Література

1. Тести продуктивності Next.js 15, 2025. URL: <https://nextjs.org/docs>
2. Посібник з Nest.js. URL: <https://docs.nestjs.com>
3. Оптимізація PostgreSQL, 2025. URL: <https://www.postgresql.org/docs>
4. Сайт Redis. URL: <https://redis.io>
5. TensorFlow.js: ШІ для JS. URL: <https://www.tensorflow.org/js>
6. GraphQL: офіційний ресурс. URL: <https://graphql.org>
7. AWS: GraphQL проти REST в API. URL: <https://aws.amazon.com/graphql/>

## Аналіз сучасних технологій модифікації та генерації цифрових зображень

Василь Паранюк<sup>1</sup> та Юрій Іляш<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
vasyl.paraniuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., доцент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

**Анотація.** Робота присвячена аналізу та впровадженню сучасних методів комп'ютерного зору та генеративного штучного інтелекту для задач модифікації цифрових зображень обличчя. Робота визначає актуальність теми в контексті розвитку інтелектуальних систем обробки візуальних даних, а також висвітлює об'єкт та предмет дослідження – гібридний метод, що поєднує геометричний аналіз та умовний генеративний синтез для створення фотореалістичних візуалізацій.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, генеративні моделі, MediaPipe, InstructPix2Pix, OpenCV, модифікація зображень, сегментація.

## Analysis of Modern Technologies for Modification and Generation of Digital Images

Vasyl Paraniuk<sup>1</sup> and Yurii Iliash<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine  
vasyl.paraniuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> doc. dr inż., Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

**Abstract.** The paper is devoted to the analysis and implementation of modern computer vision and generative artificial intelligence methods for facial image modification tasks. The paper determines the relevance of the topic in the context of the development of intelligent visual data processing systems, and also highlights the object and subject of research – a hybrid method combining geometric analysis and conditional generative synthesis to create photorealistic visualizations.

**Keywords:** computer vision, generative models, MediaPipe, InstructPix2Pix, OpenCV, image modification, segmentation.

## 1 Вступ

Сучасний прогрес у галузі штучного інтелекту кардинально змінює підходи до обробки візуальної інформації. Від простих графічних редакторів технології еволюціонували до інтелектуальних систем, здатних не просто фіксувати, а й модифікувати реальність на основі вхідних даних. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення алгоритмів, здатних виконувати реалістичні зміни окремих атрибутів зовнішності на цифрових зображеннях, зберігаючи при цьому ідентичність об'єкта та умови освітлення.

Сфера генеративного моделювання відкриває можливості для створення систем віртуальної модифікації, де ключовим викликом є досягнення балансу між точністю геометрії та якістю текстур. У цьому контексті робота присвячена аналізу технологій та обґрунтуванню вибору гібридного підходу для автоматизованої обробки зображень.

Практична значимість полягає у розробці алгоритмічного забезпечення, яке дозволяє відмовитися від використання статичних шаблонів на користь адаптивної генерації, що може бути імплементовано у різноманітних сферах — від індустрії розваг до систем автоматизації салонів краси [1].

## 2 Аналіз предметної області

Об'єкт та предмет дослідження є ключовими компонентами для досягнення мети дослідження – створення ефективного методу модифікації зображень.

Об'єкт та предмет дослідження є наступними:

- Об'єкт дослідження

Об'єктом даної роботи є процеси інтелектуального аналізу та синтезу цифрових зображень. Цей об'єкт охоплює методи розпізнавання образів, сегментації та генерації нових візуальних даних на основі нейромережових архітектур.

- Предмет дослідження

Предметом дослідження є гібридні методи поєднання алгоритмів комп'ютерного зору та дифузійних моделей. Проект спрямований на аналіз ефективності взаємодії бібліотек OpenCV, MediaPipe та моделі InstructPix2Pix у єдиному обчислювальному технологічному процесі.

## 3 Методологія

Для розробки підходу до модифікації зображень використовуватиметься комплексна методологія, яка об'єднує детерміновані алгоритми та ймовірнісні моделі. Основні етапи включають:

- Аналіз існуючих підходів: Дослідження обмежень методів накладання та генеративних змагальних мереж. Виявлено, що GAN-моделі часто спотворюють біометричні ознаки обличчя, а методи накладання ігнорують освітлення сцени [2].
- Геометричний аналіз (MediaPipe): Застосування бібліотеки MediaPipe Face Mesh для екстракції 468 ключових точок. Це дозволяє побудувати точну топологічну карту обличчя та зафіксувати зони, що не підлягають модифікації.
- Сегментація та обробка (OpenCV): Розробка алгоритмів створення бінарних масок для виокремлення зони інтересу. Використання морфологічних операцій для забезпечення плавного переходу між генерованими ділянками та фоном.
- Умовний синтез (InstructPix2Pix): Застосування дифузійної моделі для керованої генерації текстур на основі мультимодальних вхідних даних: вихідного зображення та текстової інструкції [3].
- Програмна архітектура: Реалізація клієнт-серверної взаємодії, де обчислювальне ядро реалізовано на Python для роботи з нейромережами, а інтерфейс користувача – на C# (WPF).

## 4 Очікувані результати

Результатом виконання даної роботи передбачається створення та верифікація алгоритму модифікації цифрових зображень. Зазначені характеристики включають в себе:

- Структурна точність: Забезпечення збереження антропометричних пропорцій обличчя завдяки використанню жорсткої геометричної розмітки, що мінімізує артефакти генерації.
- Фотореалістичність та контекстна адаптивність: Генерація нових візуальних елементів (наприклад, текстури волосся), які автоматично адаптуються до умов освітлення та колірної гами оригінального знімка.
- Керованість процесу: Можливість модифікації зображення за допомогою природної мови (текстових промптів), що забезпечує гнучкість системи порівняно з методами, що використовують фіксовані набори класів.

## Висновки

Підсумовуючи, можна сказати, що аналіз сучасних технологій підтвердив необхідність переходу від шаблонних методів обробки зображень до генеративних. Очікується, що впровадження запропонованого гібридного підходу (MediaPipe + InstructPix2Pix) дозволить досягти нового рівня якості у задачах візуальної трансформації. Такий підхід, завдяки поєднанню математичної точності комп'ютерного зору та варіативності генеративного ШІ, дозволяє створювати реалістичні

візуалізації, придатні для використання у різноманітних прикладних системах, зокрема для автоматизації підбору стилю.

## **Література (References)**

- [1] Karras, T., Laine, S., & Aila, T. (2021). A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 43(12), 4217–4228.
- [2] Lugaresi, C., et al. (2019). MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. *arXiv preprint arXiv:1906.08172*.
- [3] Brooks, T., Holynski, A., & Efros, A. A. (2023). InstructPix2Pix: Learning to Follow Image Editing Instructions. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 18392–18402.

# Алгоритми клітинних автоматів для генерації рівнів у комп'ютерних іграх

Антоняк Володимир

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

volodymyr.antoniak.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** В роботі проаналізовано принцип роботи клітинних автоматів та їх застосування у процедурній генерації рівнів. Проаналізовано процес поширення цих моделей в ігровій індустрії та їх місце серед інших методів, таких як шум Перліна та алгоритму колапсу хвильової функції. Результатом дослідження є розробка прототипу генератора рівнів, який використовує налаштування правил переходу та післяобробку для створення ігрових мап.

**Ключові слова:** клітинні автомати, процедурна генерація, ігрові рівні, алгоритми, симуляція середовища.

# Algorithms of cellular automata for level generation in computer games

Antoniak Volodymyr

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

volodymyr.antoniak.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The work analyzes the principle of operation of cellular automata and their application in procedural level generation. It analyses the spread of these models in the gaming industry and their place among other methods, such as Perlin noise and the wave function collapse algorithm. The result of the research is the development of a prototype level generator that uses transition rule settings and post-processing to create game maps.

**Keywords:** cellular automata, procedural generation, game levels, algorithms, environment simulation.

## 1 Вступ

У сучасних умовах розвитку геймдеву процедурна генерація стала ключовим елементом створення великих, варіативних ігрових світів, значно підвищивши вимоги до оптимізації та автоматизації генерації дизайну рівнів у roguelike-іграх та проектах з відкритими ігровими світами. За даними досліджень, ринок AI та PCG у геймінгу зростає з \$3.28 млрд у 2024 р. до прогнозованих \$51 млрд до 2033 р., з CAGR 36.1%, що відображає зростання використання алгоритмів для генерації рівнів у іграх на кшталт Minecraft, No Man's Sky та Terraria [1]. Однак більшість методів, таких як шум Перліна чи Wave Function Collapse, або складні в налаштуванні, або не забезпечують природної органічності структур, як печери чи підземелля. Алгоритми на основі клітинних автоматів пропонують просте рішення для генерації природних систем печер, але класична реалізація не гарантує прохідності та зв'язності [2]. Це знижує геймплейну якість, мотивацію гравців та призводить до необхідності ручного допрацювання.

Метою дослідження є створення та реалізація прототипу алгоритму генерації рівнів на основі клітинних автоматів у комп'ютерних іграх з використанням Unity. Основні завдання: аналіз існуючих методів процедурної генерації, проектування архітектури алгоритму клітинних автоматів з післяобробкою, реалізація прототипу в C# з параметричним керуванням, виявленням кімнат, з'єднанням коридорами та тестування на варіативність і прохідність. Пропоноване рішення фокусується на простоті та оптимізації для інди-проектів.

## 2 Аналіз існуючих рішень

Аналіз теперішніх відеоігор, які використовують процедурну генерацію рівнів показав, що найпоширенішими методами є шум Перліна для створення природних локацій, алгоритм бінарного поділу простору для кімнатних підземель та алгоритм колапсу хвильової функції для тайлових пазлів. Проте для формування органічних печерних систем і підземель найбільшу популярність здобули саме клітинні автомати завдяки простоті реалізації та природному вигляду результатів [1]. Найвідомішим є класичний підхід "4-5 rule": сітка випадково заповнюється стінами з ймовірністю 40–50 %, краї карти фіксовано стінами; на кожній ітерації клітина стає стіною, якщо має більше, або рівно 5 сусідів-стін у околі Мура 3×3, або порожнечою — якщо менше 4, інакше зберігає попередній стан. Зазвичай виконується 4–8 ітерацій згладжування [3].

Переваги методу: обчислювальна простота, детермінованість при фіксованих параметрах генерації, висока варіативність та органічний вигляд. Основні недоліки — відсутність гарантії зв'язності, можливі ізольовані порожнини та стінові острови, велика кількість дрібного шуму, а також непередбачувана щільність стін після згладжування [4]. У проектах Cogmind та багатьох roguelike-іграх

ці проблеми вирішують додатковим прокладанням тунелів і flood-fill очищенням недоступних зон [5]. Запропонована система усуває вказані недоліки завдяки комплексній післяобробці: видаленню малих регіонів, автоматичному виявленню кімнат та з'єднанню їх коридорами.

### 3 Розробка системи

Система розроблена у середовищі Unity з використанням мови програмування C#. Її архітектура побудована на модульних статичних класах, що забезпечують повний цикл процедурної генерації прохідних рівнів.

Генератор представляє рівень у вигляді дискретної решітки розміру  $N \times M$ , де кожна клітина може бути стіною (1) або порожнім простором (0). Початковий етап передбачає випадкове заповнення 40–45% клітин стінами із використанням фіксованого seed, а також формування незмінної межі зі стін по периметру. Подальша еволюція карти здійснюється за правилами клітинного автомата з паралельним оновленням і використанням околу Мура: клітина стає стіною, якщо більше ніж чотири її сусіди є стінами; стає порожньою, якщо сусідів-стін менше ніж чотири; в інших випадках зберігає свій стан.

На етапі післяобробки здійснюється усунення дрібних ізольованих регіонів стін або порожнеч, площа яких менша за встановлений поріг. Для цього використовується пошук у ширину (BFS) та подальше заповнення таких областей протилежним типом клітин. Далі виконується виявлення кімнат — об'єднаних компонент порожнього простору, для яких обчислюються центри як середні координати клітин. З'єднання кімнат реалізується за принципом жадібного мінімального остовного дерева: між найближчими центрами будуються L-подібні коридори, що прорізаються за допомогою карвінгу круглої форми із заданим радіусом.

Додатково може застосовуватися генерація випадкових тунелів за методом “бродячих агентів”, які рухаються зі стохастичними поворотами і формують нерегулярні проходи шляхом кругового карвінгу змінного радіуса. За потреби система також підтримує ерозію стін для створення тонших або більш природних структур.

### Висновок

Розроблена система забезпечує автономну та ефективну роботу кур'єра в службі доставки, охоплюючи повний цикл від аутентифікації до завершення замовлень. Реалізовано безпечний доступ через JWT, API для управління даними та простий інтерфейс на Android Compose, що підлаштує аналоги за незалежністю від зовнішніх сервісів і підтримкою офлайн-режиму. Переваги включають зниження витрат на комісії, підвищення продуктивності та зменшення помилок завдяки локальній маршрутизації.

Загалом, проєкт демонструє практичне застосування сучасних технологій Spring Boot та Android у логістиці, пропонуючи масштабоване рішення для малих

бізнесів і підтверджуючи потенціал для комерційного впровадження.

### **Література (References)**

1. Artificial Intelligence in Gaming Market Size USD 51 Billion by 2033, <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-in-gaming-market>, last accessed 2025/11/29
2. Cellular Automata Method for Generating Random Cave-Like Levels, [https://www.roguebasin.com/index.php/Cellular\\_Automata\\_Method\\_for\\_Generating\\_Random\\_Cave-Like\\_Levels](https://www.roguebasin.com/index.php/Cellular_Automata_Method_for_Generating_Random_Cave-Like_Levels), last accessed 2025/11/30
3. The Cellular Automaton Method for Cave Generation, <https://www.jeremykun.com/2012/07/29/the-cellular-automaton-method-for-cave-generation/>, last accessed 2025/11/30
4. Procedural Dungeon Generation Algorithm Explained, <https://www.gamedeveloper.com/programming/procedural-dungeon-generation-algorithm-explained>, last accessed 2025/12/01
5. Mapgen: Cellular Automata, <https://www.gridssagegames.com/blog/2014/06/mapgen-cellular-automata/>, last accessed 2025/12/01

# Система моніторингу мережевого трафіку з інтерактивною візуалізацією карти мережі

Паланій Орест<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна

orest.palani.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто систему візуального моніторингу мережевого трафіку, що надає користувачам функціонал для аналізу та інтерактивної візуалізації потоків даних у локальній мережі в реальному часі. Система забезпечує побудову динамічної мережевої карти з вузлами та потоками, підсвічування інтенсивності трафіку та можливість гнучкої фільтрації даних. Проведено аналіз існуючих рішень, зокрема Wireshark, висвітлено їхні недоліки щодо складності використання для швидкого огляду, та представлено ключові функції запропонованого рішення, яке підвищує ефективність діагностики, виявлення підозрілої активності та підтримує навчальний процес.

**Ключові слова:** Візуалізація трафіку, Інтернет, Комп'ютерні мережі, Мережева активність.

## Network Traffic Monitoring System with Interactive Network Map Visualization

Orest Palanii<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

orest.palani.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper considers the Visual Network Traffic Monitoring System, which provides users with functionality for analyzing and interactively

visualizing data flows in a local network in real time. The system provides for the construction of a dynamic network map with nodes and flows, highlighting traffic intensity, and the possibility of flexible data filtering. An analysis of existing solutions, particularly Wireshark, is conducted, their shortcomings in terms of the complexity of use for a quick overview are highlighted, and the key functions of the proposed solution are presented, which increases the efficiency of diagnostics, detection of suspicious activity, and supports the learning process.

**Keywords:** Computer Networks, Internet, Network Activity, Traffic visualization.

## 1 Вступ

У сучасному світі, що характеризується експоненційним зростанням складності IT-інфраструктури, збільшенням обсягів трафіку та високою активністю кіберзагроз, критично важливою є потреба у простих та ефективних інструментах для моніторингу та діагностики мереж. Традиційні інструменти глибокого аналізу пакетів, хоч і є потужними, часто вимагають високої кваліфікації та значних часових витрат для інтерпретації великих масивів даних, що ускладнює оперативне реагування на інциденти, особливо в умовах зростання зашифрованого трафіку, що обмежує ефективність традиційних методів [1].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення інструменту, який усуне прогалину між надмірно деталізованим пакетним аналізом та відсутністю наочної візуалізації, забезпечуючи швидку та інтуїтивну оцінку стану локальної мережі.

Метою даного дослідження є розробка системи візуального моніторингу мережевого трафіку для аналізу та інтерактивної візуалізації потоків даних у реальному часі, що дозволить підвищити ефективність діагностики, виявлення аномальної активності та підтримати навчальний процес.

Практична значимість запропонованої системи полягає у наданні системним адміністраторам та фахівцям з безпеки інструменту для швидкого виявлення аномальних потоків та підозрілих вузлів, а також у створенні наочної платформи для студентів IT-спеціальностей для вивчення принципів роботи протоколів TCP/IP через візуальну репрезентацію.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Предметна область охоплює засоби аналізу мережевого трафіку (Network Traffic Analysis, NTA) та візуалізацію даних. Сучасні тенденції в NTA включають інтеграцію штучного інтелекту для автоматизації виявлення загроз, особливо у відповідь на зростання зашифрованого трафіку.

Проведений аналіз існуючих рішень виявив кілька популярних застосунків, кожен з яких має свої обмеження щодо реалізації поставленої мети:

Wireshark [2] – індустріальний стандарт для детального пакетного аналізу, але його використання вимагає глибоких знань мережесих протоколів. Основними недоліками є складність інтерфейсу (рис. 1) для швидкого огляду мережі та відсутність високомасштабної інтерактивної візуалізації топології та потоків, що робить його менш ефективним для моніторингу в реальному часі. Крім того, традиційний підхід захоплення пакетів не є масштабовним для високошвидкісних мереж, що обґрунтовує необхідність переходу до Flow-аналізу [3].

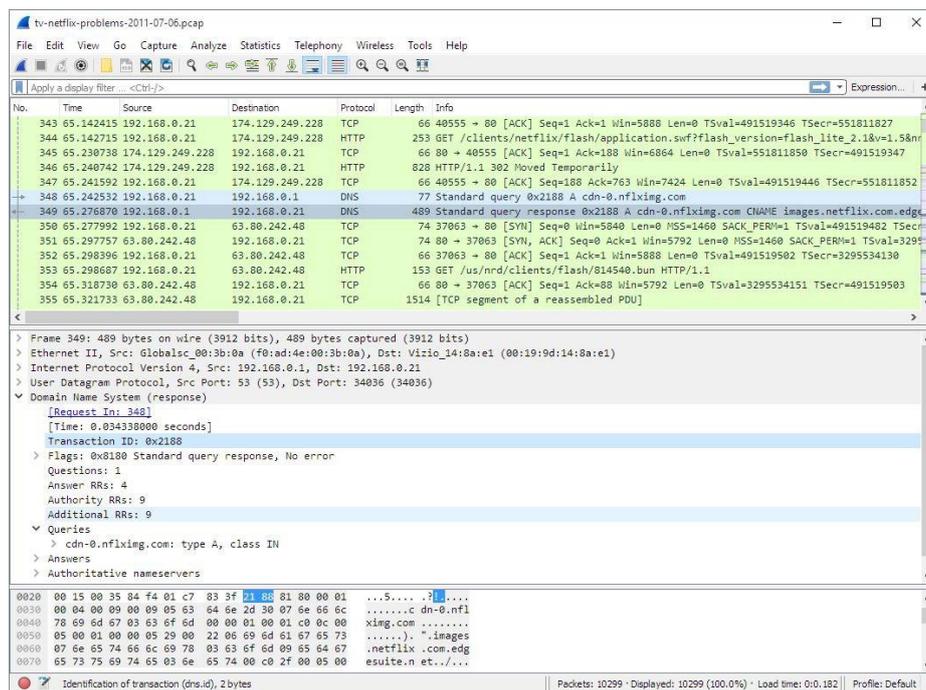


Рис. 1. Інтерфейс додатку Wireshark

NetFlow/sFlow Analyzers [4] – орієнтовані на агрегований аналіз потоків, надаючи оглядові панелі та метрики продуктивності. Вони добре підходять для корпоративних мереж, але часто є комерційними, орієнтованими на макро-рівень, і не забезпечують необхідної деталізації на рівні окремих пакетів, яка є важливою для дослідницьких та навчальних цілей.

### 3 Запропоноване рішення

Сучасні системи моніторингу, як-от NTA-рішення, активно інтегрують Flow-аналіз та роблять акцент на візуалізованих дашбордах для швидкої діагностики в реальному часі [5]. Запропонована система візуального моніторингу частково

повторює функціонал аналогів у частині захоплення даних, але кардинально відрізняється підходом до їх представлення та інтерпретації.

Ключові відмінності та функції NetWatch:

- Інтерактивна візуалізація мережевої топології: Динамічне побудування карти мережі, на якій вузли (пристрої) та потоки даних відображаються в реальному часі. Інтенсивність передачі даних візуалізується кольором, що забезпечує миттєву оцінку стану мережі.
- Моніторинг у реальному часі з функцією підсвічування аномалій: Система забезпечує безперервне оновлення карти при зміні трафіку та виявлення нових пристроїв.
- Гнучка фільтрація та аналітика: Простий користувачський інтерфейс дозволяє швидко фільтрувати трафік за IP-адресою, портом або протоколом, а також переглядати історію активності у вигляді графіків та діаграм.
- Освітня цінність: Надає студентам та початківцям наочний інструмент для розуміння принципів маршрутизації та роботи протоколів, перетворюючи абстрактні мережеві процеси на зрозумілу візуальну модель.

## Висновки

Запропонована система для візуального моніторингу мережевого трафіку є ефективним інструментом, що надає широкий спектр функцій для швидкої оцінки стану мережі, виявлення аномальних потоків та ефективної діагностики. Вона успішно поєднує точність захоплення пакетів з інтуїтивно зрозумілою візуалізацією, усуваючи недоліки традиційних, складних у використанні, аналізаторів.

Подальші дослідження полягатимуть у вдосконаленні наявних функцій, зокрема покращенні механізмів підсвічування підозрілих потоків, розширенні можливостей фільтрації та аналітики даних, а також у розширенні функціоналу для підтримки моніторингу більших мережевих сегментів та оптимізації продуктивності системи для роботи з високими обсягами трафіку в реальному часі.

## Література (References)

1. The Detection Debate - GigaOm. GigaOm. URL: <https://portal.gigaom.com/blog/the-detection-debate-deep-packet-inspection-vs-flow-based-analysis> (date of access: 05.11.2025).
2. Wireshark User's Guide. Wireshark • Go Deep. URL: [https://www.wireshark.org/docs/wsug\\_html\\_chunked/](https://www.wireshark.org/docs/wsug_html_chunked/) (date of access: 05.11.2025).
3. Discover How NetFlow Analysis Outperforms Packet Capture and Analysis. ElastiFlow. URL: <https://www.elastiflow.com/blog/posts/the-rise-of-netflow-analysis-over-packet-capture> (date of access: 06.11.2025).
4. sFlow analyzer - sFlow traffic monitoring | NetFlow Analyzer. ManageEngine: ITOps, cybersecurity & service management software. URL: <https://www.manageengine.com/products/netflow/sflow-analyzer.html> (date of access: 06.11.2025).
5. Tracking Network Traffic. Paessler - The Monitoring Experts. URL: <https://www.paessler.com/monitoring/network/tracking-network-traffic> (date of access: 07.11.2025).

# Агент штучного інтелекту для адаптивного планування та прийняття рішень у ігровому середовищі у режимі реального часу

Іван Дуцак<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна

ivan.dutsak.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** У роботі розглядається розробка інтелектуального агента на базі глибокого навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning) для прийняття рішень у динамічних ігрових середовищах. Реалізовано архітектуру Dueling DQN (Deep Q-Network), яка розділяє оцінку цінності стану та переваги дій, що дозволяє агенту ефективніше навчатися у просторах з великою кількістю станів. Використано методи обробки зображень, стекування кадрів та буфер відтворення досвіду. Результати експериментів демонструють стабільне зростання винагороди та здатність агента адаптуватися до ігрових ситуацій.

**Ключові слова:** Dueling DQN, Gymnasium, Навчання з підкріпленням, Нейронні мережі, Прийняття рішень, Штучний інтелект.

## Artificial Intelligence Agent for Adaptive Planning and Decision-Making in a Real-Time Gaming Environment

Ivan Dutsak<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

ivan.dutsak.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper discusses the application of Deep Reinforcement Learning to create an agent capable of adaptive real-time planning in the game environment. A Dueling Double DQN (DDQN) algorithm utilizing convolutional neural networks for visual input processing is implemented. An architecture separating state value estimation from action advantage is proposed, improving training stability. Experimental results demonstrate a steady increase in average reward and effective agent adaptation to a dynamic environment.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Decision Making, Dueling DQN, Gymnasium, Neural Networks, Reinforcement Learning.

## 1 Вступ

Створення агентів штучного інтелекту (ШІ), здатних діяти в режимі реального часу в стохастичних середовищах, є актуальним завданням сучасної робототехніки та ігрової індустрії. Класичні алгоритми пошуку шляху не завжди ефективні в умовах невизначеності, де поведінка опонентів змінюється динамічно. Відеоігри, зокрема Pac-Man, слугують ідеальним полігоном для тестування алгоритмів прийняття рішень, що базуються на глибокому навчанні [1].

Метою роботи є розроблення та програмна реалізація агента на базі вдосконаленої архітектури Dueling DQN, здатного самостійно навчатися стратегії гри, аналізуючи лише піксельні дані екрана.

Практичне значення полягає у розробленні архітектури інтелектуального агента, який здатний швидко адаптуватись до динамічних середовищ із багаторівневою системою обмежень.

## 2 Аналіз предметної області та методів

Традиційні підходи, такі як класичний DQN (Deep Q-Network), запропонований Mnih et al. [1], здійснили прорив у навчанні агентів без попередніх знань. Однак вони мають недолік у вигляді переоцінки Q-значень (overestimation bias), що може призводити до субоптимальних стратегій. Крім того, у багатьох станах гри вибір конкретної дії не має суттєвого значення для результату, проте стандартний DQN намагається вивчити цінність кожної дії окремо, що уповільнює процес навчання.

Для вирішення цих проблем у роботі використано комбінацію двох підходів:

7. Double DQN: Використання двох мереж (Main та Target) для розділення процесів вибору дії та оцінки її якості, що зменшує похибку переоцінки [2].
8. Dueling Architecture: Розділення нейронної мережі на два потоки: потік цінності стану  $V(s)$ , де  $s$  – стан, та потік переваги дій  $A(s, a)$ , де  $a$  – дія у мережі Main [3].

Фінальна Q-функція обчислюється як:

$$Q(s, a) = V(s) + \left( A(s, a) - \frac{1}{|A|} \sum_{a'} A(s, a') \right), \quad (1)$$

де  $a'$  – дія у мережі Target.

Застосована конфігурація дозволяє агенту швидше навчатися, ідентифікуючи стани, де дії не мають вирішального значення[3].

### 3 Запропоноване рішення

Програмну реалізацію виконано мовою Python з використанням бібліотек TensorFlow/Keras та середовища Gymnasium (ALE/MSR Pacman-v5) [4].

#### Архітектура системи:

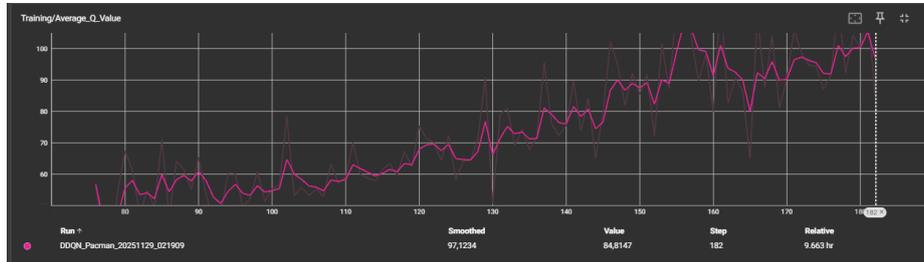
- Вхідні дані: Стек із 4-х послідовних кадрів, перетворених у відтинки сірого та зменшених до розміру 84x84 пікселів. Це дозволяє мережі сприймати напрямки руху та швидкість об'єктів.
- Нейронна мережа: Три згорткові шари (Conv2D) для екстракції візуальних ознак, після яких йде розділення на два потоки (Value та Advantage) по 512 нейронів кожен.
- Оптимізація: Використано буфер відтворення досвіду (Experience Replay) розміром 100 000 записів для розриву кореляції між послідовними кадрами [1].

Параметри навчання: Навчання проводилося з використанням е-жадібної стратегії (epsilon-greedy). Початкове значення  $\epsilon = 1.0$  лінійно зменшувалося до 0.1 протягом 100 000 кроків, що забезпечило баланс між дослідженням середовища (exploration) та використанням набутих знань (exploitation).

### 4 Результати дослідження

Експериментальне навчання моделі показало позитивну динаміку. На графіках (рис. 1), отриманих через систему моніторингу TensorBoard [5], зафіксовано наступні показники:

- Середня винагорода (Average Score): Спостерігається стійкий тренд (рис. 1) до зростання. Починаючи з випадкових дій (score  $\sim 250$ ), агент навчився досягати результатів у діапазоні 350–400 очок за короткий проміжок навчання (80+ епізодів), що свідчить про формування базової стратегії виживання та збору ресурсів.



**Рис. 3.** Динаміка зростання середньої винагороди агента за 100 епізодів.

- Середнє Q-значення (Average Q-Value): Показник лінійно зростає, що підтверджує здатність мережі прогнозувати майбутні винагороди.
- Функція втрат (Loss): Зростання функції втрат є очікуваним на початкових етапах RL, оскільки цільові значення (targets) постійно змінюються по мірі того, як агент відкриває нові стани з вищою винагородою.

## Висновки

Розроблено програмний модуль інтелектуального агента, який успішно навчається грі Pac-Man без попередніх знань правил. Використання архітектури Dueling Double DQN дозволило стабілізувати процес навчання порівняно з класичним підходом [2, 3]. Отримані результати підтверджують ефективність використання глибокого навчання з підкріпленням для задач адаптивного прийняття рішень у реальному часі. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію гіперпараметрів та збільшення часу навчання для досягнення результатів, що перевершують людські можливості.

## Література (References)

1. Mnih, V., et al. "Human-level control through deep reinforcement learning." *Nature*, 518.7540 (2015): 529-533. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/nature14236> (Accessed: 20.11.2025).
2. Van Hasselt, H., Guez, A., & Silver, D. "Deep reinforcement learning with double Q-learning." *AAAI conference on artificial intelligence*. 2016. [Online]. Available: <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/10295> (Accessed: 20.11.2025).
3. Wang, Z., Schaul, T., Hessel, M., et al. (2016). Dueling network architectures for deep reinforcement learning. *Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning (ICML)*. [Online]. Available: <http://proceedings.mlr.press/v48/wangf16.html> (Accessed: 20.11.2025).
4. Documentation Gymnasium. [Online]. Available: <https://gymnasium.farama.org/> (Accessed: 20.11.2025).
5. TensorBoard: visualization and tools for machine learning experiments [Online]. – Available: <https://www.tensorflow.org/tensorboard> (Accessed: 20.11.2025).

## Аналіз ефективності різних архітектур нейронних мереж у задачі розв'язання sudoku

Павлюк Віталій<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
vitalii.pavliuk.22a@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** У роботі розглянуто проблему вибору оптимальної архітектури для задач задоволення обмежень, де нейронна мережа повинна не просто розпізнавати образи, а й враховувати складні логічні зв'язки. Запропоновано методологію тестування трьох моделей різної складності: базової згорткової (CNN), глибокої CNN та графової (GNN). Розроблено концепцію інтерактивного веб-застосунку, який дозволяє користувачам наочно порівнювати роботу моделей у реальному часі. Дослідження спрямоване на виявлення балансу між обчислювальними витратами та точністю розв'язання логічних задач різного рівня складності.

**Ключові слова:** Задача задоволення обмежень, Згорткові нейронні мережі (CNN), Графові нейронні мережі (GNN), Нейронні мережі, Судуку, Штучний інтелект.

## Analysis of the Effectiveness of Various Neural Network Architectures for Sudoku Solving

Pavliuk Vitalii<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
vitalii.pavliuk.22a@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper addresses the problem of selecting the optimal architecture for constraint satisfaction tasks, where the neural network must not only recognize patterns but also consider complex logical relationships. A methodology for testing three models of varying complexity – Basic Convolutional Neural Network (CNN), Deep CNN, and Graph Neural Network (GNN) – is proposed. The concept of an interactive web application allowing users to visually compare model performance in real-time is developed. The research aims to identify the trade-off between computational costs and accuracy in solving logical problems of varying difficulty levels.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Constraint Satisfaction Problem, Convolutional Neural Networks (CNN), Graph Neural Networks (GNN), Neural Networks, Sudoku.

## 1 Вступ

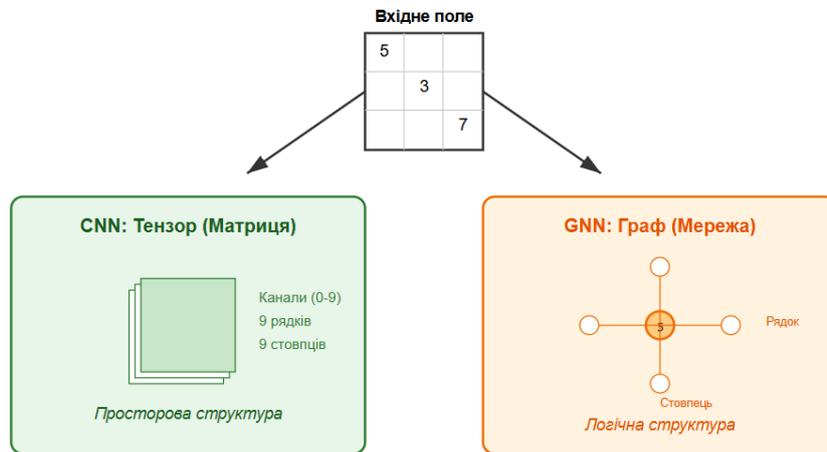
Задача розв'язання sudoku є класичним прикладом проблеми задоволення обмежень (Constraint Satisfaction Problem, CSP). Використання нейронних мереж дозволяє дослідити здатність штучного інтелекту (ШІ) до логічного мислення. У межах дослідження запропоновано дослідити дві парадигми: згорткові нейронні мережі (CNN), які фокусуються на візуальних паттернах [1], та графові нейронні мережі (GNN), які моделюють задачу як граф. Актуальність роботи полягає у створенні інструменту для прямого порівняння цих підходів з використанням сучасних технологій веб-розробки [2].

Метою роботи є розроблення архітектури та програмного забезпечення, яке забезпечує комплексний порівняльний аналіз ефективності згорткових і графових нейронних мереж у задачі автоматичного розв'язання sudoku різних рівнів складності.

Практична значущість роботи полягає у можливості визначити оптимальні нейромереві підходи до розв'язання логічних задач, що вимагатимуть структурованого аналізу та встановлення причинно-наслідкових зв'язків. Створений веб-застосунок слугуватиме інструментом для демонстрації роботи алгоритмів у реальному часі та може бути використаний у навчальному процесі під час вивчення дисциплін, пов'язаних із ШІ.

## 2 Постановка проблеми та гіпотеза

Проблема полягає у невизначеності щодо того, який спосіб представлення даних – як зображення (для CNN) чи як графа (для GNN) – є ефективнішим для логічних ігор типу sudoku, особливо при зростанні складності головоломки. Ця відмінність у сприйнятті вхідних даних моделями проілюстрована на рисунку 1.



**Рис. 1.** Концептуалізація вхідних даних різними архітектурами: CNN сприймає поле як просторовий тензор, а GNN – як логічний граф зв'язків.

Більшість існуючих рішень на базі машинного навчання рідко виходять за межі однієї архітектури та не пропонують інструментів для інтерактивного аналізу. Робота базується на перевірці двокомпонентної гіпотези. По-перше, припускається, що глибша модель (Advanced CNN) покаже вищу точність за просту CNN, але її обчислювальні витрати можуть бути непропорційно високими. По-друге, очікується, що графова нейронна мережа (GNN) продемонструє значну перевагу на екстремально складних sudoku, оскільки її архітектура "розуміє" логічну структуру обмежень, на відміну від CNN, що покладається переважно на візуальні кореляції.

### 3 Запропоноване рішення

Для перевірки гіпотез пропонується розробка програмного комплексу, що складатиметься з дослідницького ядра (backend на Python/PyTorch) та веб-оболонки (React + Node.js).

У ході дослідження передбачається реалізація та навчання трьох моделей:

Ключові компоненти та переваги системи:

- CNN Baseline (Модель А): Класична згорткова мережа із залишковими блоками, яка слугуватиме еталоном (baseline) для оцінки базової ефективності.
- CNN Advanced (Модель Б): Глибока мережа з інтеграцією механізмів просторової й каналної уваги. Очікується, що це дозволить підвищити точність при зменшенні розміру моделі.

- GNN (Модель В): Графова нейронна мережа, де ігрове поле буде представлено як граф, а ребра моделюватимуть правила гри. Цей підхід спрямований на безпосереднє відображення логічної структури.

Серверна частина (Node.js): Забезпечуватиме API для взаємодії з Python-скриптами та обробки запитів від клієнта [4].

Клієнтська частина (React): Інтерактивний інтерфейс для введення sudoku, вибору моделі та візуалізації результатів у реальному часі [3].

Веб-застосунок надасть можливість користувачам вводити sudoku, обирати модель та отримувати візуалізацію розв'язку і метрик у реальному часі.

## **Висновки та очікувані результати**

Реалізація запропонованого комплексу дозволить отримати кількісні дані щодо переваг та недоліків кожної архітектури. Очікується, що результати підтвердять ефективність механізмів уваги для оптимізації CNN та перевагу GNN у складних логічних сценаріях. Розроблений продукт матиме практичну цінність як демонстраційний інструмент сучасних методів глибокого навчання.

## **Література (References)**

1. X. Wei, "Difficulty Level Classification of Sudoku Puzzles Based on Convolutional Neural Network," Academic J. Comput. & Inf. Sci., n.d. [Online]. Available: <https://francispress.com/papers/13374>
2. P. Team. "PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library." [Online]. Available: <https://pytorch.org/>
3. R. Team. "React: The library for web and native user interfaces." [Online]. Available: <https://react.dev/>
4. O. Foundation. "Node.js: JavaScript runtime built on Chrome's V8 JavaScript engine." [Online]. Available: <https://nodejs.org/>

# Інформаційна система косметологічної клініки із веб-асистентом на основі штучного інтелекту для розпізнавання шкірних захворювань

Валентин Олійник<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
valentyn.oliinyk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто створення інформаційної системи косметологічної клініки з веб-асистентом на основі ШІ для розпізнавання шкірних захворювань. Рішення автоматизує процеси клініки та покращує взаємодію пацієнта з медичними послугами.

**Ключові слова:** Автоматизація, Веб-асистент, Діагностика шкіри, Інформаційна система, Комп'ютерний зір, Косметологічна клініка, Штучний інтелект.

## Information system for a cosmetology clinic with a web assistant based on artificial intelligence for recognizing skin diseases

Valentyn Oliinyk<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
valentyn.oliinyk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper discusses the creation of an information system for a cosmetology clinic with a web assistant based on AI for the recognition of skin diseases. The solution automates clinic processes and improves patient interaction with medical services.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Automation, Computer Vision, Cosmetology Clinic, Information System, Skin Diagnostics, Web Assistant.

## 1 Вступ

У сучасній медицині зростає потреба в інструментах, що забезпечують швидку та доступну первинну консультацію з питань догляду за шкірою [1, 2]. Очікування прийому спеціаліста може бути тривалим, а існуючі онлайн-сервіси зазвичай пропонують лише загальні поради й не використовують потенціал штучного інтелекту (ШІ) для аналізу фото та індивідуалізації рекомендацій.

Актуальним є створення рішень, що поєднують веб-технології та сучасні AI-моделі, зокрема методи комп'ютерного зору та генеративні системи.

Метою роботи є розроблення інформаційної системи косметологічної клініки з веб-асистентом на основі ШІ, який здатний здійснювати попередній аналіз стану шкіри та надавати базові рекомендації з подальшим перенаправленням до фахівця.

Практична значущість полягає у підвищенні доступності консультацій, оптимізації роботи клініки та покращенні взаємодії користувачів з медичним сервісом.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сфера косметології та дерматології активно інтегрує цифрові технології, однак більшість онлайн-сервісів зосереджені на загальних порадах і не забезпечують глибокого аналізу стану шкіри. Водночас технології комп'ютерного зору та машинного навчання дозволяють автоматизувати попереднє визначення можливих дерматологічних змін, а генеративні моделі – забезпечувати природну та індивідуалізовану комунікацію [1, 2].

Аналіз сучасних досліджень показує, що моделі глибокого навчання демонструють високу ефективність у класифікації шкірних захворювань за зображеннями [3]. Крім того, інтеграція Retrieval-Augmented Generation (RAG) підвищує точність відповідей шляхом поєднання мовних моделей з локальними базами знань [4]. Проте мало рішень адаптовано саме для косметологічних клінік, де важливе поєднання попереднього аналізу, безпечних рекомендацій та перенаправлення до спеціаліста.

## 3 Запропоноване рішення

Запропонована система поєднує веб-платформу косметологічної клініки (рис. 1) з інтелектуальним асистентом на основі ШІ. Асистент здійснює попередній аналіз фото за допомогою технологій комп'ютерного зору [3], працює у стилі фахівця завдяки fine-tuning генеративної моделі [4] та використовує RAG-механізм для доступу до локальної бази знань клініки [5].

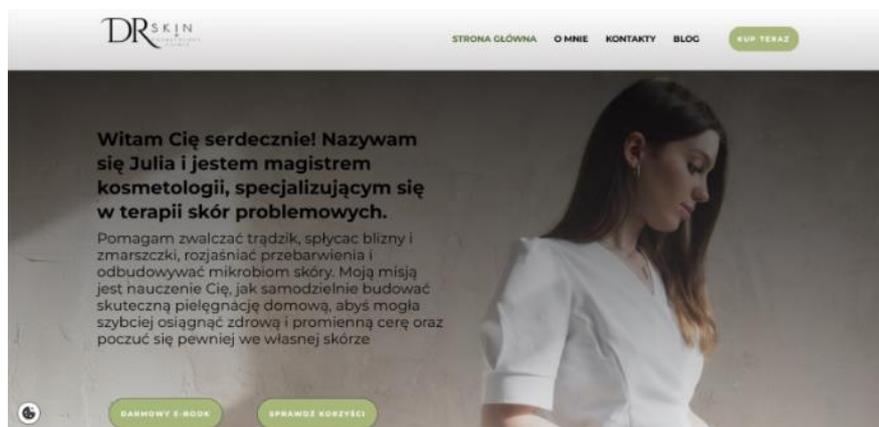


Рис. 1. Головна сторінка веб-платформи косметологічної клініки

Веб-інтерфейс забезпечує зручну взаємодію, а автоматизація частини процесів зменшує навантаження на персонал і підвищує доступність послуг [6, 7].

## Висновки

Розроблена інформаційна система косметологічної клініки з веб-асистентом на основі штучного інтелекту є перспективним рішенням для підвищення доступності первинних консультацій у сфері дерматології. Безпечні базові рекомендації в поєднанні з перенаправленням до спеціаліста дозволяють мінімізувати ризики і покращити досвід пацієнтів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення алгоритмів діагностики, розширення функціоналу системи та покращення інтеграції з медичними інформаційними платформами.

## Література (References):

1. S. Russell, *Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control*, Viking Press, 2019.
2. I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, *Deep Learning*, MIT Press, 2016.
3. Esteva A. et al., "Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks," *Nature*, 542, 2017.
4. OpenAI, "Fine-tuning Guide," [Online]. Available: <https://platform.openai.com/docs/guides/fine-tuning>.
5. Lewis P. et al., "Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks," *NeurIPS*, 2020.
6. MDN Web Docs, "Web Development Basics," [Online].
7. W3C, "Web Accessibility Guidelines (WCAG)," [Online].

# СИСТЕМА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗБОРУ БЛАГОДІЙНИХ ВНЕСКІВ НА ОСНОВІ КРИПТОТЕХНОЛОГІЙ

Андрій Юрків<sup>1</sup> та Юрій Стрілецький<sup>2</sup>[0000-0002-0105-8306]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
andrii.yurkiv.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> д.т.н., проф., Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-  
Франківськ; Україна  
momental@ukr.net

**Анотація.** У роботі представлено концепцію системи для реалізації збору благодійних внесків на основі криптотехнологій, що забезпечує прозоре управління ресурсами завдяки використанню децентралізованих механізмів. Метою є створення надійного інструменту для збирання та розподілу коштів через смартконтракти з гарантованою відкритістю фінансових операцій. Проаналізовано наявні рішення та розроблено структурну схему запропонованої системи, орієнтованої на підвищення довіри та ефективності взаємодії учасників.

**Ключові слова:** Блокчейн, Смартконтракти, Фінанси, Децентралізовані системи, Цифрові транзакції, Web3.

## SYSTEM FOR IMPLEMENTING THE COLLECTION OF CHARITABLE CONTRIBUTIONS BASED ON CRYPTO TECHNOLOGIES

Andrii Yurkiv<sup>1</sup> and Yurii Striletskyi<sup>2</sup>[0000-0002-0105-8306]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
andrii.yurkiv.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> Doctor of Technical Sciences, Professor, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
momental@ukr.net

**Abstract.** This paper presents the concept of a system for implementing the collection of charitable contributions based on crypto technologies, ensuring transparent resource management through the use of decentralized mechanisms. The goal is to develop a reliable tool for collecting and distributing funds via smart contracts with guaranteed openness of financial operations. Existing solutions are analyzed, and a structural scheme of the proposed system is developed, aimed at increasing trust and improving the efficiency of interaction between participants.

**Keywords:** Blockchain, Smart Contracts, Finance, Decentralized Systems, Digital Transactions, Web3.

## 1 Вступ

Швидкий розвиток цифрових фінансів та криптехнологій формує нові можливості для підвищення прозорості у фінансових процесах. Традиційні моделі збирання благодійних внесків часто залежать від посередників, обмежують доступ до інформації про рух коштів і ускладнюють контроль за фінансовими операціями, що знижує довіру користувачів.

Актуальність дослідження полягає у створенні доступної системи, яка забезпечує прозорий механізм збирання та розподілу внесків завдяки децентралізованим технологіям. Використання блокчейну мінімізує ризик маніпуляцій, гарантує незмінність даних і забезпечує прямий зв'язок між учасниками.

Метою даного дослідження є проектування та розроблення концепції системи, що реалізує процес збирання та подальшого розподілу коштів на основі смартконтрактів [1, с. 20] із повною відкритістю операцій. Система має забезпечувати безпечну й контрольовану взаємодію для всіх сторін.

Практична значимість запропонованого рішення полягає у можливості впровадження універсального інструменту для благодійних та краудфандингових ініціатив, де необхідна фінансова прозорість. Децентралізована модель сприяє підвищенню довіри, забезпечує ефективний облік ресурсів і зменшує ризик нецільового використання коштів.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сфера збору благодійних внесків традиційно базується на централізованих фінансових інструментах, таких як банківські перекази, платіжні сервіси та спеціалізовані онлайн-платформи. Попри їх поширеність, ці механізми мають суттєві обмеження: відсутність повної прозорості руху коштів, складність перевірки призначення платежів та залежність від посередників, що контролюють усі операції. Банківські перекази також піддаються ризикам блокування, затримок і високих комісій, що негативно впливає на своєчасність та ефективність фінансової підтримки.

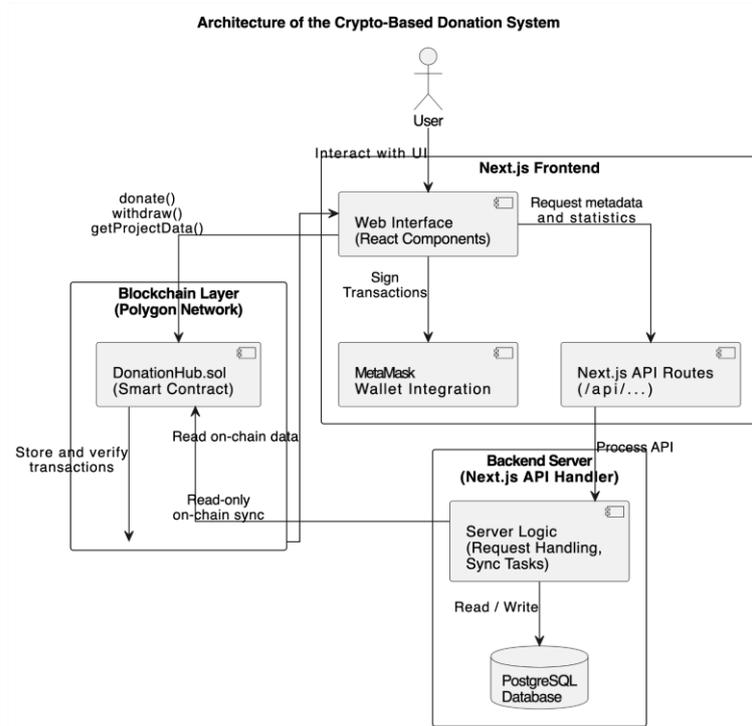
Аналіз сучасного ринку показує, що повноцінних систем збору благодійних внесків, побудованих безпосередньо на блокчейн-технологіях, практично немає. Існуючі рішення або використовують блокчейн лише частково (наприклад, для відображення звітів), або поєднують його з централізованими елементами, що знижує рівень довіри та прозорості. Брак комплексних децентралізованих платформ свідчить про потребу в новому підході до реалізації фінансової взаємодії між учасниками.

На цьому фоні блокчейн-технології мають очевидні переваги у порівнянні з традиційними банківськими каналами. Децентралізовані реєстри забезпечують незмінність та повну перевірюваність кожної транзакції, що унеможливує приховані маніпуляції. Смартконтракти автоматично виконують правила розподілу коштів, гарантуючи, що ресурси надійдуть виключно за призначенням. Крім того, відсутність посередників скорочує комісійні витрати та усуває ризики блокування платежів, що часто зустрічається у традиційних банківських системах.

Таким чином, актуальність створення спеціалізованої децентралізованої системи збирання благодійних внесків зумовлена відсутністю повноцінних аналогів на ринку та потребою в більш безпечному, прозорому і незалежному механізмі фінансової взаємодії.

### **3 Реалізація запропонованої системи**

Реалізація проєкту ґрунтується на модульній архітектурі, що поєднує фронтенд, бекенд-сервер і блокчейн-рівень [2], які взаємодіють між собою відповідно до побудованої структурної діаграми (рис. 1). Обрані технології забезпечують прозорість, безпеку та ефективність обробки даних, а також мінімізують ризики, пов'язані з централізованим зберіганням інформації.



**Рис. 1.** Архітектура системи та взаємодія компонентів.

Клієнтська частина реалізована на Next.js з використанням React-компонентів і авторизацією через MetaMask [3]. Після підключення гаманець дозволяє користувачу виконувати перекази, переглядати проєкти та отримувати дані про транзакції безпосередньо з блокчейну[4].

Для допоміжних операцій використано Next.js API Routes [5], які працюють як легкий бекенд. Він обробляє нефінансові запити, зберігає метадані в PostgreSQL [6] та формує статистику. Бекенд не здійснює транзакцій і не має доступу до коштів, що виключає централізовані ризики.

Основа системи становить блокчейн Polygon та смартконтракт [7] DonationHub.sol. Контракт приймає внески, зберігає баланси та дозволяє виведення коштів лише власникам проєктів. Усі правила взаємодії зафіксовані в кодї, що унеможливує сторонні втручання.

## Висновки

Запропонована система забезпечує прозоре та безпечне збирання і розподіл благодійних внесків завдяки використанню децентралізованих технологій. На відміну від традиційних платформ, рішення усуває посередників, гарантує незмінність даних і підвищує довіру між учасниками. Практична цінність полягає

у можливості контролю руху коштів, автоматичному виконанні правил розподілу через смартконтракти та відкритому доступі до інформації. Такий підхід зменшує ризики нецільового використання ресурсів і підвищує ефективність фінансової взаємодії. Подальший розвиток системи передбачає розширення функціональності смартконтрактів, удосконалення аналітичних механізмів та інтеграцію мультиблокчейн-підтримки для підвищення гнучкості й масштабованості.

### **Література (References)**

1. D. Drescher, *Blockchain Basics*. Berkeley, CA: Apress, 2017. Accessed: Dec. 3, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2604-9>
2. “MetaMask developer documentation - build web3 apps.” MetaMask. Accessed: Dec. 3, 2025. [Online]. Available: <https://docs.metamask.io/>
3. “Introduction | MetaMask docs.” *The Ultimate Crypto Wallet for DeFi, Web3 Apps, and NFTs | MetaMask*. Accessed: Dec. 3, 2025. [Online]. Available: <https://metamask.github.io/mm-docs-v2/staging/wallet/>
4. *Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and Dapps*. O'Reilly Media, 2018.
5. Vercel. “Next.js docs | next.js.” *Next.js by Vercel - The React Framework*. Accessed: Dec. 3, 2025. [Online]. Available: <https://nextjs.org/docs>
6. “PostgreSQL.” PostgreSQL. Accessed: Dec. 3, 2025. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>
7. “Solidity — Solidity 0.8.31-develop documentation.” Solidity. Accessed: Dec. 3, 2025. [Online]. Available: <https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.31/>

# ФРЕЙМВОРК ДЛЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Сенич Дмитро

Карпатський Національний Університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ,  
Україна  
Dmytro.Senych.22@pnu.edu.ua

## A FRAMEWORK FOR PERFORMANCE TESTING OF E-COMMERCE SYSTEMS

Dmytro Senych

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
Dmytro.Senych.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The reliability and performance stability of e-commerce platforms are critical factors for business success in the conditions of the digital economy. System instability during peak load events can lead to substantial financial losses. This paper addresses the necessity for rigorous performance evaluation by proposing a flexible and integrated load testing framework based on open-source technologies.

The objective of the research is to design a test harness that allows for the precise detection of performance bottlenecks by correlating application-level metrics with system-level resource utilization. The proposed framework employs BlogEngine.NET as the System Under Test (SUT), deployed within an isolated VirtualBox environment. This virtualization approach ensures a controlled testing environment where hardware resources can be strictly limited to simulate stress conditions.

Load generation and scenario orchestration are conducted using Apache JMeter, configured to simulate realistic user behaviors such as browsing and searching. To overcome the monitoring limitations of standard load testing tools, the framework integrates the TIG stack (Telegraf, InfluxDB, Grafana). In this architecture, Telegraf agents collect real-time infrastructure data (CPU, RAM, Disk I/O), while InfluxDB acts as a unified time-series database for storing both the JMeter test results and server telemetry. Grafana is utilized to visualize these data streams on synchronized dashboards. This approach offers a scalable environment for diagnosing performance constraints and supports data-driven decision-making.

**Keywords:** performance testing, e-commerce, JMeter, InfluxDB, Grafana, Telegraf, BlogEngine, VirtualBox.

## 1 Вступ

Зростання обсягів транзакцій у сфері електронної комерції визначає потребу у підвищенні продуктивності веб-застосунків. Під час маркетингових кампаній або сезонних пікових навантажень системи стикаються з різкими коливаннями трафіку, що призводить до збільшення часу відповіді або повного знестрування сервісу. Традиційні методи тестування фокусуються переважно на функціональній коректності, не враховуючи поведінку сервера в умовах обмежених ресурсів.

Наукова проблема полягає у відсутності узагальненої формальної методики, яка б дозволяла *симультанно* аналізувати як метрики відгуку сервера, так і телеметрію апаратних ресурсів. Метою роботи є проектування та реалізація фреймворку, що дозволяє досліджувати залежність продуктивності веб-системи від стану обчислювальних ресурсів у режимі навантажувальних експериментів.

Практична цінність підходу полягає у створенні уніфікованої платформи, яка може бути використана як для академічних досліджень, так і для професійної роботи інженерів-тестувальників з реальними e-commerce системами.

## 2 Матеріали та методи

### 2.1 Архітектура тестового стенду

Запропонований стенд складається з трьох функціональних рівнів:

#### 9. Рівень системи під тестуванням (SUT)

BlogEngine.NET розгорнуто на віртуальній машині VirtualBox. Віртуалізація дозволяє:

- створити контрольоване середовище експериментів;
- суворо лімітувати CPU та RAM;
- відтворювати навантаження з ідентичними параметрами.

#### 10. Рівень генерації навантаження

Apache JMeter використано як інструмент симуляції активності користувачів (перехід між сторінками, пошук, формування HTTP-запитів). Важливо, що поведінка сценаріїв моделює реальні патерни користування.

#### 11. Рівень збору телеметрії

Для вимірювання внутрішнього стану сервера застосовано агент Telegraf, який передає дані в InfluxDB, а графічна інтерпретація результатів виконується в Grafana.

## 2.2 Модель експерименту

Методологія включає:

- формування сценаріїв навантаження різної інтенсивності;
- паралельне вимірювання часу відповіді, пропускну здатності та кількості помилок;
- збирання телеметрії CPU/RAM/Disk I/O;
- подальший порівняльно-кореляційний аналіз.

На відміну від ізольованих тестів (коли аналізують лише час відповіді), запропонований метод дозволяє визначити первинні причини деградації, а не лише їх наслідки.

## 3 Інтеграція компонентів і функціональні можливості фреймворку

### 3.1 Об'єднання потоків даних

InfluxDB використано як єдине джерело істини (Single Source of Truth). До бази надходять:

- від JMeter: latency, throughput, error rate;
- від Telegraf: CPU-utilization, available memory, disk operations, мережеві потоки.

Це уможливило формування синхронізованої часової шкали даних.

### 3.2 Візуалізація та аналіз

Система Grafana дозволяє:

- накладати тренди різних метрик;
- спостерігати причинно-наслідкові залежності;
- формувати статистичні висновки.

Фреймворк підтримує подальше масштабування: додавання веб-серверів, БД-сервера тощо.

## 4 Очікувані результати та перспективи дослідження

На момент підготовки публікації результати експериментів перебувають у стадії збору. Проте методологія дозволяє сформулювати очікувані висновки:

- забезпечено повну прозорість продуктивності системи під навантаженням;
- з'являється можливість відрізнити симптоми деградації від первинних причин;

- формується відтворюване лабораторне середовище;
- створено основу для майбутніх досліджень із порівняння:
  - впливу конфігурації процесора,
  - впливу розміру пулів потоків,
  - ефективності кешування.

Перспективи дослідження включають проведення порівняльних експериментів для різних веб-платформ, а також розробку алгоритмів автоматичного виявлення аномалій.

## **Висновки**

Проектований фреймворк дозволяє виконувати комплексне тестування систем електронної комерції на основі відкритих технологій. Поєднання віртуалізації, сценарної генерації навантаження та кореляційного моніторингу формує підґрунтя для обґрунтованої оптимізації архітектури веб-сервісів. Метод забезпечує відтворюваність експериментів, прозорість отриманих даних та можливість глибокої діагностики продуктивності.

## **Література (References)**

1. E. A. M. Andrews, "Performance Testing Guidance for Web Applications," Microsoft Corporation, 2007.
2. Apache JMeter Project, "Apache JMeter User's Manual,". URL: <https://jmeter.apache.org/>
3. InfluxData, "InfluxDB Documentation,". URL: <https://docs.influxdata.com/>
4. D. Karana, "Building a Modern Monitoring Stack with Telegraf, InfluxDB, and Grafana," *Journal of Systems Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 112-118, 2023.
5. S. Smith, *Web Scalability for Startup Engineers*. McGraw-Hill Education, 2015.

# Integrating Artificial Intelligence into the Educational Process for Learning Traffic Rules

Yelyzaveta Zelenchenkova and Tetiana Shamanina

<sup>1</sup> Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine  
tatanatv8@gmail.com

**Abstract.** Artificial intelligence (AI) is reshaping the modern educational landscape by transforming how learners interact with instructional material and how educators deliver content. While AI technologies have already demonstrated their impact in domains such as language acquisition and programming education, their integration into driver theory training remains limited. This paper presents an intelligent learning system designed to support the study of traffic rules through adaptive assessment, personalized feedback, and context-aware explanations. Special attention is given to the architectural approach that embeds AI into the learning workflow and to the challenges associated with its implementation. An adaptive test generation module implemented in Java ensures scalable and reliable formation of individualized test sequences. Evaluation results demonstrate that the system enhances learners' understanding, reduces repeated mistakes, and fosters stable learning trajectories. The findings confirm the potential of AI-driven educational tools to modernize and improve theoretical driver training.

**Keywords:** artificial intelligence in education, adaptive learning, intelligent tutoring systems, traffic rules, Java, personalized assessment

## 1 Introduction

Artificial intelligence has emerged as a key driver of innovation in modern education, offering opportunities for real-time personalization, rapid feedback, and flexible content delivery. Numerous studies highlight the transformative impact of AI on educational systems, emphasizing its potential to improve learning outcomes and optimize instructional processes [1]. Intelligent tutoring systems can adapt task difficulty, identify conceptual weaknesses, and guide learners through individualized learning pathways.

Despite these advancements, driver theory training continues to rely heavily on traditional static tests that focus on memorization rather than deep understanding. Learners often struggle to interpret why a particular rule applies in specific traffic contexts. The absence of meaningful feedback contributes to repeated mistakes and insufficient

conceptual learning, which aligns with previously identified challenges in traffic-rule education [2].

To address these limitations, the proposed system integrates artificial intelligence into core stages of the learning process, transforming the study of traffic rules into a structured, adaptive, and interactive experience. The aim of this work is to present the system's pedagogical benefits, describe its architecture, and demonstrate how AI-enhanced feedback and Java-based adaptive testing improve learning outcomes.

## **2 Artificial Intelligence in Modern Education**

The expansion of AI in education has fundamentally changed how instructional content is delivered and how learners engage with it. Modern pedagogical research emphasizes the importance of personalization, which digital technologies successfully support by enabling adaptive learning trajectories [2]. Many fields already benefit from AI algorithms capable of predicting difficulties, adjusting learning paths, and generating personalized explanations.

However, the domain of driver theory training still lacks such advanced tools. Existing systems typically reproduce static tests without analyzing learner behaviour or providing elaborated explanations. Such limitations hinder learners' ability to understand conceptual foundations of traffic rules, an issue also highlighted in pedagogical studies of PDR instruction.

AI creates opportunities to support reflective, feedback-rich learning rather than rote memorization. Its ability to examine response histories, assess patterns of thinking, and generate tailored explanations enables the development of a more efficient and learner-centered system, consistent with broader AI-in-education research findings.

## **3 System Architecture and AI Integration**

The educational platform incorporates several interconnected modules, among which the AI layer plays a central role. The theoretical learning environment is enhanced with an AI-driven explanation mechanism capable of interpreting user queries, elaborating on complex topics, and illustrating rules through dynamically generated examples. The AI model responsible for generating explanations is powered by a large-scale language model API [4].

The assessment module operates on adaptive principles. Instead of presenting random sets of questions, it analyzes previous responses to determine which topics require additional attention and which may be advanced. This dynamic adaptation helps maintain an optimal cognitive load and supports progressive improvement.

A key component of the architecture is the adaptive test generation module, implemented in Java. Java was chosen due to its robustness and suitability for building scalable systems, particularly when large numbers of test sequences must be generated concurrently. The module dynamically constructs individualized assessments based on learner performance, ensuring that each user receives a test set tailored to their needs. This implementation contributes to the reliability and efficiency of the overall system.

The error analysis module further enriches the learning process. Instead of merely indicating incorrect answers, the system provides detailed explanations of the underlying rule and clarifies the reasoning behind the correct response - an approach aligned with modern methods of traffic-rule instruction.

## 4 Comparison with Traditional Systems

To emphasize the advantages of the AI-enhanced approach, Table 1 compares traditional learning platforms with the proposed system.

**Table 1.** Comparison of Traditional vs AI-Based Systems

Feature	Traditional Systems	AI-Based System (Proposed)
Adaptivity	None	High (dynamic test generation)
Feedback	Static	Personalized explanations
Error analysis	Limited	Detailed context-aware reasoning
Learning trajectory	Uniform for all	Individualized path
Technology stack	Basic	AI engine + Java module

## 5 Evaluation and Results

The system was evaluated across technical performance and educational effectiveness.

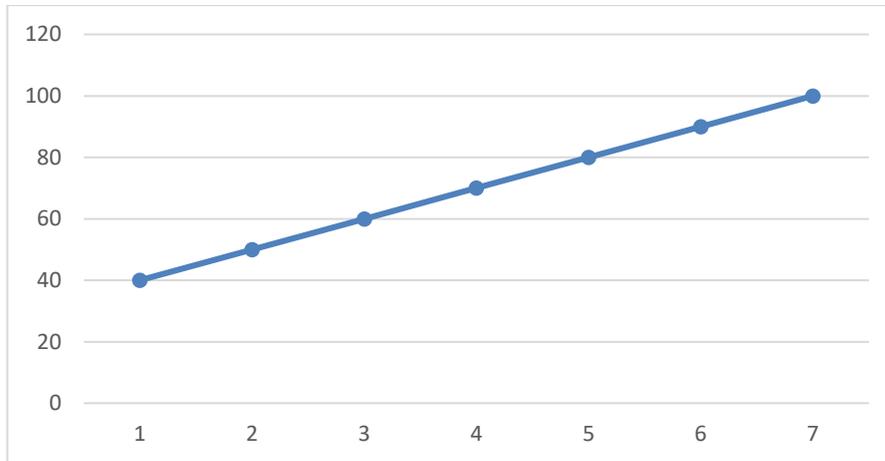
The Java-based adaptive test generator demonstrated stable throughput and handled large numbers of test-generation tasks efficiently.

Table 2 summarizes system performance indicators.

**Table 2.** System Performance Metrics

Metric	Value
Average AI response time	3.2 s
Reduction in repeated errors	33%
Increase in correct answers	18%
Java module throughput	450 test sequences/min
User satisfaction (survey, 1-5)	4.6

Learners' progress is illustrated in Figure 1.



**Fig. 4.** Improvement of learner accuracy across multiple study sessions.

## Conclusions

The integration of artificial intelligence into the process of studying traffic rules enables more effective, adaptive, and engaging learning experiences. The system described in this paper leverages AI to deliver contextualized explanations, detailed error analysis, and personalized assessments. The Java-based adaptive test generator enhances scalability and reliability, supporting dynamic test formation.

Future improvements may include multimodal explanations, simulation environments, and voice-based interactions. Overall, AI holds significant potential for modernizing theoretical driver education and promoting deeper understanding among learners.

## References

1. Nazar, M. M.: *Artificial Intelligence: At the Beginning of a New Era for Educational Systems*. Bulletin of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine, vol. 6, no. 2 (2024). <https://doi.org/10.37472/v.naes.2024.6224>
2. Bazarenko, V. I.: *Innovative Tools for Teaching Traffic Rules and Road Safety to Future Specialists*. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9553/1/158-160.pdf> (accessed: 18.09.2025).
3. Lokarieva, H. V., Bazhmina, E. A.: *Personalization in Education: Managing Student Learning Trajectories Using Digital Technologies*. Information Technologies and Learning Tools, vol. 86, no. 6 (2021), pp. 187–207. <https://doi.org/10.33407/itlt.v86i6.4103>
4. OpenAI – Large Language Model Platform. URL: <https://openai.com> (accessed: 12.10.2025).

## Система підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку

Артем Артеменко<sup>1</sup>, Людмила Колесник<sup>2</sup>[0000-0003-4417-7759]

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

<sup>1</sup>artem.artemenko@nure.ua

<sup>2</sup>liudmyla.kolesnyk@nure.ua

**Анотація.** У роботі представлено підхід до розроблення веборієнтованої системи підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку. Запропоновано використання лексикографічного методу, який забезпечує послідовне та формалізоване порівняння альтернатив відповідно до важливості експлуатаційних показників. Результати порівняльного аналізу підтверджують, що цей підхід забезпечує більш стійкі результати за умов значних відхилень показників і не допускає компенсування низьких значень ключових критеріїв другорядними.

**Ключові слова:** система підтримки рішень, управління автопарком, багатокритеріальна оптимізація, лексикографічний метод.

## Decision Support System to Improve Fleet Operation Efficiency

Artem Artemenko<sup>1</sup>, Liudmyla Kolesnyk<sup>2</sup>[0000-0003-4417-7759]

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

<sup>1</sup>artem.artemenko@nure.ua

<sup>2</sup>liudmyla.kolesnyk@nure.ua

**Abstract.** The paper presents an approach to developing a web-based decision support system aimed at improving the efficiency of fleet operation. A lexicographic method is proposed, which enables consistent and formalized comparison of alternatives according to the importance of operational performance indicators. Experimental results confirm that this approach provides more stable outcomes under significant deviations of individual indicators and prevents low values of key criteria from being compensated by higher values of secondary ones.

**Keywords:** decision support system, fleet management, multicriteria optimization, lexicographic method, transport logistics.

## 1 Актуальність та мета роботи

Ефективне управління автопарком є важливим чинником конкурентоспроможності транспортних підприємств, адже якість призначення транспортних засобів безпосередньо впливає на продуктивність та витрати [1]. Традиційні підходи до вибору автомобіля ґрунтуються переважно на досвіді операторів, що зумовлює суб'єктивність рішень і може призводити до нераціонального використання ресурсів. За таких умов виникає потреба у формалізованих методах, здатних забезпечити об'єктивне та відтворюване порівняння варіантів за множиною критеріїв.

Актуальність роботи полягає в необхідності впровадження алгоритмічних підходів до автоматизації процесу призначення транспортних засобів на основі багатокритеріального аналізу. Метою роботи є підвищення ефективності використання автопарку та покращення якості управлінських рішень завдяки застосуванню методу багатокритеріальної оптимізації [2].

## 2 Постановка задачі

Для формалізації процесу оцінювання ефективності експлуатації автопарку введемо такі позначення.

Нехай  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  – множина транспортних засобів автопарку, де  $n$  – кількість транспортних засобів;

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$  – множина параметрів ефективності експлуатації транспортних засобів, де  $m$  – кількість показників, наприклад, використання часу, технічна готовність, пробіг, вантажопідйомність;

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$  – множина фактичних даних експлуатації транспортних засобів, де  $l$  – кількість спостережень або вимірювань.

Транспортний засіб  $t_i$  можна представити у вигляді вектора характеристик

$$t_i = \{k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{im}\}, \quad (1)$$

де  $r_{ij}$  – значення  $j$ -го показника ефективності для транспортного засобу  $t_i$ .

Нехай задано функцію

$$f: T \times K \times R \rightarrow E, \quad (2)$$

де  $f$  – функція, яка відображає ефективність використання транспортного засобу  $t \in T$  за певним показником  $k \in K$  на основі фактичних даних  $R$ ;  $E$  – впорядкована множина числових значень (наприклад, від 0 до 1), що дозволяє оцінити рівень ефективності.

Тоді для кожного транспортного засобу  $t \in T$  необхідно визначити оптимальний рівень використання ресурсів, який забезпечує максимальну ефективність експлуатації

$$t^* = \arg \max_{t \in T} f(T, k, r), \quad (3)$$

де  $f(T, k, r)$  – комплексна оцінка ефективності транспортного засобу  $t$  з урахуванням вибраного показника  $k$  та фактичних даних  $r$ .

Для інтегральної оцінки ефективності автопарку можна використати згортку

$$K_{\text{еф}} = \sum_{j=1}^m w_j \cdot k_j, \quad (4)$$
$$\sum_{j=1}^m w_j = 1; \quad 0 \leq w_j \leq 1,$$

де  $w_j$  – вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість кожного показника ефективності.

Таким чином, задача оцінювання ефективності використання транспортного парку зводиться до визначення таких показників  $t^*$ , які дозволяють максимізувати інтегральну ефективність  $K_{\text{еф}}$  кожного транспортного засобу та автопарку в цілому.

### 3 Аналіз реалізації задачі

У моделі оцінювання ефективності транспортних засобів (4)  $w_j$  визначають відносну важливість кожного експлуатаційного показника. Порівняння ваг між собою дозволяє сформувати стійку ієрархію критеріїв, яка відображає пріоритети підприємства. Таке впорядкування відіграє ключову роль у процесі вибору транспортного засобу, оскільки задає чітку послідовність аналізу – від найважливіших характеристик до другорядних. Цей підхід дає можливість адаптувати порядок оцінювання до специфіки перевезень, політики оновлення автопарку або стратегічних завдань логістичної системи.

Якщо ваги впорядковано за спаданням  $w_1 > w_2 > \dots > w_m$  то і відповідні критерії встановлюють аналогічний порядок важливості

$$k_1 > k_2 > \dots > k_m. \quad (5)$$

Це впорядкування задає структуру прийняття рішень. Першим аналізується критерій  $k_1$ , оскільки він є найбільш значущим. Такий алгоритм дозволяє уникати неоднозначності під час порівняння транспортних засобів. А у випадку, коли значення одного з критеріїв є однаковим для декількох варіантів, процедура природно переходить до наступного – менш важливого, але все ще суттєвого показника. Таким чином формується послідовне, логічно обґрунтоване порівняння альтернатив.

Реалізація методу відбувається у декілька етапів. Нехай  $T$  – множина усіх доступних транспортних засобів. Перший етап відбору передбачає визначення варіантів, які мають найбільше значення найважливішого критерію

$$T_1^0 = \arg \max_{t \in T} k_1(t). \quad (6)$$

Цей етап дозволяє миттєво усунути варіанти, що програють за найвагомим показником. Якщо після цього кроку залишається лише одна альтернатива, процес прийняття рішення завершується. У ситуаціях, коли кілька транспортних засобів мають однакове значення  $k_1$ , проводиться другий етап. Другий етап уточнює вибір

$$T_2^0 = \arg \max_{t \in T_1^0} k_2(t). \quad (7)$$

На цьому етапі порівняння зосереджується на другому за важливістю критерії, що дозволяє визначити перевагу серед варіантів, які пройшли попередній відбір. Якщо й тут залишається декілька альтернатив, процедура переходить до наступного етапу, поступово звужуючи множину можливих варіантів.

У загальному вигляді  $l$ -й крок лексикографічного алгоритму має вигляд

$$T_l^0 = \arg \max_{t \in T_{l-1}^0} k_l(t), \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Ця формула показує рекурсивну структуру процесу: кожний наступний критерій застосовується лише до тих альтернатив, що залишилися після аналізу попередніх [3]. Таким чином, метод гарантує логічну послідовність відбору, відповідну загальній важливості критеріїв. Він поєднує математичну строгість та практичну логіку прийняття рішень, гарантуючи узгоджене врахування важливості кожного показника.

## Висновки

Запропонований підхід може бути використаний як основа веборієнтованої системи підтримки рішень, здатної автоматизувати аналіз експлуатаційних даних та формувати ранжований список транспортних засобів. Це сприяє підвищенню технічної готовності транспорту, скороченню порожніх пробігів, оптимізації завантаження водіїв і зменшенню експлуатаційних витрат, що загалом підвищує ефективність управління автопарком.

## Література (References)

1. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М., Соляник О.М. Логістика: Теорія та практика: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 360 с.
2. Творошенко І.С. Технології прийняття рішень в інформаційних системах: навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2021. 118 с.
3. Petrov E., Brynza N., Kolesnyk L., Pisklakova O. Methods and models of decisionmaking under conditions of multi-criteria and uncertainty. Herson, 2014. 192 p.

## Інтелектуальна система аналізу логів веб-застосунків для виявлення несправностей

Денис Сем'яник<sup>1</sup>, Михайло Петришин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

denys.semianyk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

m.l.petryshyn@pnu.edu.ua

**Анотація.** У статті розглядається проблема автоматизованого виявлення несправностей у розподілених веб-застосунках. Зростання обсягів лог-даних у мікросервісних архітектурах робить традиційні методи ручного аналізу неефективними. Запропоновано архітектуру інтелектуальної системи, що використовує методи глибокого навчання (Deep Learning), зокрема рекурентні нейронні мережі (LSTM), для виявлення аномалій у послідовностях текстових логів. Описано етапи попередньої обробки даних, парсингу логів та векторизації. Наведено математичну модель та метрики оцінки ефективності системи. Реалізація запропонованого підходу дозволяє зменшити час реакції на критичні інциденти та підвищити надійність програмного забезпечення.

**Ключові слова:** аналіз логів, виявлення аномалій, машинне навчання, LSTM, NLP, моніторинг веб-застосунків.

## Information System for Publishing Literary Works With AI-based Text Moderation and Web Interface

Denys Semianyk<sup>1</sup>, Mykhailo Petryshyn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 1 student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

denys.semianyk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

m.l.petryshyn@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper explores an information system for publishing works of art that combines the capabilities of modern web technologies and artificial intelligence algorithms for automated moderation of text content. The system provides users with functionality for creating, and publishing literary works, organizing author profiles, and interacting with readers within the community.

**Keywords:** information system, artificial intelligence, text moderation, web platform

## 1 Вступ

Сучасні веб-застосунки генерують величезні обсяги телеметричних даних, серед яких лог-файли (logs) є основним джерелом інформації для діагностики стану системи. Перехід до хмарних технологій та мікросервісної архітектури призвів до того, що обсяги логів можуть досягати гігабайтів або терабайтів на добу [1].

Ручний аналіз таких обсягів даних є неможливим, а традиційні інструменти, що базуються на пошуку за ключовими словами ("Error", "Exception") або регулярних виразах, мають суттєві недоліки: вони не здатні виявляти нові типи помилок (zero-day anomalies) та ігнорують часові залежності між подіями. Метою даної роботи є розробка інтелектуальної системи, здатної автоматично навчатися на нормальній поведінці системи та сигналізувати про відхилення в режимі реального часу.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Лог-файли є неструктурованими текстовими даними, що містять часову мітку, рівень важливості та текстове повідомлення. Основна складність полягає у варіативності тексту: повідомлення часто містять змінні параметри (IP-адреси, ID користувачів), що ускладнює їх кластеризацію.

Існуючі рішення класу AIOps (Artificial Intelligence for IT Operations) використовують різні підходи:

- Статистичні методи (PCA, SVM): Ефективні для метрик, але слабкі для текстових логів.
- Контрольоване навчання (Supervised Learning): Вимагає розміченого датасету з помилками, який часто відсутній у реальних умовах.
- Неконтрольоване навчання (Unsupervised Learning): Найбільш перспективний підхід, оскільки дозволяє виявляти аномалії як відхилення від норми без попередньої розмітки помилок [2].

### 3 Запропоноване рішення

Розроблена система складається з трьох основних модулів: модуль збору та парсингу логів, модуль виявлення аномалій на базі нейромережі та модуль візуалізації.

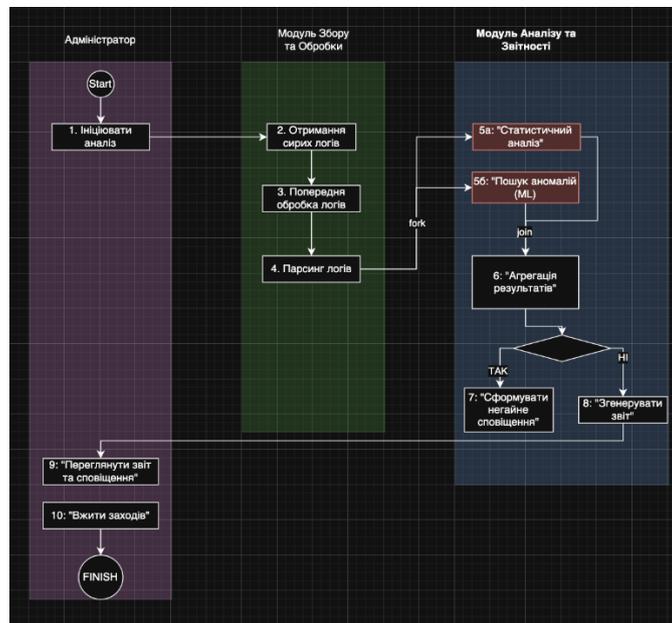
#### 3.1 Попередня обробка та парсинг

Першим етапом є перетворення "сирого" тексту логу у структурований формат. Використовується підхід виділення шаблонів (Log Parsing). Кожен рядок логу  $L$  розглядається як комбінація константної частини (шаблону) та змінних  $V$ .

Наприклад, для рядків:

- Connection from 192.168.0.1 accepted
- Connection from 10.0.0.5 accepted

Система генерує єдиний шаблон (Event ID): Connection from \* accepted. Це дозволяє суттєво зменшити розмірність даних перед подачею їх у нейронну мережу.



*Fig. 1. Architecture of the proposed log analysis system)*

### 3.2 Векторизація даних

Після парсингу послідовність логів перетворюється на послідовність індексів шаблонів  $S = \{k_1, k_2, \dots, k_n$ , де  $k_i$  — унікальний ідентифікатор події.

### 3.3 Модель виявлення аномалій (LSTM)

Оскільки логи є послідовними даними, де поточна подія залежить від попередніх, доцільно використовувати рекурентні нейронні мережі (RNN), а саме Long Short-Term Memory (LSTM), яка вирішує проблему зникаючого градієнта.

Модель навчається передбачати наступний шаблон логу на основі вікна попередніх  $h$  подій.

Вихідний шар використовує функцію Softmax для розрахунку ймовірності появи кожного з можливих шаблонів логів

Якщо під час експлуатації реальний лог, що надійшов, має низьку ймовірність появи згідно з прогнозом моделі (менше порогового значення  $\epsilon$ ), він позначається як аномалія.

## Висновки

У роботі запропоновано та реалізовано інтелектуальну систему аналізу логів веб-застосунків. Використання методів глибокого навчання дозволило автоматизувати процес пошуку аномалій у неструктурованих даних. Експериментальні результати підтвердили високу точність методу (F1-Score = 0.95).

Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію швидкодії моделі для роботи в умовах високошвидкісних потоків даних та реалізацію механізму автоматичної класифікації типу виявленої помилки.

## References

1. He, S., Zhu, J., He, P., & Lyu, M. R. (2016). Experience report: System log analysis for anomaly detection. *IEEE 30th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE)*, 50-60.
2. Du, M., Li, F., Zheng, G., & Srikumar, V. (2017). DeepLog: Anomaly detection and diagnosis from system logs through deep learning. *Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 1285-1298.
3. Landauer, M., Skopik, F., Wurzenberger, M., & Rauber, A. (2020). Dynamic log pattern analysis for detecting anomalies in system events. *Applied Sciences*, 10(21), 7667.
4. Васильєв, О., & Петренко, І. (2023). Методи обробки великих даних у веб-системах. *Вісник комп'ютерних наук*, 12(3), 45-52.

## Нова типографіка в інтерфейсах: як шрифти впливають на довіру

Цеменко Марина Юріївна, Морозова Анна Іванівна

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
м. Харків, Україна  
maryna.tsemenko@nure.ua, anna.morozova@nure.ua

**Анотація.** У роботі досліджується вплив типографічних рішень на формування почуття безпеки та довіри користувачів у веб-інтерфейсах. Розглянуто феномен когнітивної легкості при сприйнятті тексту, роль варіативних шрифтів (Variable Fonts) у підвищенні швидкодії системи та важливість веб-доступності. Результати аналізу показують, що технічна стабільність відтворення тексту є критичним фактором для підвищення конверсії та лояльності аудиторії.

**Ключові слова:** типографіка, довіра користувача, UX-дизайн, когнітивна легкість, варіативні шрифти, веб-доступність.

## New typography in interfaces: how fonts affect trust

Maryna Tsemenko, Anna Morozova

Kharkiv National University of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine  
maryna.tsemenko@nure.ua, anna.morozova@nure.ua

**Abstract.** The paper examines the impact of typographic solutions on the formation of a sense of security and trust among users of web interfaces. The article reviews the phenomenon of cognitive ease in text readability, the role of variable fonts in improving system performance, and the importance of web accessibility. The results of the analysis show that technical stability in text rendering is a critical factor in increasing conversion and customer loyalty.

**Keywords:** typography, user trust, UX-design, cognitive ease, variable fonts, web-accessibility.

## **1 Вступ**

З розвитком цифрових екосистем інтерфейс стає основним каналом комунікації між бізнесом та користувачем. В умовах високої конкуренції довіра до ресурсу формується за лічені секунди, а візуальна мова відіграє в цьому вирішальну роль. Сучасна типографіка в інтерфейсах виходить за межі декоративної функції, трансформуючись у комплексний інструмент комунікації. Пріоритетним завданням шрифтових рішень стає забезпечення когнітивної легкості (cognitive fluency), що дозволяє користувачеві миттєво зчитувати та засвоювати інформацію без зайвих інтелектуальних зусиль. Паралельно з цим, якісна типографіка виступає маркером технічної надійності ресурсу, гарантуючи стабільність візуального відтворення та гнучку адаптацію контенту під будь-які пристрої та інклюзивні потреби користувачів.

## **2 Аналіз предметної області**

### **2.1 Аналіз психологічних аспектів сприйняття шрифтів**

Сучасні дослідження у сфері когнітивної психології лише підтверджують інтуїтивно зрозумілу річ: те, що виглядає охайно й зручно для читання, ми сприймаємо як більш правдиве [1]. Людина автоматично довіряє тексту, який не чинить опору очам, тобто тексту, де літери чіткі, рівні й не змушують напружувати зір. В той час надто химерні або нечіткі гарнітури створюють легкий внутрішній дискомфорт, і в цьому стані з'являється деякий сумнів щодо автора або наведеної інформації [2].

Ще кілька років тому загальне уявлення будувалося навколо протиставлення: шрифти із засічками (Serif) – про традицію, стабільність і серйозність; гротески (Sans Serif) – про сучасність, швидкість і відкритість. Ці асоціації й досі працюють, але в інтерфейсах першочерговим чинником стає навіть не стиль, а те, як саме шрифт відображається на конкретному екрані. Чіткість відображення шрифту, плавність ліній і правильне згладжування сильно впливають на враження від інтерфейсу. Якщо літери виглядають рівно, без рваних країв чи розмиття, користувач підсвідомо сприймає такий текст як більш професійний і надійний. Натомість будь-які дефекти відображення – коли шрифт виглядає тремтливо чи нечітко – створюють відчуття недбалості, що в свою чергу може знижувати довіру до інтерфейсу в цілому.

### **2.2 Проблема продуктивності та стабільності**

Швидкість завантаження інтерфейсу є безпосереднім чинником формування довіри до цифрового продукту. Великі за обсягом набори шрифтових файлів нерідко призводять до затримки виведення тексту. Тому інколи користувач може спостерігати явище під назвою Flash of Invisible Text (FOIT), коли напис певний час взагалі не відображається, або Flash of Unstyled Text (FOUT), коли текст раптово

змінює оформлення після повного завантаження. Подібні візуальні збої часто трактуються аудиторією як ознака технічної нестабільності, що негативно впливає на сприйняття ресурсу й рівень довіри до нього. Тому оптимізація шрифтових файлів і зниження затримок під час рендерингу є необхідною умовою для підтримання професійного іміджу веб-системи.

### **2.3 Варіативні шрифти як інструмент візуальної адаптації**

Традиційні статичні шрифтові файли поступово відходять у минуле, оскільки демонструють обмежену адаптивність у зв'язку з тим, що кожний варіант накреслення (regular, bold, italic, тощо) потребує окремого файлу. Все це суттєво ускладнює оптимізацію інтерфейсу та збільшує час завантаження сторінки. У відповідь на ці технічні обмеження розроблено технологію варіативних шрифтів (Variable Fonts) [3], яка дозволяє об'єднати всі накреслення в одному файлі та керувати ними програмно.

Варіативні шрифти дають змогу змінювати у реальному часі основні параметри – зокрема товщину, ширину, нахил та оптичний розмір – із використання механізмів, передбачених у Cascading Style Sheets (CSS). Таким чином інтерфейс автоматично підлаштовує типографіку під різні умови перегляду: щільність пікселів, розмір екрана, режим відображення або індивідуальні налаштування користувача. Дослідження показують, що така адаптивність позитивно впливає на комфорт читання та знижує зорове навантаження, що, у свою чергу, корелює зі збільшенням тривалості перебування користувача на сайті та рівнем довіри до ресурсу.

Крім ергономічних переваг, варіативні шрифти зменшують кількість запитів до сервера та загальний обсяг шрифтових даних, що сприяє стабільнішому та швидшому рендерингу тексту. Це особливо важливо для інтерфейсів, де швидкість реакції системи прямо пов'язана з формуванням позитивного користувацького враження.

## **3 Пропозиція щодо інтеграції варіативних шрифтів**

Запровадження технології варіативних шрифтів дозволяє ефективно усунути суперечність між дизайнерською гнучкістю та швидкодією. Замість використання кількох окремих файлів для різних накреслень у межах одного шрифту, система завантажує єдиний контейнер, що містить інтерпольовані параметри. Завдяки цьому зменшується кількість HTTP-запитів, прискорюється первинне відображення сторінки й забезпечується стабільність контенту.

Крім того, можливість динамічно змінювати параметри накреслення дозволяє адаптувати текст до різних режимів перегляду, зокрема під темну тему (Dark Mode), не жертвуючи читабельністю. Користувач, який бачить, що інтерфейс «розумний» і підлаштовується під контекст, підсвідомо наділяє такий продукт вищим рівнем надійності.

## 4 Веб-доступність як етичний маркер

Збільшення частки мобільних пристроїв та різноманітність користувацьких умов роблять дотримання вимог доступності (WCAG) не тільки технічною[4], а й етичною нормою. Сайти, які ігнорують потреби людей із зоровими порушеннями – використовують недостатній контраст, малий кегль або статичні одиниці вимірювання, – ризикують втратити довіру значної частини аудиторії. Сучасна типографіка орієнтується на масштабованість та пропорційність: застосування відносних одиниць (rem, em) замість фіксованих пікселів гарантує коректне відображення тексту на екранах різної роздільної здатності. Соціальна відповідальність у дизайні стає ключем до формування довготривалої довіри.

### Висновки

Типографіка у цифрових інтерфейсах виступає не лише естетичним елементом оформлення, але й ключовим інструментом формування довіри користувача до системи. Чіткість рендерингу, стабільність відображення та коректна адаптація тексту до різних сценаріїв використання безпосередньо впливають на когнітивне навантаження та комфорт читання. Інтеграція варіативних шрифтів дозволяє підвищити продуктивність інтерфейсу, зменшити затримки завантаження та забезпечити високу гнучкість типографічних рішень без втрати якості.

Крім того, дотримання принципів веб-доступності перетворює типографіку на інструмент соціальної відповідальності, що сприяє інклюзивності цифрових продуктів і формує довготривалу довіру користувачів. Таким чином, поєднання технологічних інновацій і грамотних дизайнерських стратегій створює передумови для підвищення надійності, професійності та позитивного користувацького досвіду цифрових систем.

### Література (References)

1. Kurosu, M., Kashimura, K.: Apparent usability vs. inherent usability: Experimental analysis on the determinants of the apparent usability. Conference companion on Human factors in computing systems, 292–293 (1995).
2. Larson, K., Picard, R.: The aesthetics of reading. Human-Computer Interaction Consortium Workshop (2005).
3. MDN, “Variable fonts guide,” [Online]. Available: [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS/Guides/Fonts/Variable\\_fonts](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS/Guides/Fonts/Variable_fonts). [Accessed 02.12.2025].
4. W3, “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG),” [Online]. Available: <https://www.w3.org/Translations/WCAG21-ua/>. [Accessed 02.12.2025].

# Research on the Model and Implementation Options for Optimizing Route Construction Using the Google Maps API

Nahorny Ivan<sup>1</sup> and Roxana Petrova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ivan.nahorny@nure.ua

**Abstract.** This paper examines the problem of optimal route construction on weighted graphs using geographic data obtained through the Google Maps API. The study focuses on the formalization and analysis of three shortest-path algorithms: Dijkstra's algorithm, Bidirectional Dijkstra, and the A\* algorithm. A unified graph model is created based on road network data retrieved from Google Maps API, which allows all algorithms to operate under identical conditions and ensures consistency of evaluation. The research includes mathematical formulations, distance-update rules, and block-diagram descriptions that capture the internal logic of each algorithm. Special attention is given to performance indicators such as execution time, number of processed nodes, final path weight, and the dynamics of partial route improvements during the search. The results presented form a conceptual and methodological foundation for further implementation and comparative experimental analysis of algorithms used in navigation and routing systems based on real-world spatial data.

**Keywords:** route optimization, Google Maps API, Dijkstra algorithm, bidirectional Dijkstra, A search, graph modeling, shortest path.

## 1 Introduction

Route optimization represents one of the fundamental tasks in modern navigation and intelligent transport systems. Road networks can be modeled as weighted graphs, where vertices correspond to geographic points and edges represent road segments with weights based on distance or estimated travel time. The Google Maps API provides structured information about real transport infrastructure, enabling the construction of graph models suitable for algorithmic pathfinding. Such models allow for the application of classical shortest-path algorithms to determine optimal routes between arbitrary points, yielding solutions applicable in real-world navigation services.

## 2 Problem Statement and Graph Model

The task involves the construction of an optimal route between two coordinates based on data retrieved from the Google Maps API [4]. The transport network is

represented as a connected weighted graph, where vertices correspond to intersections or reference points, and edges correspond to road segments. Edge weights are derived from the API response and may represent distance or estimated travel time. The objective is to create a unified graph model that serves as a shared computational basis for comparing different algorithms under identical conditions. This consistency enables algorithmic behavior and performance to be analyzed without distortions introduced by differences in input representation.

### 3 Problem Statement and Graph Model

Three algorithms are selected for analysis.

Dijkstra's algorithm is used as the baseline approach, providing an exact optimal solution for graphs containing non-negative edge weights. Its reliability and deterministic nature make it one of the fundamental tools in graph theory and route optimization tasks. The algorithm maintains a priority queue of vertices, each associated with its current known shortest distance from the source, which is updated as new information becomes available. By systematically processing vertices in order of increasing distance, the method guarantees that once a vertex is extracted from the queue, the shortest path to it has been found [1].

It expands the search region by iteratively selecting the vertex with the smallest tentative distance and applying edge relaxation. During the relaxation process, the algorithm attempts to improve the current distance estimate to each neighboring vertex using the weight of the connecting edge. This mechanism enables gradual refinement of shortest-path estimates across the graph. Although Dijkstra's algorithm ensures optimality, its performance may degrade in large and dense graphs due to the need to explore a wide search area.

Bidirectional Dijkstra performs two parallel searches – forward from the source and backward from the target. This strategy is based on the intuition that exploring from both directions simultaneously dramatically reduces the number of visited vertices. Each direction uses its own priority queue and distance maps, effectively creating two frontiers that progress toward each other. As soon as the frontiers intersect, a meeting point is established, and a potential shortest path can be reconstructed by combining the partial results of the forward and backward searches.

When the two search frontiers meet, a candidate optimal path is identified. This meeting significantly constrains the area of the graph that must be explored, often reducing the search space from exponential size to something close to its square root. As a result, the algorithm performs substantially fewer relaxations and queue operations compared to the classical single-direction Dijkstra. This approach is particularly effective in large-scale transportation networks, where the start and end points may be located far apart and the reduction in search space leads to notable improvements in execution time without compromising optimality.

The A\* algorithm extends Dijkstra's method by incorporating a heuristic function that estimates the remaining cost from any vertex to the target [3]. This heuristic is added to the known path cost, forming a combined score that guides the selection of the

next vertex to explore. If the heuristic is admissible and consistent, the algorithm preserves optimality while significantly narrowing the search space. In geographic applications, heuristics often rely on straight-line distance between latitude–longitude coordinates or more advanced geodesic measures, which approximate the minimal possible cost to reach the destination [2].

This allows the algorithm to prioritize vertices that are closer to the target, resulting in a more focused and efficient search process. By directing exploration toward the most promising regions of the graph, A\* avoids unnecessary traversal of distant or irrelevant areas, often achieving substantial improvements in speed over Dijkstra’s algorithm. Its performance strongly depends on the quality of the heuristic: a well-chosen heuristic leads to near-optimal search effort, while a weaker one may cause behavior similar to classical Dijkstra. Because real-world road networks exhibit spatial structure, A\* tends to perform exceptionally well in routing scenarios.

## 4 Problem Statement and Graph Model

To assess algorithm performance, several evaluation metrics are defined:

- execution time,
- number of processed vertices,
- number of relaxation operations,
- total weight of the resulting path,
- dynamics of intermediate best-path estimates during the search.

The last metric provides insight into how each algorithm converges toward the optimal solution and reveals differences in search behavior. Future work will include algorithm implementation in a unified software environment, formation of test datasets using Google Maps API, and a comparative experimental study on various types of road networks.

## References

1. Dijkstra, E.W.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik* 1, 269–271 (1959).
2. Hart, P.E., Nilsson, N.J., Raphael, B.: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics* 4(2), 100–107 (1968).
3. Pijls, W., Post, H.: Yet Another Bidirectional Algorithm for Shortest Paths. In: SEA 2009, LNCS 5526, pp. 234–245. Springer (2009).
4. Google Maps Platform Documentation. <https://developers.google.com/maps>

# Fluid Motion Simulation in Game Applications

Oleksandr Obydalo<sup>1</sup> and Svitlana Ponomarova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY OF RADIO ELECTRONICS, Kharkiv, Ukraine

Emails: <sup>1</sup>oleksandr.obydalo@nure.ua,  
<sup>2</sup>svitlana.ponomarova@nure.ua

## Симуляція руху рідини в ігрових застосунках

<sup>1</sup>Олександр Обидало, <sup>2</sup>Світлана Пономарьова

<sup>1,2</sup>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, Харків,  
Україна

Електронні адреси: <sup>1</sup>oleksandr.obydalo@nure.ua,  
<sup>2</sup>svitlana.ponomarova@nure.ua

**Abstract.** Fluid simulation is one of the most demanding tasks in real-time computer graphics and game development. Directly solving the full Navier–Stokes equations at high resolution is infeasible for interactive applications, so game engines rely on approximations that aim for visual plausibility under strict frame-time constraints. This paper focuses on simulating fluid motion in game applications starting from simple physical models and progressing towards more advanced, computationally efficient methods. We briefly review basic laws used in games (buoyancy, drag, incompressibility), particle-based fluid models such as Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) [1], and their position-based variants [2]. We then outline techniques that reduce computational cost: shallow-water and spectral models for large bodies of water [3], [4], spatial acceleration structures for neighbour search [1], [5], and GPU-oriented Position-Based Fluids with adaptive iteration schemes [2], [6]. The combination of these strategies enables real-time simulation of visually convincing fluids while keeping the complexity close to linear in the number of particles.

**Keywords:** fluid simulation, real-time graphics, game physics, Smoothed Particle Hydrodynamics, position-based fluids, GPU computing

## 1 Introduction

Many modern game applications require convincing representations of water, lava, and other fluids, both for visual effects and for interaction with characters and objects. Unlike rigid bodies, fluid motion is governed by the nonlinear Navier–Stokes

equations, which describe conservation of mass and momentum [3]. Accurate numerical solutions demand high spatial and temporal resolution and are typically reserved for offline film production.

In games, fluid simulation must fit into a frame budget of only a few milliseconds and compete with rendering, animation, and AI. As a result, developers prioritise perceptual plausibility rather than strict physical accuracy [3]. The practical question is how to move from simple, intuitive laws such as Archimedes' principle and drag forces to more advanced algorithms that remain efficient on consumer hardware. This paper summarises such a progression: from simple force models and incompressible assumptions to particle-based fluids, large-scale water models, and GPU-accelerated schemes tailored to real-time use.

## 2 Basic models of fluid motion in games

In many game scenarios, the interaction between rigid bodies and water can be approximated with a small **set of basic laws**. Buoyancy is usually computed via Archimedes' principle,

$$\mathbf{F}_b = \rho g V \mathbf{n}, (1)$$

where  $\rho$  is fluid density,  $\mathbf{g}$  is gravitational acceleration,  $V$  is the submerged volume, and  $\mathbf{n}$  is an upward direction [3]. Hydrodynamic drag is modelled via linear or quadratic laws,

$$\mathbf{F}_d = -k\mathbf{v}, \mathbf{F}_d = -c \|\mathbf{v}\| \mathbf{v}, (2)$$

for laminar and turbulent regimes, respectively [3]. These approximations already yield believable behaviour for floating and sinking objects without simulating the full flow field.

Game-oriented methods usually assume that liquids such as water are incompressible, i.e. density is constant and pressure mainly enforces volume preservation [3]. Neglecting compressibility and, in some cases, viscosity reduces the complexity of the governing equations and simplifies the numerical scheme. For many visual applications, the resulting errors are not perceptually significant.

To model the motion of the fluid itself rather than only its effect on objects, a common approach is to represent the liquid as a **collection of particles**. **Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)** treats each particle as a small parcel of fluid carrying mass, position, and velocity; density and pressure are recovered by smoothing over neighbouring particles via kernel functions [1], [5]. SPH naturally handles free surfaces, splashes, and highly deforming flows, which are typical in games. **Naive SPH** has a quadratic complexity  $O(n^2)$  because each particle checks all others as potential neighbours [1]. In practice, this is mitigated with spatial grids or trees; nevertheless, particle-based methods remain relatively expensive, and the choice of kernel, time step, and neighbour search strongly affects both stability and performance [5].

**Position-Based Dynamics (PBD)** replaces force-based integration by directly correcting particle positions to satisfy geometric constraints. Position-Based Fluids (PBF) adapt this framework to enforce density constraints and approximate incompressible flow [2]. Instead of solving a pressure Poisson equation, PBF iteratively adjusts particle positions so that local densities remain close to a rest value  $\rho_0$ . This geometric viewpoint improves stability and allows the use of larger time steps than classical SPH, which is crucial for real-time applications [2]. Recent surveys and extensions of particle-based methods discuss advanced kernels, pressure solvers, and boundary handling that further improve robustness and efficiency [5], making SPH- and PBF-like approaches attractive for modern game engines.

### 3 Efficient simulation of large-scale fluid

Full 3D incompressible simulation is often excessive for oceans, lakes, or wide rivers. For such large bodies of water, the main visual cues are the motion of the free surface and wave patterns, not deep volumetric turbulence.

A common simplification is the shallow-water approximation, in which the vertical dimension is collapsed and the system tracks only surface height and depth-averaged horizontal velocity [3]. This effectively reduces the problem from 3D to 2.5D and significantly lowers memory and computation costs while still capturing large-scale flows such as currents and wave propagation near shore. For open oceans, spectral methods are widely used. Tessendorf's model [4] represents the water surface as a superposition of linear waves defined in the frequency domain and transformed into the spatial domain via inverse FFT. Parameters of the spectrum control wind direction, wave height, and choppiness, allowing artists to tune the look of the ocean independently of the underlying physics [4]. Such models are inexpensive to evaluate on the GPU and integrate well with level-of-detail strategies in rendering.

### 4 GPU acceleration and adaptive computation

Even simplified fluid models must be executed efficiently to meet real-time constraints. Two key ideas are (i) **reducing the cost of neighbour search** and (ii) **adapting the amount of work to the complexity of the local flow**.

To overcome the quadratic cost of naive particle–particle interactions, real-time SPH and PBF implementations use **spatial acceleration structures**, most commonly uniform grids [1], [5]. The simulation domain is divided into cells of size comparable to the smoothing radius  $h$ . Each particle computes its cell index, typically using a hash function, and particles are bucketed or sorted accordingly. For any given particle, potential neighbours must lie in its own cell or one of the 26 adjacent cells in 3D. The algorithm therefore only iterates over particles in these 27 cells, bringing the overall complexity close to linear in the number of particles [1], [5]. On the GPU, the grid is rebuilt each frame using parallel prefix sums and sorting, which scales to hundreds of thousands of particles.

**Constraint-based solvers** such as PBF typically run a fixed number of iterations per time step to enforce density constraints [2]. However, not all parts of the fluid require the same effort: calm regions converge quickly, while regions with strong compression or splashing need more iterations.

**Adaptive variants of PBF** adjust the number of iterations based on local density error or other indicators [6]. Regions that already satisfy the constraints are updated with fewer iterations, freeing resources for more challenging areas. Combined with GPU-friendly data structures and kernels, this strategy improves performance without noticeably degrading visual quality [2], [6]. In practice, developers often combine PBF with shallow-water or spectral models: detailed particle-based simulation is reserved for regions close to the camera or for highly interactive effects, while distant water uses cheaper approximations.

## Conclusions

Real-time simulation of fluid motion in game applications requires a careful balance between physical realism and computational efficiency. When the motion of the fluid itself must be simulated, particle-based methods like SPH provide flexible free-surface behaviour, while Position-Based Fluids offer a more stable, constraint-based alternative suitable for large time steps [1], [2], [5].

For large-scale water, shallow-water and spectral ocean models reproduce essential visual features at a fraction of the cost of full 3D Navier–Stokes simulation [3], [4]. On the algorithmic side, dynamic hashed grids transform neighbour search from quadratic to almost linear complexity, and adaptive PBF schemes concentrate computational effort where the flow is most complex [1], [2], [5], [6]. Together, these techniques form a practical toolbox for implementing visually plausible fluid motion within the strict frame-time budgets of modern games.

## References

1. M. Müller, D. Charypar, and M. Gross, “Particle-Based Fluid Simulation for Interactive Applications,” in Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics Symp. Computer Animation (SCA), 2003, pp. 154–159.
2. M. Macklin and M. Müller, “Position Based Fluids,” in Proc. ACM SIGGRAPH 2013 Talks, 2013, Article No. 17.
3. R. Bridson, Fluid Simulation for Computer Graphics, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2015.
4. J. Tessendorf, “Simulating Ocean Water,” in SIGGRAPH 2001 Course Notes, 2001.
5. D. Koschier, J. Bender, B. Solenthaler, and M. Teschner, “Smoothed Particle Hydrodynamics Techniques for the Physics-Based Simulation of Fluids and Solids,” Comput. Graph. Forum, vol. 39, no. 8, pp. 1–41, 2020.
6. M. Köster and A. Krüger, “Adaptive Position-Based Fluids: Improving Performance of Fluid Simulations for Real-Time Applications,” arXiv:1608.04721, 2016.

## Веб-застосунок підтримки саморозвитку на основі формалізованого представлення цілей та алгоритмічного планування

Гетьманська Олександра<sup>1</sup>, Семаньків Марія<sup>2</sup>[0000-0002-1314-8923]

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
anastasiia.hetmanska.22@pnu.edu.ua  
mariia.semankiv@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі пропонується поєднання графових моделей для опису ієрархії та залежностей між цілями, ймовірнісних підходів для оцінки здійсненності задач і оптимізаційних алгоритмів для генерації адаптивних планів. Описано практичну цінність планувальника як інструменту для відстеження прогресу, обґрунтованого прийняття рішень та фокусу на тих діях, які дають найбільший результат при наявних обмеженнях, що підвищує мотивацію й упевненість у досягненні цілей.

**Ключові слова:** Цілі, Планування, Алгоритми, Досягнення.

## System for supporting self-development based on formalised goal representation and algorithmic planning

Hetmanska Oleksandra<sup>1</sup>, Semankiv Maria<sup>2</sup>[0000-0002-1314-8923]

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
anastasiia.hetmanska.22@pnu.edu.ua  
mariia.semankiv@pnu.edu.ua

**Abstract.** This study proposes a combination of graph models to describe the hierarchy and dependencies between goals, probabilistic approaches to assess the feasibility of tasks, and optimisation algorithms to generate adaptive plans. The practical value of the scheduler as a tool for tracking progress, making informed decisions, and focusing on those actions that yield the greatest results under existing constraints, which increases motivation and confidence in achieving goals.

**Keywords:** Goals, Planning, Algorithms, Achievements.

## 1 Вступ

Сучасне життя характеризується високою динамікою, фрагментацією уваги та зростаючими вимогами до самоорганізації. Користувачі стикаються з необхідністю одночасно поєднувати навчання, роботу та особисті проекти, при цьому часто бракує часу і чіткої методики для послідовного досягнення складних цілей.

Проведений аналіз показав, що існуючі інструменти переважно фіксують завдання або мотивують через гейміфікацію, але не забезпечують формалізоване представлення цілей, кількісну оцінку їх досяжності та автоматичне планування з урахуванням реальних ресурсів користувача. Це створює невідповідність між бажанням досягати результатів і реальними можливостями їх виконати.

Розробка інтелектуальної системи, яка поєднує формалізацію цілей, кількісну оцінку ймовірності виконання та алгоритмічне планування під ресурсні обмеження, відповідає на практичну потребу закрити цей розрив. Така система дозволяє перейти від декларативних намірів до реалістичних, обґрунтованих планів дій, що особливо важливо в умовах обмеженого часу, багатозадачності та невизначеності.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сучасні інструменти продуктивності поєднують структурування інформації, візуальне управління завданнями і автоматизацію процесів. Користувачі очікують швидкого старту, гнучкості у налаштуванні робочих просторів і прозорих рекомендацій щодо пріоритизації. Водночас зростає попит на інструменти, які не лише зберігають задачі, а й допомагають приймати кількісно обґрунтовані рішення з урахуванням ресурсів і залежностей.

ClickUp – багатофункціональна платформа для управління роботою; порівняно з іншими аналогами вона пропонує ширший набір інструментів (Goals, автоматизації, дашборди), але має вищу складність і може бути надлишковою для персонального планувальника.

Trello – це інтуїтивний Kanban-інструмент, добре підходить для простих робочих процесів і коротких ітерацій, але обмежений у формалізації складних залежностей і вбудованій аналітиці: для розширених сценаріїв потрібні додаткові плагіни або ручні налаштування, що ускладнює автоматичне планування і прогнозування результатів.

Notion позиціонується як універсальний робочий простір: нотатки, бази даних, шаблони і зв'язки між сторінками дають величезну гнучкість у структуризації знань і процесів. Проте він не має нативних алгоритмів для оцінки ймовірності виконання чи оптимального розподілу ресурсів, тому складні аналітичні сценарії вимагають додаткових інтеграцій або ручної роботи.

### 3 Постановка задачі

Проведений аналіз показав актуальність розробки веб-застосунку, що забезпечить підтримку користувача у постановці, структуризації та пріоритизації особистих цілей шляхом їх формалізованого представлення, оцінки ймовірності виконання та алгоритмічного планування з урахуванням доступного часу.

Система планувальника повинна надавати користувачу можливість додавати та редагувати цілі, розбивати їх на підцілі, з урахуванням індивідуальних ресурсних обмежень, надавати імовірнісну оцінку їхнього досягнення і генерувати оптимальний одноперіодний план з лаконічними поясненнями рішень. Завдання включає розробку моделі даних, алгоритмів оцінки досяжності, оптимізаційного планувальника з інтеграцією Google Calendar, інтерфейсу з поясненнями рішень і механізмів збереження та оновлення інформації.

Систему доцільно розділити на логічні модулі, кожен з яких відповідатиме за окрему підзадачу:

- модуль збереження даних - реалізує схему БД, API для збереження снапшотів і метаданих (JSONB);
- модуль графової логіки - побудова графа, валідація циклів, топологічне сортування, експорт/імпорт у формат для NetworkX;
- модуль оцінки досяжності - реалізація Beta-підходу, евристичного алгоритму і комбінування результатів; логіка оновлення  $\alpha/\beta$  при подіях;
- модуль планування - одноперіодні алгоритми; інтерфейс для вибору стратегії;
- модуль explainability - генерація коротких пояснень, перелік топ-факторів і рекомендацій (split/postpone/reestimate).

Система міститиме кілька підсистем, що працюватимуть у тісній взаємодії:

- підсистема управління користувачами - автентифікація, профілі, персональні налаштування (години на тиждень, пріоритети);
- підсистема збереження і історії - зберігає події виконання, статистику задач і снапшоти планів для відновлення і аналізу;
- підсистема аналітики - збирає метрики якості прогнозів, порівнює алгоритми планування і формує звіти;
- підсистема інтеграцій - екпортує графи у базу даних або імпортує дані з зовнішніх таск-менеджерів.

### 4 Практична цінність

Поєднання структури графа та оптимізації забезпечує оптимальний розподіл ресурсів - часу та зусиль - між підцілями, з урахуванням їх залежностей та пріоритетів. Це надає користувачеві низку конкретних переваг:

12. Чіткість і структурованість: формалізоване представлення цілей і підцілей зменшує когнітивне навантаження під час планування.

13. Реалістичні очікування: кількісна оцінка ймовірності досягнення допомагає уникнути надто амбітних планів і зменшує ризик вигорання.
14. Оптимальне використання часу: алгоритмічний планувальник пропонує підцілі з найвищим очікуваним ефектом на одиницю ресурсу.

Динамічна адаптація гарантує, що план залишається актуальним у міру зміни обставин, а зрозумілі рекомендації надають практичні кроки для коригування плану – розбиття завдання, перенесення терміну або зміна оцінки часу.

В результаті користувач отримує інструмент для підтримки мотивації та контролю, бачить прогрес у контексті реалістичного плану і менш схильний до прокрастинації. Система має конкретні переваги – прозорі пояснення рішень, рекомендації щодо розбиття задач, пріоритизації на основі доступного часу і формування плану.

Практичні застосування розробки включають особисте планування, інтеграцію в освітні платформи, використання в коучингових послугах та впровадження в корпоративні системи розвитку персоналу.

## Висновки

Здійснюється розробка модульної веб-системи BloomGoals, яка дозволить користувачам значно полегшити своє планування та досягати чітко сформованих цілей, в умовах багатозадачності та за наявних ресурсів. Система дозволить формалізувати цілі у вигляді орієнтованого ациклічного графа, оцінювати ймовірність їх виконання та генерувати алгоритмічно оптимізовані плани з урахуванням ресурсних обмежень користувача.

В подальшому розвитку є можливості:

- покращення ознайомлення користувача з сайтом;
- додавання шаблонів планування;
- гейміфікації досягнень та створення спільнот по інтересам користувачів;
- забезпечення імпорту/експорту в популярні таск-менеджери (ClickUp, Trello);
- додавання багатоперіодного планування.

## Література (References)

1. Gelman A., Carlin J. B., Stern H. S., Dunson D. B., Vehtari A., Rubin D. B. Bayesian Data Analysis. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. 661 p. Режим доступу: <https://sites.stat.columbia.edu/gelman/book/BDA3.pdf>.
2. PostgreSQL Global Development Group: PostgreSQL Documentation — JSON Types. <https://www.postgresql.org/docs/current/datatype-json.html>, last accessed 2025/12/02.
3. ClickUp: ClickUp Features. <https://clickup.com>, last accessed 2025/12/02.

# Система управління манікюрним салоном із онлайн-конструктором та веб-асистентом на основі алгоритмів штучного інтелекту

Діана Федик<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студентка, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
diana.fedyk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто розробку концепції сучасного веб-додатку "NailCraft", який інтегрує можливості онлайн-запису, персоналізованого вибору дизайну манікюру та інтерактивного конструктора на основі алгоритмів штучного інтелекту. Проведено аналіз існуючих рішень на ринку індустрії краси, виявлено їхні недоліки, зокрема відсутність глибокої персоналізації. Запропоновано архітектуру системи, що включає модулі бронювання, 3D-конструктор дизайну та інтелектуального асистента для надання рекомендацій.

**Ключові слова:** Веб-додаток, Конструктор дизайну, Манікюр, Онлайн-запис, Рекомендаційна система, Штучний інтелект.

## System for Managing a Nail Salon with an Online Constructor and Web Assistant Based on Artificial Intelligence Algorithms

Diana Fedyk<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine  
diana.fedyk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** This article proposes a modern web application "NailCraft", which integrates online booking, personalized manicure design and a recommendation system based on artificial intelligence. An analysis of existing solutions in the beauty industry market was conducted, which revealed their shortcomings, in particular, the lack of deep personalization and visualization of services. The proposed system architecture includes booking modules, a 3D design constructor and an intelligent assistant for image analysis and providing recommendations based on the user's clothing or preferences.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Design Constructor, Nail Design, Online Booking, Recommendation System, Web Application.

## 1 Вступ

У сучасних умовах користувачі прагнуть не лише бронювати послуги онлайн, а й отримувати індивідуальні рекомендації, що відповідають їхнім естетичним уподобанням, стилю та навіть поточному образу.

Актуальність створення проєкту "NailCraft" полягає у необхідності інтеграції технологій ШІ, зокрема аналізу кольорових схем та рекомендаційних алгоритмів [1], з функціоналом бронювання та візуальним контентом.

Метою дослідження є проєктування та розробка концепції інтелектуального веб-додатку "NailCraft", який поєднує естетику, зручність та технології ШІ для створення унікального досвіду вибору та бронювання манікюру.

Практична значущість полягає у адаптивності сервісу та покращенні взаємодії "клієнт-майстер". Клієнтам система забезпечує економію часу та AI-персоналізацію, а майстрам – інструменти управління розкладом та аналітику для оптимізації роботи.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Ринок цифрових рішень в індустрії краси, зокрема у сфері манікюрного сервісу, характеризується наявністю платформ, які зосереджені переважно на функціоналі онлайн-бронювання та автоматизації розкладу. Проведений аналіз існуючих рішень дозволив виділити основні підходи, що використовуються на ринку, та їхні ключові обмеження:

15. Загальні платформи для бронювання послуг [2] (Fresha [3]). Такі додатки є інструментами для управління записами, нагадуваннями та статистикою. Головний недолік полягає у відсутності візуального каталогу дизайнів та інтелектуальної складової.
16. Великі агрегатори салонів (Treatwell [4]). Такі платформи пропонують велику базу салонів, систему відгуків та фільтрів за послугами. Незважаючи на широке охоплення, вони часто мають складний інтерфейс і слабку

індивідуалізацію. Процес вибору дизайну залишається складним та вимагає від користувача додаткового пошуку в зовнішніх джерелах.

Отже, існуючі рішення або занадто прості, або мають надмірно складний інтерфейс. Вони не використовують можливості сучасних нейронних мереж для аналізу кольорових схем (Color Harmony Model) чи рекомендацій (Collaborative Filtering) [5]. Враховуючи ці обмеження, виникає потреба у розробці єдиної системи, яка б поєднувала функції автоматизованого бронювання та управління розкладом з інтерактивним візуальним контентом та AI-асистентом для надання ситуативних та персоналізованих рекомендацій.

### 3 Запропоноване рішення

На основі проведеного аналізу пропонується концепція інтелектуального веб-додатку "NailCraft", яка усуватиме обмеження існуючих рішень. Система побудована на принципах клієнт-серверної архітектури (рис. 1) та поєднує бізнес-функції автоматизації запису із алгоритмами штучного інтелекту для глибокої персоналізації клієнтського досвіду.

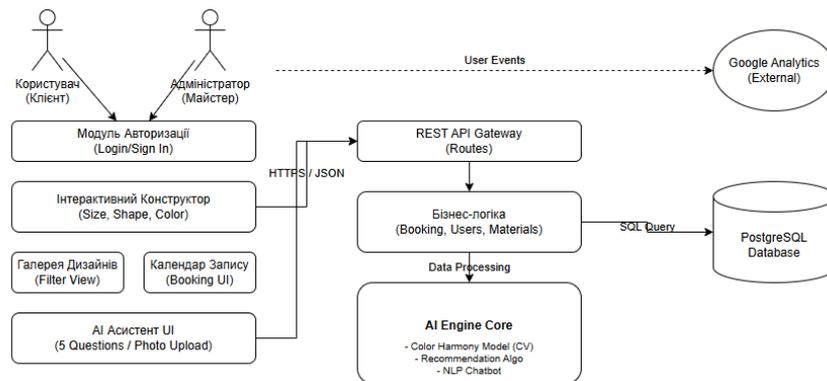


Рис. 1. Архітектура системи.

Ключовим елементом є AI-система рекомендацій, яка за допомогою нейронних мереж аналізує завантажені фото вбрання користувача [6] та через серію уточнювальних запитань пропонує гармонійні варіанти дизайну. Цей функціонал доповнюється алгоритмами колаборативної фільтрації, що забезпечують вторинну персоналізацію на основі попередніх виборів, та NLP-чат-асистентом для консультацій природною мовою. Окрім клієнтських сервісів, система включає модуль прогнозування попиту, який аналізує статистику бронювань і сезонність, надаючи майстрам актуальні дані про тренди.

Проект передбачає розробку адаптивного веб-додатку із сучасним, мінімалістичним інтерфейсом. Клієнтська частина реалізована за допомогою бібліотеки React [7], що дозволяє створити інтерактивний інтерфейс. Серверна частина

побудована на платформі Node.js із використанням фреймворку Express [8]. У якості системи управління базами даних використовується PostgreSQL [9].

## Висновки

Запропонована платформа підтримує інтерактивний конструктор дизайну та персональні рекомендації від AI-асистента. Практична цінність розробки полягає у скороченні часу очікування клієнтів та забезпеченні їх інструментом персоналізації вибору манікюру. З боку бізнесу, система надає адміністраторам і майстрам ефективні інструменти для управління розкладом та AI-моніторингу для визначення найпопулярніших дизайнів і оптимізації пропозицій. У перспективі розвитку проєкту передбачається розширення екосистеми шляхом створення нативного мобільного застосунку та впровадження технології доповненої реальності для віртуальної примірки дизайну манікюру в режимі реального часу.

## Література (References)

1. F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, *Recommender Systems Handbook*, 2nd ed., Springer US, 2015
2. Хілл, П. *Експертний посібник із систем бронювання послуг краси у 2025 році: Звіт про впровадження інтелектуальної автоматизації*. [Online]. Available: <https://www.google.com/search?q=https://www.expert-guide-to-beauty-booking-system.com>. [Accessed 21 11 2024].
3. Fresha, "Fresha for Business," [Online]. Available: <https://www.fresha.com/uk/for-business>. [Accessed 21 Nov. 2025].
4. Treatwell, "Book Beauty Treatments Near You," [Online]. Available: <https://www.treatwell.co.uk/near-me/beauty>. [Accessed 21 Nov. 2025].
5. C. C. Aggarwal, *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*, Springer, 2018.
6. C. Guan, S. Qin, Y. Long, "Apparel-based deep learning system design for apparel style recommendation," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 31, no. 3, pp. 376–389, 2019.
7. Meta Open Source, "React: The library for web and native user interfaces," [Online]. Available: <https://react.dev/>. [Accessed 21 Nov. 2025].
8. E. Brown, *Web Development with Node and Express: Leveraging the JavaScript Stack*, 2nd ed. O'Reilly Media, 2019. [Online]. Available: <https://www.oreilly.com/library/view/web-development-with/9781492053507/>. [Accessed 21 Nov. 2025].
9. The PostgreSQL Global Development Group, "PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database," [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>. [Accessed 21 Nov. 2025].

# Мобільний застосунок для догляду за кімнатними рослинами із рекомендаціями на основі алгоритмів штучного інтелекту

Денис Прокоп'юк<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
denys.prokopiuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** У роботі представлено концепцію інтелектуального мобільного застосунку для догляду за кімнатними рослинами, що поєднує цифровий журнал моніторингу з AI-асистентом для діагностики та надання рекомендацій. Метою є автоматизація догляду та зниження ризику втрати рослин. Проаналізовано існуючі аналоги та розроблено структурну схему запропонованої системи.

**Ключові слова:** AI-асистент, Догляд за рослинами, Інтелектуальний мобільний застосунок, Персоналізовані поради, Цифровий журнал.

## Mobile Application for Indoor Plant Care with Recommendations Based on Artificial Intelligence Algorithms

Denys Prokopiuk<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
denys.prokopiuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper presents a concept for an intelligent mobile application for indoor plant care, combining a digital monitoring journal with an AI assistant for diagnosis and recommendations. The goal is to automate care routines and reduce

the risk of plant loss. Existing solutions are analyzed, and a structural diagram of the proposed system is developed.

**Keywords:** AI Assistant, Digital Journal, Intelligent Mobile Application, Personalized Recommendations, Plant Care.

## 1 Вступ

Зростання популярності догляду за рослинами підвищує попит на цифрові інструменти [21]. Проте існуючі рішення часто недоступні пересічному користувачу через високу вартість, складність інтерфейсу або відсутність локалізації.

Актуальність дослідження полягає у створенні доступного застосунку, що поєднує AI-діагностику та моніторинг стану рослин у єдиній системі.

Метою даного дослідження є проектування та розроблення концепції інтелектуального мобільного застосунку, що поєднує систему ведення цифрового журналу для кожної рослини з інтегрованим AI-асистентом.

Практична значимість запропонованої системи полягає у зниженні ризику втрати рослин та підвищенні ефективності догляду завдяки персоналізованим рекомендаціям. Використання інтелектуального асистента дозволяє оперативно діагностувати проблеми, запобігаючи поширенню хвороб, що сприяє економії коштів та збереженню домашньої флори.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Ринок програмного забезпечення для догляду за рослинами характеризується наявністю різноманітних інструментів, які можна розділити на кілька основних категорій: енциклопедичні довідники, додатки для ідентифікації видів та прості планувальники завдань. Проте, згідно з ринковими дослідженнями, більшість з них функціонують ізольовано, вирішуючи лише одну конкретну проблему користувача [21].

Проведений аналіз існуючих рішень дозволив виділити основні підходи, що використовуються на ринку, та їхні обмеження:

- Існуючі додатки-ідентифікатори та діагностичні платформи часто використовують машинний зір для діагностики хвороб. Однак вони часто мають обмеження у точності або орієнтовані на дослідження дикої флори, а не на специфіку кімнатних рослин [22, 23].
- Цифрові журнали та планувальники є іншою категорією додатків, які фокусуються виключно на організації: фото-архіви, нотатки, календарі. Головним недоліком є відсутність інтелектуальної складової: користувач отримує інструмент для запису, але не отримує аналізу даних чи персоналізованих порад. До того ж, розширений функціонал часто заблокований у безкоштовних версіях [3].

- Форуми та спільноти містять велику кількість експертної інформації, але пошук релевантної відповіді на конкретну проблему, наприклад, діагностика хвороби за симптомами, займає багато часу і не гарантує достовірності отриманих порад [4].

Отже, існуючі рішення або занадто складні й дорогі, або занадто прості.

Враховуючи ці обмеження, виникає потреба у розробці єдиної, доступної та локалізованої екосистеми, яка б поєднувала простоту ведення цифрового паспорта рослини зі штучним інтелектом для надання рекомендацій [4, 5].

### 3 Запропоноване рішення

Для подолання виявлених недоліків існуючих платформ розроблено концепцію кросплатформної системи (рис. 1). Запропоноване рішення базується на клієнт-серверній архітектурі та інтегрує засоби моніторингу стану рослин із модулем штучного інтелекту, адаптованим до потреб локального користувача.

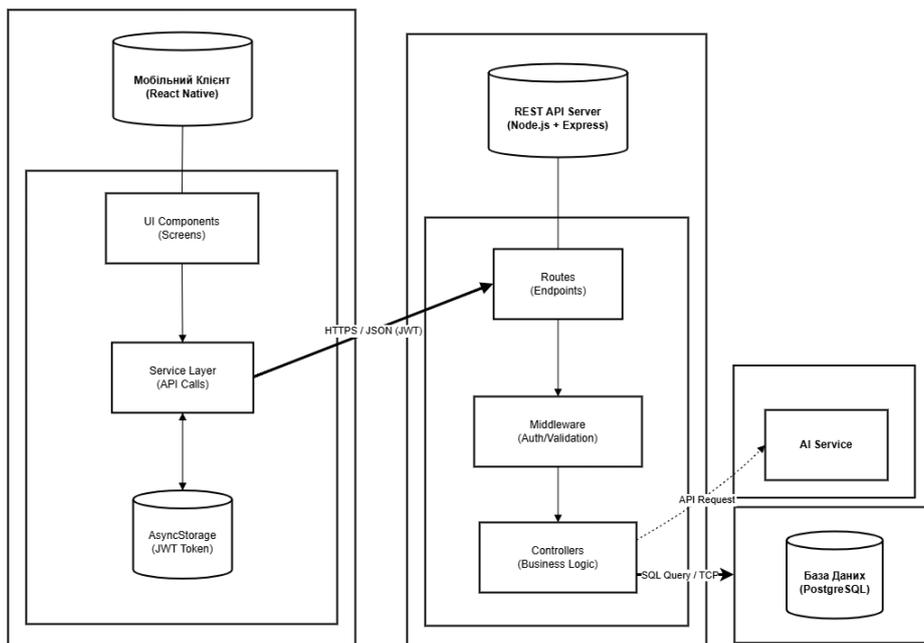


Рис. 5. Архітектура системи та взаємодія компонентів.

Клієнтська частина реалізована на React Native [26] з використанням Redux Toolkit для управління станом. Серверна частина базується на Node.js і забезпечує обробку запитів через REST API [27]. Для зберігання даних використовується реляційна база PostgreSQL [28]. Окремий AI-модуль інтегровано для аналізу

зображень та надання рекомендацій. Безпека системи гарантується протоколом HTTPS та авторизацією через JWT [29].

## Висновки

Запропонована система вирішує проблему розрізненості існуючих інструментів, інтегруючи цифровий моніторинг життєвого циклу рослин із засобами штучного інтелекту в єдину екосистему. Практична цінність розробки полягає в автоматизації процесів догляду та забезпеченні користувачів інструментами AI-діагностики, що дозволяє мінімізувати ризики втрати рослин та оптимізувати витрати часу і коштів. Подальший розвиток проекту передбачає вдосконалення моделей комп'ютерного зору для ідентифікації хвороб у реальному часі та впровадження підтримки IoT-пристроїв для автоматичного збору показників мікроклімату.

## Література (References)

1. Dataintelo, "Houseplant Care AI App Market Research Report 2023," [Online]. Available: <https://dataintelo.com/report/houseplant-care-ai-app-market>. [Accessed 20 11 2025].
2. H. G. Jones, "Application and pitfalls of the use of plant ID apps for urban flora and citizen science studies," *Plant Ecology & Diversity*, vol. 13, no. 3-4, pp. 341-349, 2020.
3. P. A. Bawingan, E. M. Montevirgen Jr and J. C. Pumaras, "Plant Identification Mobile Apps: Users' Difficulties and Impressions," *The Asian Journal of Biology Education*, vol. 16, p. 15–21, 2024.
4. H.-H. Ku, C.-H. Liu and W.-C. Wang, "Design of an Artificial Intelligence of Things Based Indoor Planting Model for Mentha Spicata," *Processes*, vol. 10, no. 1, p. 116, 2022.
5. S. Tabassum and R. Fatima, "Survey Paper on Smart Planter: Simplifying Plant Care with AI Sensors," *International Journal of Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, vol. 11, no. 5, 2023.
6. Meta Open Source, "React Native · Learn once, write anywhere," 2025. [Online]. Available: <https://reactnative.dev/>. [Accessed 20 11 2025].
7. OpenJS Foundation, "Node.js – JavaScript runtime built on Chrome's V8 JavaScript engine," 2025. [Online]. Available: <https://nodejs.org/>. [Accessed 20 11 2025].
8. PostgreSQL Global Development Group, "PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database," 2025. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>. [Accessed 20 11 2025].
9. Auth0, "Introduction to JSON Web Tokens," 2025. [Online]. Available: <https://jwt.io/introduction>. [Accessed 20 11 2025].

# Cooperative Deep Reinforcement Learning Framework for Efficient Traffic Light Control on an Isolated Intersection

Lytvynenko Mykhailo<sup>1</sup>[0000-0003-4487-8811] and Rebezyuk Leonid<sup>1</sup>[0000-0001-8516-6584]

<sup>1</sup> Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
mykhailo.lytvynenko1@nure.ua

**Abstract.** This work introduces a decentralized single-intersection traffic signal control scheme based on cooperative multi-agent deep reinforcement learning. Our approach formulates the problem as a decentralized partially observable Markov decision process with augmented observations enabling passive communication between agents. The framework employs implicit quantile networks for distributional value estimation, which serve as a basis of both hysteretic likelihood updates for coordination stability and uncertainty-sensitive exploration through posterior sampling for principled action selection strategy. Having agents operate at the traffic movement level without temporally-extended actions, enables the framework to achieve generalizability across diverse intersection configurations and demand scenarios. Preliminary implementation reveals critical insights regarding initialization sensitivity and the presence of multiple coordination equilibria, necessitating careful exploration strategies during early training phases. We discuss theoretical foundations, implementation considerations, and promising directions for explicit information state modeling.

**Keywords:** Cooperative reinforcement learning, Traffic light control, Uncertainty-aware decision-making.

## 1 Introduction

The traffic light control (TLC) problem is regarded as an integral component of intelligent transport system solutions. It involves optimizing the sequence and duration of traffic signals, controlling the flow of partially conflicting traffic movements, with the objectives of minimizing waiting time, maximizing traffic flow, etc., while ensuring the safety of all road users. The complexity of this problem is driven by the following factors: variability of the traffic volumes and arrival times, diverse configurations of intersections and their interconnectedness, etc. Recently, intelligent data-driven control methods have gained the attention of researchers, with reinforcement learning (RL) being a promising approach used for real-time decision-making, where optimal strategies can be learned through trial and error. The state-of-the-art deep RL methods for TLC employ predefined sets of signals (stages) with decisions being either the selection of the next signal set or setting a duration of the current set, which can produce a

suboptimal strategy in case of imbalanced demand and require sophisticated techniques to ensure generalization of the learned strategy. The objective of the research is the development of a model-free cooperative deep reinforcement learning method for efficient and generalizable management of traffic flows on an isolated intersection with backward compatibility for the stage-based methods.

## 2 Problem formulation

The focus of this paper is the distributed single-intersection TLC system, based on the coordination between traffic movement signal agents, that control traffic flow over the links within an intersection, proposed in [1]. The goal of the agents is the travel time reduction of all road users crossing the controlled area. An example of a typical intersection with four approaches is given in Figure 1a. The fundamental unit of such a system is a signal group  $g$  (SG), which is a set of mutually compatible traffic movements. The compatibility constraints are provided by the handcrafted symmetrical conflict matrix (Fig. 1b). The SGs to be activated are selected randomly and form a phase that is a maximal clique. The role of signal agents is to influence the current signal duration on a per-second basis by repeatedly extending it or initiating its termination procedure. The described problem is formalized using the decentralized partially observable Markov decision-making process (Dec-POMDP) [2].

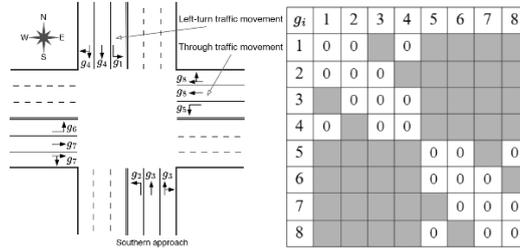


Fig. 6. Distributed traffic light control environment. SGs at an intersection (a), conflict matrix (b)

## 3 Solution Approach

Following the work of Jin and Ma [3], we provide agents with feature vectors, capturing dynamic traffic characteristics on the traffic movements, describing static intersection configuration parameters, and communicating the dynamic state of the candidate SGs. The reward function is defined as a relative travel delay to make it highly responsive to minor traffic fluctuations. We adopted a multi-agent learning scheme that is mainly based on the decentralized training and execution (DTE) paradigm. It consists of making each agent independently learn its policy using a single-agent RL algorithm. We use a value-based DQN-derived algorithm, its baseline learns an approximation of expected discounted state-action returns  $Q^\pi(s, a)$ . The DQN loss function to be optimized is

$$\mathcal{L}_{\text{DQN}}(\theta) = \mathbb{E}_{(s,a,r,s') \sim \mathcal{U}(\mathcal{D})} [\delta(\theta)]^2 \quad [4], \quad \text{where} \quad \delta(\theta) = r(s, a) +$$

$\gamma \max_{a'} Q(s', a'; \theta^-) - Q(s, a; \theta)$  is referred to as TD-error,  $\mathcal{D}$  is the experience replay memory, and  $s', a'$  are the next state and action, respectively.

In multi-agent settings, to alleviate the influence of teammates on each agent’s transition function (non-stationarity), we utilize several techniques. The first is parameter sharing, which introduces an element of centralization to the training process and is commonly applied for learning cooperative policy in the case of homogeneous agents. To disambiguate agent experiences in the replay memory and account for the environment non-stationarity, we adopted the decentralized approach proposed in [5], which allows for concurrent sampling of data batches, contributing to agents’ convergence to the same equilibrium. When it comes to partial observability, to be able to converge to an optimal policy, agents need to rely on observation-action history, rather than just the current observation. In our work, we followed the approach proposed in [6], which combines the recurrent variation of DQN with a novel coordination measure inferred from distributional RL that approximates the entire return distribution  $Z^\pi(\omega, a): \mathbb{E}[Z(\omega, a)] = Q^\pi(\omega, a)$ . Time Difference Likelihood (TDL) is based on disagreement between return distributions estimated by the main  $\theta$  and target  $\theta^-$  networks and allows to account for non-stationarity by using TDL as the learning rate’s decrease factor when TDL is sufficiently high. The return distribution is learned using the Implicit Recurrent Quantile Network (IRQN) single-agent algorithm. Note that the regular output of the network does provide estimates of the distribution. In contrast, the recurrent hidden state remains a point estimate, which cannot be used to infer the true state of the environment [2].

From a single-agent perspective, the chain-like nature of the signal extension actions suggests that the agent is unable to reliably estimate the return distribution in the early stages of training. This entails the appearance of out-of-distribution data in later stages of episodic interaction, which further complicates the task of learning efficient representations of actions for achieving cooperative behavior. In this paper, we consider the problem of multi-agent cooperation under risk and uncertainty, where the former is caused by the unpredictability of traffic flow variations; and the latter stems from insufficient knowledge about the parameters of the environment dynamics and is called epistemic uncertainty. The uncertainty-aware algorithm used to quantify both types of uncertainty is based on the randomized Maximum A Posteriori (MAP) sampling [7], which is a computationally efficient approximation of Bayesian inference, and uses the disagreement between the two samples of the posterior distribution  $\theta_{P_1}, \theta_{P_2} \cdot \hat{U}_{\text{epist}}$  is obtained as the quantile expectation of the squared difference between the MAP samples and affects the variance of the distribution  $\mathbb{P}(\theta | \mathcal{D}) := \mathcal{N}(\mu_Q, \Sigma_Q)$ , whereas the aleatoric counterpart  $\hat{U}_{\text{aleat}}$ , shifts its mean (Eq. 1,2).

$$\mu_Q = \left( \mathbb{E}_{\tau_{1:\bar{N}}} \left[ Z_{\tau_{1:\bar{N}}}(\omega, a; \theta) \right] + \lambda \hat{U}_{\text{aleat}}^{1/2}(Z(\omega, a), \tau_{1:\bar{N}}) \right)_{a \in \mathcal{A}}, \quad (3)$$

$$\Sigma_Q = \text{diag}(\eta^2 \hat{U}_{\text{epist}}(Z(\omega, a), \tau_{1:\bar{N}})_{a \in \mathcal{A}}) \quad (4)$$

While the theoretical framework provides strong justification for each component, preliminary implementation reveals significant sensitivity to hyperparameter

configuration. The interaction between the TDL threshold hysteresis parameter, uncertainty factors, and network architecture, all while ensuring reduction of uncertainty along with steady risk estimates, creates a high-dimensional tuning space that affects both convergence stability and final performance. This sensitivity stems from the coupled nature of multi-agent learning dynamics, as small differences in initialization or hyperparameters lead to divergent exploration trajectories, which result in convergence to different equilibria or failure to converge at all.

## 4 Discussion with Future Directions

The efficiency and generalizability of the framework come from observations that are independent of intersection-level features and responsive to subtle traffic flow variations and agents operating at the level of individual traffic movements rather than on complete intersection configurations, through elaborate action selection and coordination mechanisms, and using only primitive actions, which ensures backward compatibility with the stage-based methods. However, the theoretical incompleteness of the uncertainty quantification component, represented by the recurrent layer, might hinder the agents' ability to reason explicitly about the uncertainty over the true state of the environment. A more principled approach would involve learning explicit state space models that maintain information state distributions, though in the Dec-POMDP settings, this introduces significant computational and methodological challenges that remain subjects for future investigation.

## References

1. K. E. Stoffers, "Scheduling of traffic lights-a new approach," *Transportation Research/UK/*, vol. 2, no. 3, 1967.
2. F. A. Oliehoek and C. Amato, *A concise introduction to decentralized POMDPs*, vol. 1. Springer, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-28929-8.
3. J. Jin and X. Ma, "A group-based traffic signal control with adaptive learning ability," *Engineering applications of artificial intelligence*, vol. 65, pp. 282–293, 2017, doi: 10.1016/j.engappai.2017.07.022.
4. V. Mnih *et al.*, "Human-level control through deep reinforcement learning," *nature*, vol. 518, no. 7540, pp. 529–533, 2015, doi: 10.1038/nature14236.
5. S. Omidshafiei, J. Pazis, C. Amato, J. P. How, and J. Vian, "Deep decentralized multi-task multi-agent reinforcement learning under partial observability," in *International Conference on Machine Learning*, PMLR, 2017, pp. 2681–2690. [Online]. Available: <https://export.arxiv.org/pdf/1703.06182>
6. X. Lyu and C. Amato, "Likelihood quantile networks for coordinating multi-agent reinforcement learning," *arXiv preprint arXiv:1812.06319*, 2018, doi: 10.48550/arxiv.1812.06319.
7. W. R. Clements, B. Van Delft, B.-M. Robaglia, R. B. Slaoui, and S. Toth, "Estimating risk and uncertainty in deep reinforcement learning," *arXiv preprint arXiv:1905.09638*, 2019, doi: 10.48550/arxiv.1905.09638.

# Інформаційна система для продажу автомобілів із 3D-візуалізацією на основі алгоритмів штучного інтелекту та веб-інтерфейсом

Мочернюк Назар<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
nazar.mocherniuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Пропонується розробка сучасної інтелектуальної веб-платформи для купівлі-продажу автомобілів, яка поєднує мінімалістичний, швидкий та адаптивний інтерфейс з технологіями штучного інтелекту та інтерактивної 3D-візуалізації. Запропоноване рішення значно спрощує та прискорює процес пошуку, порівняння й оцінки автомобілів, роблячи його максимально зручним і персоналізованим.

**Ключові слова:** 3D-візуалізація, Photogrammetry, Автомобільний ринок, Веб-платформа, Віртуальний тур, Персоналізований пошук, Рекомендаційні системи, Штучний інтелект.

## Information System for Car Sales with 3D Visualization Based on Artificial Intelligence Algorithms and a Web Interface

Nazar Mocherniuk<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
nazar.mocherniuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior Lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** This work proposes the development of a modern intelligent web platform for buying and selling cars that combines a minimalist, fast, and adaptive

interface with advanced artificial intelligence technologies and interactive 3D visualization. The proposed solution significantly simplifies and accelerates the process of searching, comparing, and evaluating cars, making it as convenient and personalized as possible.

**Keywords:** 3D Visualization, Artificial Intelligence, Automotive Market, Personalized Search, Photogrammetry, Recommendation Systems, Virtual Tour, Web Platform.

## 1 Вступ

Онлайн-ринок автомобілів в Україні та світі стрімко зростає, проте більшість існуючих платформ [1] мають суттєві недоліки: перевантажений інтерфейс, повільне завантаження, недостатня якість фотографій, відсутність глибокої аналітики витрат та неможливість детально оглянути автомобіль без фізичної присутності. Користувачі змушені витратити години на перегляд десятків оголошень, порівняння цін у різних регіонах та поїздки на огляди, які часто виявляються марними.

Метою дослідження є створення інтелектуальної веб-платформи, яка усуває перелічені недоліки завдяки сучасному UX/UI, високій швидкодії, адаптивності під усі пристрої та інтеграції штучного інтелекту й 3D-технологій.

Практичне значення роботи полягає у створенні інструменту, що спрощує та прискорює процес купівлі-продажу автомобілів. Платформа зменшує ризики для покупців завдяки 3D-візуалізації, автоматизує підбір варіантів за допомогою штучного інтелекту (ШІ) та допомагає продавцям якісніше презентувати авто.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Аналіз представлених в Україні платформ показав ряд спільних проблем [2, 3]:

- Застарілий або перевантажений інтерфейс ускладнює швидкий пошук.
- Якість фотографій є недостатньою, а інтерактивна візуалізація відсутня – користувач бачить лише статичні знімки з обмежених ракурсів.
- Персоналізація рекомендацій є слабкою: пропозиції формуються переважно на основі базових фільтрів, таких як марка, модель, ціна та рік.
- Бракує реального розрахунку експлуатаційних витрат (паливо, страховка, транспортний податок, сервіс) з урахуванням регіону проживання.
- Відсутній інтерактивний віртуальний огляд салону та екстер'єру.
- Повільне завантаження на мобільних пристроях спричинене неоптимізованими зображеннями та скриптами.

Швидкий розвиток технологій WebGL, Three.js та генеративного ШІ відкриває нові можливості для створення доступних та ефективних інструментів візуалізації та персоналізації безпосередньо у браузері [4-7].

### 3 Запропоноване рішення

Запропонована платформа розробляється на базі сучасного стеку технологій (Next.js, Node.js, MongoDB, Three.js) та включає такі ключові модулі:

- AI-консультант на базі LLM (large language model), який за коротким текстовим запитом користувача («шукаю сімейний універсал до 12 000 \$ з низькими витратами на дизель у Львівській області») пропонує 5-7 найбільш релевантних варіантів з поясненням вибору.
- Регіональний калькулятор реальних витрат – ШІ збирає та аналізує актуальні дані про ціни на паливо, страховку, транспортний податок, середні витрати на технічне обслуговування для конкретної моделі у вибраному регіоні.
- Інтерактивні 3D-моделі автомобілів (на базі Three.js + GLTF/GLB) з можливістю віртуального «туру» салоном, відкриття дверей, багажника, зміни кольору кузова та дисків у реальному часі [7].
- Система photogrammetry-to-3D – автоматичне створення 3D-моделі з набору фотографій, зроблених продавцем за шаблоном (у перспективі з використанням нейронних мереж типу Instant-NGP або Luma AI).
- Сучасний адаптивний інтерфейс з анімаціями (Framer Motion), оптимізацією зображень (WebP + lazy-loading), швидким пошуком та фільтрацією на стороні клієнта/сервера. Приклад запропонованого інтерфейсу зображено на рисунку 1.
- Елементи гейміфікації: досягнення, рейтинг надійності продавців, бонуси за активність [3].

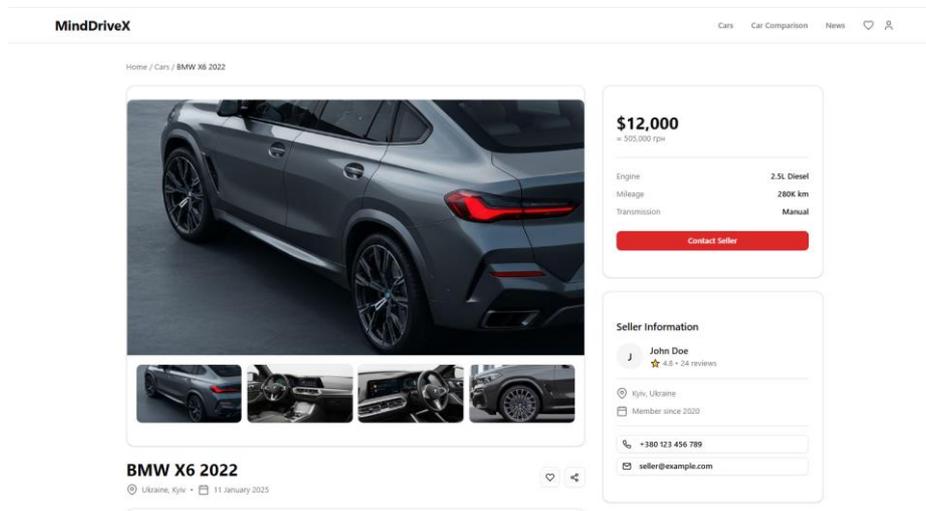


Рис. 1. Макет веб-інтерфейсу запропонованої системи

## **Висновок**

Запропонована інтелектуальна веб-платформа суттєво перевищує можливості існуючих рішень завдяки поєднанню високопродуктивного сучасного інтерфейсу, інтерактивної 3D-візуалізації та технологій штучного інтелекту. Впровадження AI-консультанта та регіонального калькулятора витрат дозволить користувачам отримувати персоналізовані рекомендації та реальну картину майбутніх витрат. Інтерактивні 3D-моделі та віртуальні тури значно підвищують довіру до оголошень та скоротять кількість непотрібних поїздок. Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію складніших моделей ШІ для генерації 3D з фото/відео та розширення функціоналу гейміфікації.

## **Література (References)**

1. AUTO RIA. 2025. [Online]. Available: <https://auto.ria.com> [Accessed: 01.12.2025]
2. Aldoma A. et al., "Point Cloud Library (PCL): Architecture and Point Cloud Processing," IEEE ICRA, 2011.
3. S. Krug, Don't Make Me Think: A Common Sense Approach to Web Usability, New Riders, 2014.
4. Jakob Nielsen, R. Molich, "Heuristic Evaluation of User Interfaces," CHI '90 Proceedings, ACM Press, 1990.11
5. Mozilla Developer Network (MDN), "WebGL Fundamentals," 2024. [Online]. Available: <https://developer.mozilla.org/> [Accessed: 01.12.2025]
6. OpenAI, GPT-4 Technical Report, 2023
7. Three.js, "Official Three.js Documentation," 2024. [Online]. Available: <https://threejs.org/docs/>.

# Виявлення фейкових новин у соціальних мережах за допомогою глибинних мереж

Гречин Ірина<sup>1</sup> та Ровінський Віктор<sup>2</sup>[0000-0001-8454-8580]

<sup>1</sup>студентка, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
iryna.hrechyn.21@pnu.edu.ua

<sup>2</sup>к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
victor.rovinsky(at)pnu.edu.ua

**Анотація.** У сучасному інформаційному просторі поширення фейкових новин стало однією з ключових загроз для медіабезпеки та формування громадської думки. Соціальні мережі та новинні платформи часто містять недостовірні або маніпулятивні повідомлення, що швидко розповсюджуються та впливають на поведінку користувачів. У роботі пропонується створення інтелектуальної системи виявлення фейкових новин, яка поєднає сучасні методи глибинного навчання, трансформерні моделі та адаптовані алгоритми обробки природної мови. Запропонована модель на основі архітектури BERT забезпечує точну класифікацію текстів українською та англійською мовами, а веб-інтерфейс дозволяє інтерактивно перевіряти новинні повідомлення в режимі реального часу. Розроблене рішення спрямоване на підвищення медіаграмотності, зміцнення інформаційної безпеки та протидію поширенню дезінформації.

**Ключові слова:** фейкові новини, NLP, глибинне навчання, BERT, класифікація текстів, інформаційна безпека, веб-система.

## Detecting fake news on social media using deep networks

Iryna Hrechyn<sup>1</sup> and Victor Rovinsky<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup>student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
iryna.hrechyn.21@pnu.edu.ua

<sup>2</sup>PhD, Senior Lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
victor.rovinsky(at)pnu.edu.ua

**Abstract.** In the modern information space, the spread of fake news has become one of the key threats to media security and the formation of public opinion.

Social networks and news platforms often contain unreliable or manipulative messages that spread quickly and influence user behavior. The work proposes the creation of an intelligent fake news detection system that combines modern deep learning methods, transformative models, and adapted natural language processing algorithms. The proposed model based on the BERT architecture provides accurate classification of texts in Ukrainian and English, and the web interface allows for interactive verification of news messages in real time. The developed solution is aimed at increasing media literacy, strengthening information security, and countering the spread of disinformation.

**Keywords:** fake news, NLP, deep learning, BERT, text classification, information security, web system.

## 1 Вступ

Поширення фейкових новин у соціальних мережах та онлайн-медіа стає однією з найактуальніших проблем сучасного інформаційного середовища. Більшість користувачів зустрічають маніпулятивні тексти, які складно відрізнити від достовірних без спеціальних інструментів, а існуючі системи верифікації мають обмеження: низьку точність, відсутність підтримки різних мов, слабку адаптацію до нових типів дезінформації та незручний інтерфейс. Це призводить до швидкого поширення неправдивих матеріалів, формування хибних уявлень та зниження довіри до медіа [1,2].

Метою дипломної роботи є створення інтелектуальної системи автоматичного виявлення фейкових новин, яка поєднує сучасні методи глибинного навчання, трансформерну модель BERT та ефективні прийоми попередньої обробки тексту. Розроблений веб-інтерфейс на Angular забезпечує зручну взаємодію з моделлю та дозволяє користувачам швидко перевіряти достовірність новин українською та англійською мовами.

Практичне значення роботи полягає у створенні інструменту, що підвищує рівень медіаграмотності, дозволяє оперативно відсіювати недостовірні матеріали та сприяє зменшенню поширення дезінформації. Система може бути інтегрована у медіа-платформи, освітні ресурси, сервіси моніторингу новин або використовуватися як основа для подальших досліджень у сфері NLP, інформаційної безпеки та AI-систем класифікації текстів.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

На сьогодні у світі існує велика кількість платформ та дослідницьких систем, що займаються виявленням фейкових новин і дезінформації. Найбільш відомими міжнародними рішеннями є Google Fact Check Tools, Media Bias/Fact Check, PolitiFact, Snopes, а серед академічних — моделі на основі BERT, RoBERTa, XLNet та інші трансформерні підходи. Аналіз показав низку спільних проблем існуючих рішень [3].

Більшість сучасних систем працює переважно в режимі ручної модерації, де перевірка новин виконується людьми-фактчекерами, що значно знижує швидкість реагування та не дозволяє обробляти великі обсяги даних. Автоматизовані системи часто базуються на класичних методах машинного навчання, які погано враховують контекст і стилістичні особливості мови, що знижує точність класифікації. У багатьох сервісах також відсутня підтримка української мови або вона реалізована на базі застарілих корпусів [3].

Сучасні алгоритми мало враховують мультимодальність контенту — фейки у соціальних мережах часто супроводжуються зображеннями, мемами чи монтажем відео, але більшість систем аналізує лише текстову частину. Інтерактивна візуалізація результатів виявлення практично не застосовується: користувачі отримують лише кінцеву оцінку правдивості без пояснень, що знижує довіру до моделі [3].

Також існує проблема повільного реагування на поява нових типів фейків. Моделі не завжди враховують зміни у риторичі, темах та маніпулятивних патернах, а процес донавчання часто ускладнений відсутністю актуальних датасетів українською мовою [4].

Швидкий розвиток глибинного навчання, зокрема трансформерних архітектур (BERT, RoBERTa, DistilBERT, LLaMA), відкриває можливості для побудови моделі, здатної аналізувати контекст, емоційне забарвлення та логічну структуру тексту. Поєднання таких моделей з сучасними вебтехнологіями, наприклад Angular для інтерфейсу та Python/Node.js для серверної частини, дозволяє створити інтерактивний інструмент автоматичного виявлення фейкових новин у соціальних мережах у реальному часі [4].

### **3 Запропоноване рішення**

Запропонована система виявлення фейкових новин розробляється на основі сучасного технологічного стеку (Angular, Python/FastAPI, PostgreSQL або MongoDB, TensorFlow/PyTorch) і містить такі ключові інтелектуальні модулі:

- Модуль класифікації новин на основі глибинної трансформерної моделі.
- Система використовує сучасні архітектури, що дозволяють аналізувати контекст, тональність, риторичу та стилістичні маркери неправдивої інформації. Модель класифікує новину як правдиву, маніпулятивну або фейкову, а також формує оцінку ймовірності.
- AI-пояснювач результатів (Explainable AI) [5, 6].
- Після аналізу новини система формує зрозуміле текстове пояснення: які фрази, патерни або логічні суперечності вплинули на класифікацію. Це підвищує довіру користувача та прозорість роботи моделі. Пояснення генеруються за допомогою attention-матриць та методів SHAP/LIME.
- Мультимодальний аналіз контенту.

- Окрім тексту, система може аналізувати зображення — наприклад, меми, графічні фейки, скріншоти публікацій. Для цього використовується CNN/ViT-модель, що виявляє маніпулятивні зображення, монтаж та аномальні патерни пікселів [5, 6].
- Для підвищення точності модель звертається до внутрішньої бази: перевірених новин, офіційних заяв, відкритих даних та попередніх класифікацій. Це дозволяє зіставляти інформацію та виявляти суперечності.
- Сучасний веб-інтерфейс на Angular.
- Інтерфейс підтримує адаптивну верстку, швидке завантаження, оновлення результатів у реальному часі, візуалізацію уваги нейромережі (highlight підозрілих фрагментів тексту), інтерактивну статистику та графіку.
- Оптимізація виконується через lazy loading, кешування та серверний рендеринг даних.

## Висновок

Запропонована система виявлення фейкових новин у соціальних мережах значно перевершує можливості існуючих рішень завдяки поєднанню сучасних глибоких моделей, мультимодального аналізу та прозорих методів пояснення результатів. Використання трансформерних архітектур забезпечує високу точність класифікації текстових повідомлень, тоді як аналіз візуального контенту та моделей поширення інформації дає змогу виявляти маніпуляції комплексно, у різних форматах. Створений адаптивний веб-інтерфейс на Angular робить взаємодію зі системою швидкою, зручною та доступною на будь-яких пристроях. Запропонований підхід відкриває можливість упереджувати поширення небезпечних інформаційних вкидів та підвищує медіаграмотність користувачів.

## Література (References)

1. Vaswani A. et al. *Attention Is All You Need*. Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
2. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*, 2019.
3. Liu Y. et al. *RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach*, 2019.
4. Shu K., Sliva A., Wang S., Tang J., Liu H. *Fake News Detection on Social Media: A Data Mining Perspective*. ACM SIGKDD, 2017.
5. Zhou X., Zafarani R. *A Survey of Fake News: Fundamental Theories, Detection Methods, and Opportunities*. ACM Computing Surveys, 2020.
6. Thota A., Tilak P., Ahluwalia S., Lohia N. *Fake News Detection: A Deep Learning Approach*. SMU Data Science Review, 2018.

## Інформаційна система для публікування художніх творів із модерацією текстів на основі алгоритмів штучного інтелекту та веб-інтерфейсом

Денис Куцінський<sup>1</sup>, Артем Ізмайлов<sup>2</sup> [0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

denys.kutsinskyi.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто інформаційну систему для публікування художніх творів, що поєднує можливості сучасних веб-технологій та алгоритмів штучного інтелекту для автоматизованої модерації текстового контенту. Система надає функціонал для створення, та публікації літературних творів, організації авторських профілів, а також взаємодії з читачами.

**Ключові слова:** Веб-платформа, Інформаційна система, Модерація текстів, Штучний інтелект.

## Information System for Publishing Literary Works With AI-based Text Moderation and Web Interface

Denys Kutsinskyi<sup>1</sup>, Artem Izmailov<sup>2</sup> [0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> 1 student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

denys.kutsinskyi.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper explores an information system for publishing works of art that combines the capabilities of modern web technologies and artificial intelligence algorithms for automated moderation of text content. The system provides users with functionality for creating, and publishing literary works, organizing author profiles, and interacting with readers within the community.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Information System, Text Moderation, Web Platform

## 1 Вступ

У інформаційному середовищі, де цифрові платформи відіграють ключову роль у створенні та поширенні контенту, зростає потреба у ефективних інструментах для підтримки авторів та забезпечення якісної взаємодії з аудиторією [1]. Онлайн-платформи стають майданчиками, що поєднують творчість, комунікацію та автоматизовані механізми контролю якості контенту.

Актуальність дослідження зумовлена зростанням обсягів користувацького контенту та необхідністю впровадження технологій, які дозволяють автоматизувати процеси модерації.

Метою даного дослідження є розробка інформаційної системи для публікування художніх творів, що забезпечує автоматизовану модерацію текстів на основі алгоритмів штучного інтелекту та пропонує зручний веб-інтерфейс для взаємодії користувачів.

Практична значимість роботи полягає у створенні інструменту, який поєднує функціонал сучасної літературної онлайн-платформи з можливостями інтелектуального аналізу текстів, що забезпечує авторам простий спосіб розміщення творів, модераторам – ефективний механізм контролю, а читачам – безпечний та якісний контент.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сфера цифрових літературних платформ охоплює онлайн-системи, що забезпечують створення, редагування, модерацію, поширення та взаємодію навколо користувацького контенту у вигляді художніх текстів [1]. Основними учасниками предметної області є автори, читачі, модератори та адміністративний персонал, які взаємодіють через веб-інтерфейс.

Для визначення конкурентного середовища та виявлення можливостей удосконалення були проаналізовані сучасні онлайн-платформи, що підтримують публікацію художніх творів.

### — Wattpad [2]

Одна з найбільших світових платформ, що дозволяє авторам публікувати книги, отримувати відгуки та взаємодіяти з великою спільнотою.

Переваги:

- система рекомендацій,
- велика аудиторія та розвинена соціальна система;

Недоліки:

- обмежені інструменти модерації,
- відсутність глибокої автоматизованої перевірки тексту.

### — FanFiction.net [3]

Платформа для фанатської творчості, що базується на переписуванні уже існуючих сюжетів

Переваги:

- велика кількість жанрів і підрозділів,
- проста текстова структура.

Недоліки:

- застарілий інтерфейс,
- відсутність сучасних інструментів автоматичної модерації.

— Medium [4]

Професійна платформа для публікації статей.

Переваги:

- інструменти аналітики,
- монетизація автора.

Недоліки:

- орієнтована на нон-фікшн,
- строга редакційна політика,
- відсутність AI-модерації для художніх творів.

### 3 Запропоноване рішення

Система забезпечує користувачам можливість реєстрації та автентифікації, створення та редагування власних профілів, а також публікації художніх творів із можливістю керування доступом до них. Вона дозволяє автоматично перевіряти тексти на відповідність правилам спільноти, виявляти небажаний або шкідливий контент і надавати рекомендації щодо покращення творів.

Засобами веб-технологій та інтерфейсних компонентів було реалізовано зручний та інтуїтивно зрозумілий користувацький інтерфейс системи (рис. 1):

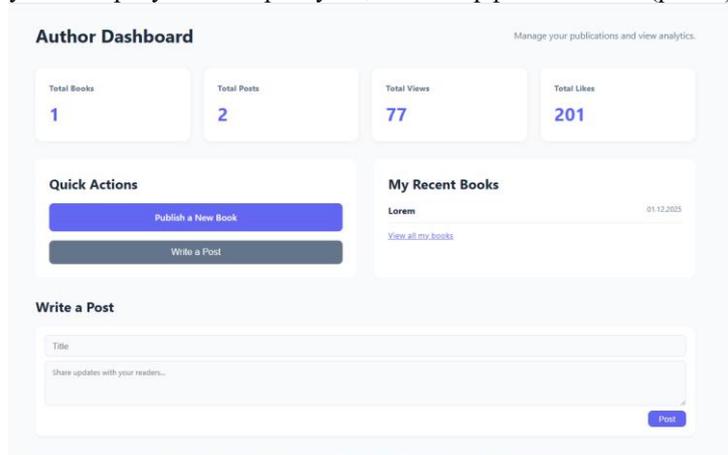


Рис. 1. Вигляд сторінки кабінета автора

Запропонована інформаційна система забезпечує користувачам можливість реєстрації та автентифікації (з використанням JWT та OAuth 2.0 для

Google/Facebook), створення власних профілів, публікації творів, редагування текстів та керування доступом до своїх робіт. Веб-інтерфейс реалізовано на основі React.js, а бекенд – на Node.js із базою даних MongoDB, що забезпечує надійне та масштабоване середовище для користувачів [5, 6, 7].

Модель штучного інтелекту, що лежить в основі системи, забезпечує автоматичну модерацію та рекомендації, дозволяючи створити безпечне й контрольоване середовище для публікації та взаємодії авторів і читачів [8].

## Висновки

У результаті дослідження було вирішено завдання зі створення концепції інформаційної системи для публікування художніх творів із автоматизованою модерацією текстів на основі алгоритмів штучного інтелекту та веб-інтерфейсом, здатних інтегрувати механізми публікації та управління контентом.

Запропонована система вирішує ключові проблеми сучасних онлайн-платформ, а саме забезпечує автоматичну попередню модерацію текстів та надає авторам інструмент для комфортного створення, редагування та публікації творів.

Перспективи подальшого розвитку охоплюють поглиблення інтелектуальних можливостей: виявлення плагіату, побудови аналітичних профілів авторів, а також розроблення мобільного застосунку та API для інтеграції з видавничими екосистемами.

## References

1. S. ROBERTS, *Behind the Screen Content Moderation in the Shadows*, New Haven and London: Yale University Press, 2019.
2. "Hi. We're Wattpad.," Wattpad, [Online]. Available: <https://company.wattpad.com>. [Accessed 20 11 2025].
3. "FanFiction," [Online]. Available: <https://www.fanfiction.net/#>. [Accessed 20 11 2025].
4. "Medium: Everyone has a story to tell," [Online]. Available: <https://medium.com/about>. [Accessed 20 11 2025].
5. "React A JavaScript library for building user interfaces," [Online]. Available: <https://legacy.reactjs.org>. [Accessed 20 11 2025].
6. "About Node.js," [Online]. Available: <https://nodejs.org/en/about>. [Accessed 20 11 2025].
7. "About MongoDB," [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/company>. [Accessed 20 11 2025].
8. M. ABDUL WAJEED, K. MIZBAHUDDIN QUADRY, M. ALAM MALLIK and K. R. KHANNA, "EXPLAINABLE MACHINE LEARNING FOR TEXT CLASSIFICATION: A NOVEL APPROACH TO TRANSPARENCY AND INTERPRETABILITY," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 103, no. 3, pp. 907-915, 2025.

# Система онлайн-продажу одягу

Олександр Білий

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

olksandr.bilyi.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто проблему створення сучасної інформаційної системи для онлайн-продажу одягу, що забезпечує зручний, швидкий та безпечний процес купівлі для користувачів. Проаналізовано існуючі рішення у сфері електронної комерції [1; 2], визначено їхні переваги та недоліки. Запропоновано підхід до розробки веб-системи, яка містить каталог товарів, систему реєстрації та авторизації користувачів, модуль управління замовленнями та адміністративну панель. Особливу увагу приділено адаптивності інтерфейсу, фільтрації товарів і захисту персональних даних [3].

**Ключові слова:** електронна комерція, онлайн-магазин, інформаційні системи, каталог товарів, управління замовленнями, веб-розробка.

## Online clothing sales system

Oleksandr Bilyi

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

olksandr.bilyi.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper examines the problem of developing a modern information system for online clothing sales that provides a convenient, fast, and secure purchasing process for users. Existing solutions in the field of e-commerce [1; 2] are analyzed, and their advantages and limitations are identified. An approach to the development of a web-based system is proposed, including a product catalog, user registration and authentication modules, an order management system, and an administrative panel. Special attention is given to interface adaptability, product filtering, and the protection of personal data [3].

**Keywords:** e-commerce, online store, information systems, product catalog, order management, web development.

## 1 Вступ

У сучасному цифровому середовищі електронна комерція відіграє ключову роль у розвитку бізнесу. Ріст популярності онлайн-продажів зумовлює потребу у створенні надійних та ефективних платформ, що забезпечують високу швидкість взаємодії та простоту використання [1]. Онлайн-магазини одягу є одним із найпоширеніших напрямів, тому їхні функціональні можливості мають регулярно вдосконалюватися відповідно до тенденцій UX/UI та безпеки даних [3].

Основною метою сучасних платформ є забезпечення доступності товарів, можливість швидкого пошуку та фільтрації, а також безпечна взаємодія між користувачем і системою.

## 2 Постановка задачі

Метою роботи є створення веб-системи онлайн-продажу одягу, яка забезпечує такі можливості:

1. **Каталог товарів** з категоризацією та керуванням адміністратора.
2. **Реєстрація та авторизація користувачів**, захист персональних даних відповідно до вимог сучасних веб-технологій.
3. **Функціонал оформлення замовлення** та управління кошиком.
4. **Адаптивний інтерфейс**, оптимізований для мобільних пристроїв.
5. **Адміністративна панель** для контролю над товарами та замовленнями.
6. **Система фільтрації та пошуку**, необхідна для швидкого доступу до потрібних товарів.

## 3 Аналіз предметної області

Ринок електронної комерції демонструє швидке зростання та автоматизацію бізнес-процесів, що підтверджується аналітичними звітами провідних компаній [1]. Аналіз існуючих рішень показав наявність спільних проблем: перевантажений інтерфейс, недостатня кількість фільтрів, обмежені можливості адміністрування, низький рівень адаптивності.

Системи управління контентом (CMS) та фреймворки, які використовуються для створення онлайн-магазинів, висувають вимоги до структури даних, захисту інформації, масштабованості та зручності використання. Згідно з рекомендаціями фахівців у галузі веб-розробки [2], ефективний інтернет-магазин повинен мати продуману архітектуру та оптимізовану взаємодію з користувачем.

Важливим аспектом є також безпека та захист персональних даних. Оскільки користувач взаємодіє з системою через введення конфіденційної інформації, платформа повинна застосовувати методи шифрування та захисту, описані у сучасних міжнародних стандартах [3].

## **Висновки**

У роботі визначено ключові вимоги до системи онлайн-продажу одягу та сформовано концептуальну модель веб-платформи. Система забезпечує автоматизацію основних процесів електронної комерції, включаючи управління товарами, роботу з користувачами та модуль оформлення замовлень. Запропоноване рішення сприятиме підвищенню ефективності онлайн-продажу, покращенню взаємодії користувачів із платформою та створює основу для масштабування системи в майбутньому.

## **Література (References)**

1. Ecommerce Guide 2023. URL: <https://www.shopify.com/enterprise/ecommerce> (дата звернення: 17.12.2025).
2. WooCommerce Documentation. Building Online Stores. URL: <https://woocommerce.com/documentation> (дата звернення: 17.12.2025).
3. OWASP Top 10 Web Application Security Risks. URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten> (дата звернення: 08.12.2025).

# Розробка гри з елементами штучного інтелекту для NPC

Гейко Андрій

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

heiko.andrii@comp-sc.if.ua

**Анотація.** В роботі проаналізовано принципи моделювання поведінки NPC на основі штучного інтелекту та їх застосування в ігровій індустрії. Розглянуто існуючі методи, такі як автомати станів, поведінкові дерева, Utility AI та GOAP, а також алгоритми пошуку шляху (A\*, NavMesh). Результатом дослідження є розробка прототипу системи NPC у Unity, що забезпечує адаптивну та природну поведінку персонажів завдяки поєднанню структурованої логіки та оцінки корисності дій.

**Ключові слова:** NPC, штучний інтелект, поведінкові дерева, Utility AI, GOAP, алгоритми пошуку шляху, NavMesh, адаптивна поведінка.

# Game development with artificial intelligence elements for NPCs

Heiko Andrii

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

heiko.andrii@comp-sc.if.ua

**Abstract.** The study analyzes the principles of modeling NPC behavior based on artificial intelligence and their application in the gaming industry. Existing methods, such as finite state machines, behavior trees, Utility AI, and GOAP, as well as pathfinding algorithms (A\*, NavMesh), are examined. The result of the research is the development of a prototype NPC system in Unity that provides adaptive and natural character behavior through a combination of structured logic and action utility evaluation.

**Keywords:** NPC, artificial intelligence, behavior trees, Utility AI, GOAP, pathfinding algorithms, NavMesh, adaptive behavior.

## 1 Вступ

У сучасній ігровій індустрії алгоритми моделювання поведінки NPC на основі штучного інтелекту стають важливим інструментом створення реалістичних та адаптивних ігрових світів. Зростання популярності AI-рішень у великих іграх на кшталт The Last of Us, RimWorld та S.T.A.L.K.E.R. 2 демонструє тенденцію переходу від простих rule-based систем до більш гнучких поведінкових дерев, GOAP-підходів та моделей машинного навчання. Класичні підходи, як-от finite state machines, хоч і прості у впровадженні, часто не забезпечують достатньої варіативності та адаптивності, що знижує глибину взаємодії з NPC.

Сучасні AI-алгоритми дозволяють створювати персонажів, які реагують на зміни середовища, приймають рішення відповідно до контексту та демонструють більш природну поведінку. Однак впровадження таких систем потребує оптимізації, коректної архітектури та контролю продуктивності, що є критичним особливо для інді-проектів.

Метою дослідження є розробка прототипу системи поведінки NPC на основі AI з акцентом на адаптивність та простоту впровадження в Unity. Основні завдання включають аналіз існуючих методів, проектування архітектури поведінки, реалізацію в C# та тестування варіативності й стабільності реакцій NPC.

## 2 Аналіз існуючих рішень

Існуючі підходи до моделювання поведінки NPC охоплюють кілька груп методів. Найбільш базовими є автоматні моделі (Finite State Machines), що мають просту реалізацію, але швидко ускладнюються при збільшенні кількості станів. Значно гнучкішими є дерева поведінки, де логіка NPC поділяється на ієрархічні вузли: селектори, секвенсери та умови. Це забезпечує модульність, можливість повторного використання дій та легке масштабування, тому поведінкові дерева стали стандартом у багатьох сучасних рушіях.

Окремий підхід — Utility AI, де поведінка NPC визначається на основі “корисності” певних дій, обчисленої за допомогою функцій оцінки. Така система дозволяє NPC динамічно пріоритизувати цілі та реагувати на зміни середовища без жорсткої прив’язки до заздалегідь визначених сценаріїв, забезпечуючи природність і варіативність рішень.

Метод GOAP (Goal-Oriented Action Planning) пропонує автономне формування планів на основі цілей та доступних дій, що робить NPC більш адаптивними в іграх зі складними системами взаємодії. У той же час нейромережеві та RL-підходи забезпечують найвищу варіативність, хоча їхня інтеграція потребує значних ресурсних обчислень і ретельного контролю поведінки.

Важливою складовою поведінкових систем є алгоритми пошуку шляху, такі як A\*, Dijkstra чи навігаційні сітки (NavMesh), які дозволяють NPC ефективно пересуватися складним середовищем, уникати перешкод і динамічно адаптувати маршрут під час гри.

Таким чином, сучасний спектр рішень — від простих FSM до Utility AI та GOAP у поєднанні з навігаційними алгоритмами — дає можливість підбирати метод відповідно до складності, жанру та вимог конкретного проекту.

### 3 Розробка системи

Розробка системи моделювання поведінки NPC базується на поєднанні модульної поведінкової логіки та навігаційних алгоритмів у середовищі Unity. На першому етапі було визначено архітектуру системи, що включає три основні компоненти: модуль прийняття рішень, модуль виконання дій та модуль навігації. Такий поділ забезпечує гнучкість у масштабуванні та можливість заміни окремих алгоритмів без переробки всієї системи.

Як основний механізм логіки було обрано дерева поведінки, оскільки вони надають чітку структуру і дозволяють легко комбінувати умови, дії та селектори для створення складної поведінки. Кожен NPC отримує власне дерево, що включає базові стани: патрулювання, переслідування, реагування на загрози та взаємодію з оточенням. Для підвищення адаптивності окремі вузли доповнені системою Utility-оцінок, завдяки чому NPC може динамічно вибирати найбільш релевантну дію, наприклад, втечу замість атаки при низькому рівні здоров'я.

Для переміщення NPC у просторі використовується стандартна система Unity NavMesh, яка забезпечує побудову оптимального маршруту за допомогою алгоритмів на основі A\*. Навігаційна логіка інтегрована в поведінкове дерево як окремі виконувані дії, що дозволяє NPC автоматично переходити між станами та реагувати на зміну доступних шляхів.

На етапі реалізації було створено набір параметризованих скриптів на C#, що дають можливість налаштовувати швидкість руху, радіус виявлення, коефіцієнти Utility-функцій та структуру дерева поведінки без модифікації коду. Це робить систему придатною для повторного використання в різних типах проектів — від інді-ігор до більш масштабних розробок.

### Висновки

Розроблена система моделювання поведінки NPC забезпечує автономну та адаптивну роботу персонажів у ігровому середовищі, охоплюючи логіку прийняття рішень, виконання дій та навігацію. Реалізовано поведінкові дерева з Utility-оцінкою та інтеграцією NavMesh для пошуку оптимальних маршрутів, що підвищує природність та варіативність поведінки. Переваги включають простоту налаштування, модульність та продуктивність, що робить систему придатною для інді-проектів та середніх ігор із відкритим світом.

Загалом, проєкт демонструє ефективне застосування сучасних технологій AI у Unity, пропонуючи масштабоване та практичне рішення для реалізації реалістичних NPC та підтверджуючи потенціал для подальшого розвитку та комерційного впровадження.

## Література (References)

1. «Алгоритми штучного інтелекту в розробці ігор», <https://www.csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/701>, last accessed 2025/12/04
2. «Застосування штучного інтелекту в онлайн-іграх», <https://jpasmd.donnu.edu.ua/article/view/16748>, last accessed 2025/12/04
3. «Розроблення комп'ютерних ігор із використанням технологій ігрового ШІ», [https://con.dut.edu.ua/index.php/communication/article/view/2580?utm\\_source=chatgpt.com](https://con.dut.edu.ua/index.php/communication/article/view/2580?utm_source=chatgpt.com), last accessed 2025/12/04

# Машинне навчання у системах електронної комерції

Лахманюк Ганна, Горєлов Віталій<sup>[0000-0002-2106-8704]</sup>

Карпатський національний університет ім. Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

lakhmaniuk.hanna@comp-sc.if.ua

vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

**Анотація.** У даній роботі розглядається застосування методів машинного навчання в електронній комерції з метою покращення персоналізації, оптимізації процесів взаємодії з клієнтами та підвищення ефективності роботи онлайн-магазинів. Особливу увагу приділено рекомендаційним системам, які формують індивідуальні пропозиції товарів на основі поведінки користувачів та характеристик продукції.

**Ключові слова:** Машинне навчання, електронна комерція, рекомендаційні системи, персоналізація, React.js, Node.js.

## Machine Learning in E-Commerce Systems.

Lakhmaniuk Hanna, Horielov Vitalii<sup>[0000-0002-2106-8704]</sup>

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

lakhmaniuk.hanna@comp-sc.if.ua

vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

**Abstract.** This paper examines the use of machine learning methods in e-commerce to improve personalization, enhance customer interaction, and increase the efficiency of online retail platforms. Special attention is given to recommendation systems that generate personalized product suggestions based on user behavior and product attributes.

**Keywords:** Machine learning, E-Commerce, Recommender systems, Personalization, React.js, Node.js.

## 1 Вступ

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій електронна комерція стала одним із найдинамічніших сегментів бізнесу. Зростання кількості онлайн-покупців та обсягів даних створює потребу у впровадженні інтелектуальних інструментів, здатних автоматично аналізувати поведінку користувачів і формувати релевантні пропозиції.[1]

Одним із найефективніших рішень для цього є системи машинного навчання, які дають змогу створювати персоналізовані рекомендації, прогнозувати попит, оптимізувати пошук та автоматизувати взаємодію з клієнтами.

Актуальність теми зумовлена тим, що значна частина інтернет-магазинів все ще використовує базові механізми сортування чи ручного підбору товарів, що не враховують індивідуальні вподобання покупців. Впровадження ML-моделей дозволяє суттєво підвищити ефективність електронної комерції, збільшити продажі та покращити досвід користувачів.

Метою даної роботи є розробка концепції рекомендаційної системи на основі машинного навчання, яка забезпечує персоналізовані пропозиції товарів у онлайн-магазині та дозволяє підвищити рівень взаємодії з клієнтами.

## 2 Аналіз предметної області

Електронна комерція характеризується великими наборами даних: історією покупок, переглядами товарів, відгуками, діями користувачів на сайті. Ці дані можуть бути використані для побудови інтелектуальних систем рекомендацій.

Нині більшість платформ використовують один із підходів:

- Контент-орієнтований метод — рекомендація товарів, схожих на ті, що користувач уже переглядав або купував.
- Колаборативна фільтрація — пошук схожих користувачів та пропонування товарів, які подобаються їм.
- Гібридні моделі — поєднання двох підходів для підвищення точності та усунення проблеми “холодного старту”.

Традиційні механізми сортування, які не використовують ML, не здатні адаптуватися до індивідуальної поведінки користувача, що зменшує ймовірність покупки та обмежує можливості персоналізації.

## 3 Запропоноване рішення

Запропонована система рекомендацій товарів реалізується у вигляді веб-платформи, яка обробляє дані користувачів та формує персоналізовані списки товарів у реальному часі.

Ключовим елементом системи є гібридна модель машинного навчання, що поєднує контентні та колаборативні методи для досягнення високої точності рекомендацій.

Основні можливості системи:

- збір та аналіз дій користувачів (перегляди, покупки, пошукові запити);
- визначення схожості між товарами за їхніми характеристиками;
- пошук користувачів із подібними інтересами;
- формування індивідуальних рекомендацій для кожного профілю;
- адаптивне оновлення моделей відповідно до нових даних.

Для реалізації системи використовуються технології JavaScript [2] та такі інструменти:

- React.js — для побудови інтерфейсу користувача [3];
- Node.js — для серверної логіки та обробки ML-моделей [4];
- Алгоритми ML — колаборативна фільтрація, контентне порівняння, гібридні підходи [5];
- MongoDB — для зберігання даних користувачів та історії рекомендацій [6].

## Висновок

Запропонована система рекомендацій на основі машинного навчання значно покращує взаємодію з користувачами, дозволяючи формувати персональні пропозиції для кожного клієнта. Використання гібридної моделі забезпечує високу точність результатів навіть у ситуаціях з недостатньою кількістю даних.

Система сприяє підвищенню конверсії, покращенню користувацького досвіду та зменшенню навантаження на персонал завдяки автоматизації процесу рекомендацій.

## Література (References)

1. Machine Learning in E-commerce: A Review, ACM Digital Library, last accessed 2025/11/01.
2. M.Haverbeke, Eloquent JavaScript 4<sup>th</sup> edition, No Starch Press (2025).
3. Ricci F., Recommender Systems Handbook, Springer, last accessed 2025/11/01.
4. Node.js documentation. Node.js JavaScript runtime. Available: <https://nodejs.org/en/docs/>, last accessed 2025/11/11.
5. Collaborative Filtering and Hybrid Models in Recommender Systems, IEEE Publications, last accessed 2025/11/05.
6. MongoDB Tutorial, <https://www.w3schools.com/mongodb/>, last accessed 2025/11/10

# Розробка інформаційної системи управління фінансами користувача з аналітикою витрат

Колодніцький Роман

Карпатський Національний Університет імені Ва-  
силя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна  
roman.kolodnitskyi.22@pnu.edu.ua

## A USER FINANCIAL MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM WITH EXPENSE ANALYTICS

Roman Kolodnitskyi

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-  
Frankivsk, Ukraine  
roman.kolodnitskyi.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** Efficient personal financial management requires information tools capable of capturing, classifying, and analyzing everyday expenses. In the context of the modern digital ecosystem, users seek lightweight yet powerful systems that can transform raw financial data into actionable insights. This paper presents the design of a Python-based financial management information system that automates data collection, processing, and analysis. The objective of the research is to develop a modular system architecture that enables precise expense monitoring through the correlation of transaction-level records with analytical indicators. The proposed solution utilizes Python libraries such as pandas for structured data processing, SQLite for persistent storage, and matplotlib for visual analytics. The system allows users to import or manually input financial transactions, which are then categorized to support deeper analytical workflows. To enhance interpretability, the system provides an integrated dashboard for viewing monthly summaries, category-based distributions, spending trends, and anomalies. This approach supports data-driven decision-making and encourages responsible budgeting. The modular nature of the architecture ensures extensibility and enables future integration of machine-learning mechanisms for forecasting.

**Keywords:** financial management, expense analytics, Python, pandas, SQLite, matplotlib.

## 1 Вступ

Зростання цифрових фінансових операцій визначає потребу у зручних інструментах, які дозволяють користувачам контролювати власні витрати та планувати бюджет. Популярні мобільні застосунки зазвичай пропонують поверхневий аналіз, що не дозволяє встановити причини перевитрат або побачити довгострокові тенденції.

Наукова проблема полягає у відсутності легко масштабованої методики, яка б одночасно забезпечувала:

- автоматизований збір фінансових операцій;
- їх систематизацію за категоріями;
- глибоку аналітику, засновану на часових трендах;
- зберігання та подальшу обробку даних у зручній формі.

Метою роботи є розробка інформаційної системи особистого фінансового обліку, яка дозволяє отримувати корисні аналітичні висновки на основі щоденних транзакцій. Практична цінність розробки полягає у створенні універсального інструменту для навчальних, побутових і професійних потреб у сфері фінансового аналізу.

## 2 Матеріали та методи

### 2.1 Архітектура системи

Запропонована система складається з трьох основних компонентів:

1. Рівень зберігання даних. На основі SQLite створено локальну базу даних, яка забезпечує швидку роботу без додаткових серверів, дозволяє зберігати транзакції, категорії та аналітичні показники, а також підтримує масштабування структури за потреби.
2. Рівень обробки даних. Використання pandas дає змогу завантажувати CSV/Excel дані або вводити їх вручну; групувати витрати за датами, категоріями, сумами; розраховувати середні значення, тренди, місячні та річні звіти; визначати відхилення та аномалії в поведінці витрат.
3. Рівень візуалізації. Бібліотека matplotlib використовується для побудови графіків: помісячних витрат, розподілу за категоріями, лінійних трендів, пікових значень та вибросів. Інформація виводиться на інтегровану панель (dashboard), що об'єднує усі ключові метрики.

## **2.2 Модель експерименту** **Методологія включає такі етапи:**

- імпорт або введення транзакцій користувача;
- автоматична категоризація витрат;
- обчислення статистичних і часових характеристик;
- побудова аналітичних графіків;
- кореляція між сировими даними та отриманими висновками.

На відміну від статичних бюджетних таблиць, запропонована система формує динамічну картину витрат і дозволяє виявляти приховані закономірності.

## **3 Інтеграція компонентів і функціональні можливості**

### **3.1 Єдине джерело фінансових даних**

SQLite використовується як Single Source of Truth, де зберігаються транзакції (дата, опис, сума, категорія), підраховані агрегати (місячні витрати, статистичні зведення) та історія змін. Це забезпечує узгодженість результатів і можливість повторних досліджень.

### **3.2 Аналітичні можливості**

Система підтримує побудову часових рядів, аналіз сезонності, виявлення аномалій у витратах, визначення категорій із найбільшими витратами та прогнозування на основі тенденцій (у майбутній роботі).

## **4 Очікувані результати та перспективи дослідження**

Очікувані результати включають:

- автоматизований процес обліку витрат;
- формування зрозумілих та інформативних графіків;
- виявлення категорій надмірних витрат;
- можливість інтерактивного аналізу через панель візуалізації;
- створення стабільної та відтворюваної моделі обробки фінансових даних.

Перспективи подальших досліджень охоплюють інтеграцію моделей машинного навчання для прогнозування витрат, автоматичне визначення категорії транзакції (NLP/ML), побудову мобільної або веб-версії системи, а також підключення банківських API для автоматичного імпорту.

## **Висновки**

Розроблена інформаційна система забезпечує комплексний підхід до фінансового обліку користувача. Завдяки поєднанню Python-бібліотек, структурованого зберігання даних та аналітичної візуалізації, створено інструмент, який допомагає ефективно управляти особистим бюджетом. Система має високу відтворюваність, прозорість розрахунків і широкі можливості для розвитку, включно з інтеграцією інтелектуальних моделей прогнозування.

## **References**

1. Wes McKinney. *Python for Data Analysis*. O'Reilly Media, 2022.
2. Python Software Foundation. *pandas Documentation*.
3. SQLite Consortium. *SQLite Documentation*.
4. Hunter J. D. *Matplotlib: A 2D Graphics Environment*, 2007.
5. S. Smith, *Web Scalability for Startup Engineers*. McGraw-Hill Education, 2015.

## Електронна бібліотека з функцією перегляду книг

Христина Палій<sup>1</sup>, Віктор Ровінський<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студентка, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
khrystyna.palii.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н. доцент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
victor.rovinsky@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто веб-платформу електронної бібліотеки, що надає користувачам функціонал для роботи з цифровими виданнями, включаючи розширений пошук, інтерактивне читання, можливість додавання спільних нотаток та імпорт власних файлів (EPUB, PDF). Проаналізовано існуючі рішення, показавши їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** веб-платформа, електронна бібліотека, розширений функціонал, ASP.NET Core, Next.js.

## Electronic Library with a Book Viewing Function

Khrystyna Palii<sup>1</sup>, Victor Rovinsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
khrystyna.palii.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Associate Professor, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
victor.rovinsky@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper examines a web platform for an electronic library that provides users with functionality for working with digital publications, including advanced search, interactive reading, the ability to add collaborative notes, and importing personal files (EPUB, PDF). Existing solutions were analyzed, highlighting their advantages and disadvantages.

**Keywords:** ASP.NET Core, electronic library, advanced functionality, Next.js, web platform.

## **1 Вступ**

У сучасному світі , де дистанційне навчання та самоосвіта набули пріоритетного значення , зростає потреба у зручному та швидкому доступі до навчальних та дослідницьких матеріалів. Електронні бібліотеки забезпечують користувачів миттєвого доступу до публікацій незалежно від їхнього розташування та часових обмежень.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення зручного та багатофункціонального ресурсу , який би забезпечив зберігання, каталогізацію та зручний перегляд різних електронних видань.

Метою даного дослідження є розробка багатокористувацької веб-платформи електронної бібліотеки з функцією перегляду книг з різними можливостями , що сприятимуть покращенню користувацького досвіду ( наприклад функціонал нотаток , розширений пошук, імпорт власних файлів з інформацією).

Практична значимість запропонованої платформи полягає у створенні гнучкого інструменту, який забезпечить користувачу можливість інтуїтивного пошуку, читання, створення закладок та нотаток безпосередньо в електронних виданнях.

## **2 Аналіз предметної області та існуючих рішень**

Сучасні електронні бібліотеки та сервіси для читання дозволяють користувачам взаємодіяти з цифровим контентом у реальному часі та на різних пристроях. Проведений аналіз існуючих рішень виявив кілька популярних застосунків та платформ на ринку , кожен з яких має як і переваги , так і недоліки:

Google Books [1] пропонує велику колекцію книг та хороший пошук, також платформа інтегрована з екосистемою Google. Проте для багатьох видань , захищених авторськими правами доступний лише обмежений перегляд. Також платформа не є гнучкою для створення власних функцій чи інтеграцій.

Project Gutenberg [2] надає безкоштовний доступ до великої кількості класичної літератури, термін дії авторських прав якої закінчився. Недоліком є досить застарілий інтерфейс та обмежений функціонал для інтерактивного читання , наприклад відсутність додавання нотаток, тому для сучасного користувача він ставатиме менш актуальним.

Комерційні сервіси , такі як Bookmate [3] пропонують хороший інтерфейс і зручний для перегляду функціонал перегляду, часто з мобільними додатками.

## **3 Запропоновані рішення**

Запропонована платформа електронної бібліотеки частково повторює функціонал проаналізованих проектів (зокрема, зберігання та перегляд книг), проте також має ряд функцій, що відрізняють її від схожих рішень:

- Розширений функціонал пошуку та каталогізації дозволяє користувачам швидко знаходити потрібні видання не лише за назвою чи автором, а й за жанром та роком видання.
- Інтегрований інструмент для нотаток та закладок – користувачі можуть безпосередньо в процесі читання додавати нотатки, виділяти текст та створювати закладки.
- Нічний режим читання забезпечує комфортне читання в умовах слабкого освітлення, зменшуючи навантаження на очі та підвищуючи зручність користування.
- Імпорт власних файлів – платформа дозволяє користувачам завантажувати та читати власні електронні книги у популярних форматах, таких як EPUB та PDF, інтегруючи їх у загальну систему каталогізації та пошуку.
- Багатофункціональний онлайн-переглядач забезпечує безпосереднє читання книг на сайті з можливістю налаштування шрифтів, розміру тексту та кольорової схеми

## Висновки

Запропонована платформа електронної бібліотеки з розширеним функціоналом перегляду надає широкий спектр можливостей для ефективного доступу до навчальних матеріалів та командної роботи з ними. Платформа об'єднує найкращі практики існуючих рішень, орієнтуючись на зручність читання (нічний режим, налаштування шрифтів), гнучкість (імпорт власних файлів EPUB/PDF) .

Завдяки використанню сучасного стека технологій, що включає ASP.NET Core [4] для бекенду та Next.js [5] для фронтенду забезпечено високу продуктивність, надійність та адаптивний інтерфейс.

Подальші дослідження полягають у вдосконаленні існуючих функцій , наприклад, оптимізація відображення складних PDF-файлів, покращення розширеного пошуку, впровадженні нових інструментів для аналізу тексту, а також покращенні користувацького досвіду для забезпечення максимальної доступності для всіх категорій користувачів.

## Література (References)

1. Google books. *Google Books*. URL: <https://books.google.com/> (date of access: 01.12.2025).
2. Project gutenberг. *Project Gutenberg*. URL: <https://www.gutenberg.org/> (date of access: 01.12.2025).
3. Bookmate. *Bookmate*. URL: <https://uk.bookmate.com/> (date of access: 01.12.2025).
4. ASP.NET core, an open-source web development framework | .NET. *Microsoft*. URL: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet> (date of access: 01.12.2025).
5. What is Next.js? A look at the popular JavaScript framework. *Kinsta®*. URL: <https://kinsta.com/blog/next-js/> (date of access: 01.12.2025).

# Компілятор сценаріїв візуальних новел

Рудий В'ячеслав<sup>1</sup>, Петришин Михайло<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
viacheslav.rudyi.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup>к.т.н., доц., Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
m.l.petryshyn@pnu.edu.ua

**Анотація.** Розглянуто компілятор сценаріїв візуальних новел, який дає користувачам можливість розробляти інтерактивні історії без необхідності написання коду чи знань програмування. Система поєднує візуальний редактор для написання історії та визначення подій у грі, який створює стандартизований файл сценарію, а також рушій, який інтерпретує задані файли у браузерній грі. Отриману сторінку можна легко інтегрувати у сайт користувача або опублікувати в мережі.

**Ключові слова:** Візуальна Новела, Компілятор, Ігровий Рушій.

## Visual novel script compiler

Viacheslav Rudyi<sup>1</sup>, Mykhailo Petryshyn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
viacheslav.rudyi.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup>PhD, docent, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
m.l.petryshyn@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper explores a visual novel script compiler that allows users an ability to develop interactive fiction without the need to write code or requirements of programming knowledge. The system combines an editor for writing a story and defining game events, which produces a script file, and an engine that interprets said file in a browser game. Web page may be easily integrated into user's website or published on the Internet.

**Keywords:** Compiler, Game Engine, Visual Novel.

## 1 Вступ

Створення відеоігор ставало все більш доступним з плином часу, наприклад, завдяки розвитку рушіїв загального призначення. Сучасні засоби надають багато можливостей, інструментів та матеріалів для розробників, однак все ще вимагають значних витрат часу на опанування програмного забезпечення та вивчення програмування [1].

Актуальність дослідження зумовлена високим порогом вступу до індустрії розробки відеоігор.

Метою дослідження є створення засобу, який дозволить художникам, сценаристам та іншим без володіння технічними знаннями, створити та опублікувати власну візуальну новелу

Практична значимість роботи полягає у розробці набору інструментів, які можуть бути використані як єдине ціле або лише частково залежно від потреб користувачів. Дані засоби надають середовище, у якому користувачі здійснюють планування, опис та логіку візуальної новели без потреби написання коду чи знання програмування

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сьогодні для розробки відеоігор існують декілька основних категорій інструментів. Основними серед них є ігрові фреймворки та рушії загального призначення. Для створення візуальних новел існують також спеціалізовані засоби розробки.

До рушіїв загального призначення належать:

### — Unity [2]

Найбільш поширений ігровий рушій, особливо популярний серед інді розробників та невеликих команд

Переваги:

- Широка спільнота, велика кількість навчальних матеріалів;
- Підтримка експорту для усіх основних платформ;

Недоліки:

- Необхідність вивчення мови програмування `c#`
- Потреба оформлення передплати при комерційному успіху створених ігор та для доступу до повного функціоналу рушія

### — Godot Engine [3]

Повністю безкоштовний рушій для створення дво- та тривимірних відеоігор

Переваги:

- Відкритий вихідний код та розповсюдження за ліцензією MIT;
- Можливість використовувати `c#`, вбудовану мову `gdscript` на вибір користувача

Недоліки:

- Відсутня підтримка експорту для ігрових консолей
- Труднощі при роботі з великими та вимогливими проєктами

— Ren'Py Visual Novel Engine [4]

Ігровий рушій, створений спеціально для розробки візуальних новел та ігор жанру «вказати й натиснути»

Переваги:

- Вільне і відкрите програмне забезпечення
- Проста для вивчення скриптова мова для написання сценаріїв
- Велика кількість вбудованих інструментів, корисних для візуальних новел

Недоліки:

- Обмежені засоби для роботи з інтерфейсом користувача у грі

Кожне із розглянутих рішень вимагає від користувача написання коду для створення. Навіть якщо мови програмування простіші в освоєнні, аніж мови загального призначення, це все ще становить високий бар'єр для новачків, які не мають досвіду чи потрібних знань для вступу до індустрії

### 3 Запропоноване рішення

Запропонована система дозволяє створювати візуальні новели за допомогою блоків (вузлів), які користувач може вільно з'єднувати між собою для створення послідовності та розгалужень історії в процесі гри. Вона складається з трьох основних компонентів: файли сценарію, рушій та редактор

**Файл Сценарію.** Події гри зберігаються як JSON файл для зручного прочитання, редагування чи імплементації сценаріїв у сторонні програми. Такий файл містить дані про сцени гри, діалоги, розгалуження, відображення графічних елементів тощо. Усі допоміжні асети, як-от задні фони та малюнки персонажів, зберігаються відповідній папці, а шляхи до них — у відповідному атласі, який буде завантажений рушієм.

**Рушій.** Рушій за замовчуванням виконує завантажений файл сценарію (разом з графічними та іншими елементами) у веб-сторінці. Рушій реалізований на основі Haxi Engine [5] за допомогою мови JavaScript. Haxi надає засоби для завантаження зображень та інших файлів для подальшої обробки, створення груп об'єктів, розміщення елементів на сцені за допомогою контейнерів та визначення ігрової логіки за допомогою скінченного автомату. Відповідно до файлу сценарію, на екрані з'являється віконце з діалогами, меню з вибором дії гравця, зображення та задній фон (рис. 1)



**Рис. 1.** Відображення елементів тестової візуальної новели у браузері

**Візуальний редактор.** Редактор дозволяє користувачам створювати файли сценарію без написання їх напрому. У застосунку доступні блоки, які відображають кожен із запропонованих вузлів у грі (діалог, вибір, відображення спрайта чи його переміщення, відтворення аудіо, зміна фону тощо). Залежно від типу вузла стають доступні різні поля для заповнення користувачем. При експортуванні проєкта кожен блок та його властивості і наступний блок записуються у файл сценарію, зображення та аудіо створюються у папці assets, а код розмітки сторінки та JavaScript записуються на основі шаблону.

Редактор реалізовується за допомогою Godot Engine. Для кожного типу вузлів створюється шаблон, який містить поля, списки чи інші елементи для заповнення. Інтерфейс реалізується засобами Godot, Control та класів-нащадків, для створення графічного інтерфейсу програми.

## **Висновки**

У результаті дослідження створено програмне забезпечення, яке дозволяє розробляти візуальні новели людям без знань програмування та досвіду створення відеоігор.

Запропонована система вирішує проблему високого порогу входження до ігрової індустрії, надаючи засіб людям для втілення задуманих ідей у вигляді веб візуальних новел

У майбутньому можливе розширення рушія для підтримки експорту проєктів як нативних застосунків для різних платформ, додавання підтримки анімацій та створення візуальних ефектів за допомогою систем часток.

## Література

- [1] ispmanager.com, «The history of game engines — from assembly coding to photorealism and AI - DEV Community,» 17 12 2024. [Онлайнвий]. Available: <https://dev.to/ispmanager/the-history-of-game-engines-from-assembly-coding-to-photorealism-and-ai-d9h>. [Дата звернення: 5 12 2025].
- [2] «Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D, VR & AR Engine,» Unity Technologies, [Онлайнвий]. Available: [unity.com](https://unity.com). [Дата звернення: 5 12 2025].
- [3] Godot Foundation, «Godot Engine - Free and Open Source 2D and 3D game engine,» 2025. [Онлайнвий]. Available: [godotengine.org](https://godotengine.org). [Дата звернення: 5 12 2025].
- [4] «Why Ren'Py?,» [Онлайнвий]. Available: [renpy.org/why.html](https://renpy.org/why.html). [Дата звернення: 5 12 2025].
- [5] kittykatattack, «kittykatattack/hexi: Make games the fun way!,» 2018. [Онлайнвий]. Available: <https://github.com/kittykatattack/hexi>. [Дата звернення: 5 12 2025].

## Інтерактивна семантична карта знань з використанням Python та Django

Коцко Андрій

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
andrii.kotsko.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** Тематика дослідження стосується інтерактивної семантичної карти знань, призначеної для структурування та дослідження складних інформаційних просторів. Система реалізована як веб-застосунок на базі Python та Django, що моделює знання у вигляді мережі вузлів та зв'язків. Описано архітектуру рішення, використані технології (PostgreSQL, Vis.js) та теоретичні основи графового представлення знань. Особливу увагу приділено математичному моделюванню зв'язків та оптимізації рендерингу великих графів у браузері.

**Ключові слова:** семантична карта, граф знань, Django, візуалізація даних, онтологія.

## Interactive semantic knowledge map using Python and Django

Kotsko Andrii

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
andrii.kotsko.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The research topic concerns an interactive semantic knowledge map designed to structure and explore complex information spaces. The system is implemented as a web application based on Python and Django, modeling knowledge as a network of nodes and connections. The architecture of the solution, used technologies (PostgreSQL, Vis.js), and theoretical foundations of graph knowledge representation are described. Particular attention is paid to mathematical modeling of connections and optimization of rendering large graphs in the browser.

**Keywords:** semantic map, knowledge graph, Django, data visualization, ontology.

## 1 Вступ

В умовах стрімкого зростання обсягів неструктурованої інформації критично важливим стає не просто зберігання даних, а їх структурування та виявлення прихованих зв'язків. Традиційні лінійні або табличні методи відображення інформації часто не здатні передати складну контекстуальну залежність між об'єктами.

Проект передбачає створення інтерактивної семантичної карти знань у форматі веб-застосунку, що моделює інформацію у вигляді орієнтованого графа. Мета роботи полягає у розробці інструменту, який дозволяє користувачам досліджувати складні предметні області, візуалізуючи логічні, ієрархічні та асоціативні зв'язки між об'єктами. Це покращує когнітивне сприйняття інформації та спрощує навігацію у великих масивах даних [1].

## 2 Аналіз предметної області та технологічний стек

Для реалізації системи обрано сучасний стек технологій, що забезпечує масштабованість, високу інтерактивність та відповідність принципам RESTful архітектури.

Backend (Серверна частина):

- Python: Використовується як основна мова завдяки багатій екосистемі бібліотек для обробки даних та наукових обчислень.
- Django & DRF: Фреймворк забезпечує надійну ORM (Object-Relational Mapping) для роботи з даними та побудову API [2]. Використання Django REST Framework дозволяє створити гнучкий інтерфейс для обміну даними у форматі JSON, що є критичним для асинхронної взаємодії з фронтендом.
- PostgreSQL: Вибір цієї СУБД зумовлений підтримкою поля JSONB [3]. Це дозволяє зберігати гетерогенні атрибути вузлів (наприклад, різні властивості для "Книги" та "Автора") в одній таблиці без необхідності створення складної схеми EAV (Entity-Attribute-Value), що значно пришвидшує вибірку даних.
- NetworkX: Використовується для серверних розрахунків метрик графа, таких як центральність вузлів, пошук найкоротших шляхів та виявлення кластерів [4].

Frontend (Клієнтська частина):

- JavaScript + Vis.js: Бібліотека Vis.js [5] забезпечує візуалізацію графа з використанням HTML5 Canvas, що дозволяє рендерити тисячі об'єктів з високою продуктивністю. Реалізовано фізичну модель відштовхування (Barnes-Hut simulation), що дозволяє графу самоорганізовуватися у зрозумілу структуру.

### 3 Математична модель системи

Наукова новизна роботи базується на формалізації моделі знань. Семантична карта представляється як граф  $G = (V, E)$ , де:

- $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  — множина вузлів, що представляють поняття. Кожен вузол  $v_i$  характеризується набором атрибутів  $A_i$ .
- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$  — множина ребер, що відображають семантичні відношення.

Кожне ребро  $e_k = (v_i, v_j, t, w)$  має:

- напрямок від  $v_i$  до  $v_j$ ;
- тип зв'язку  $t$  (наприклад, "є частиною", "спричиняє", "належить до");
- вагу  $w$ , що визначає силу зв'язку та впливає на візуальну відстань між вузлами при рендерингу.

Також розроблено алгоритм фільтрації підграфа  $G' \subseteq G$  на основі пошукового запиту користувача, що дозволяє виділяти лише релевантну частину знань для відображення, уникаючи візуального шуму.

### 4 Реалізація та функціональні можливості

Система складається з наступних функціональних модулів:

4. Модуль управління онтологією: дозволяє адміністраторам визначати типи вузлів та зв'язків, створюючи "скелет" предметної області.
5. API для роботи з графом: Забезпечує CRUD-операції для вузлів та зв'язків. Реалізовано оптимізовані запити до бази даних для отримання сусідніх вузлів без рекурсивних викликів, що зменшує навантаження на сервер.
6. Інтерактивна візуалізація:
  - a. Масштабування та навігація: Користувач може наближати/віддаляти карту та переміщуватися по ній (pan/zoom).
  - b. Фільтрація: Можливість приховувати певні типи зв'язків або вузлів для фокусування на конкретному аспекті.
  - c. Деталізація: при кліку на вузол завантажується детальна інформація (опис, медіа-файли) у бічну панель через AJAX-запит.
7. Пошукова підсистема: Реалізує повнотекстовий пошук за назвами та описами вузлів з підсвічуванням результатів на графі.

## Висновки

Результатом роботи є повноцінна веб-система для створення та перегляду семантичних карт. Проект демонструє ефективність графової візуалізації для представлення складної інформації та має практичне застосування в освітніх системах (для побудови карт курсів), наукових дослідженнях (візуалізація цитувань) та бізнес-аналітиці.

Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію алгоритмів машинного навчання для автоматичного вилучення сутностей і зв'язків з текстових документів.

## Література (References)

1. T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila, "The Semantic Web," *Scientific American*, vol. 284, no. 5, pp. 34–43, 2001.
2. *Django Documentation*. [Online]. Available: <https://docs.djangoproject.com/>. [Accessed: Dec. 02, 2025].
3. *PostgreSQL Documentation*. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/docs/>. [Accessed: Dec. 02, 2025].
4. A. A. Hagberg, D. A. Schult, and P. J. Swart, "Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX," in *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*, Pasadena, CA USA, 2008, pp. 11–15.
5. *Vis.js Network documentation*. [Online]. Available: <https://visjs.org/>. [Accessed: Dec. 02, 2025].

# Ідентифікація особи на цифровому зображенні із використанням машинного навчання

Книш Владислав

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна  
knysh.vladyslav@comp-sc.if.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто проблему повторної ідентифікації особи (Person Re-ID) на цифрових зображеннях в умовах оклюзій. Запропоновано архітектуру SCING, що поєднує параметрично-ефективне налаштування підказок (Prompt Tuning) моделі CLIP із модулями селективної інжекції візуальних ознак (SVIP) та узгодження стійкості до збурень (PDCA). Експериментально підтверджено, що розроблена модель забезпечує Rank-1 = 87.02% на датасеті Market-1501 та Rank-1 = 54.39% на Occluded-Duke при навчанні лише 1.6% параметрів (2М з 127М), зменшуючи витрати GPU-пам'яті у 3 рази порівняно з повним донавчанням.

**Ключові слова:** Person Re-ID, CLIP, Prompt Tuning, оклюзії, параметрична ефективність

## 1 Вступ

Об'єктом дослідження є процеси ідентифікації особи на цифрових зображеннях. Предмет дослідження — методи адаптації візіо-мовних моделей для задачі повторної ідентифікації особи (Person Re-ID) в умовах часткових перекриттів. Актуальність визначається необхідністю вирішення конфлікту між високою точністю глибоких нейронних мереж та їхньою обчислювальною складністю, що обмежує впровадження на мобільних та edge-пристроях.

Мета роботи: розробка параметрично-ефективного методу адаптації попередньо навченої моделі CLIP до задачі Person Re-ID із забезпеченням стійкості до оклюзій.

Методи дослідження включають порівняльний аналіз архітектур Vision Transformer та методів Prompt Tuning, експериментальну перевірку на стандартних датасетах Market-1501 та Occluded-Duke, візуальний аналіз простору ознак через t-SNE. Новизна отриманих результатів полягає у розробці модуля SVIP з адаптивним механізмом шлюзування та алгоритму PDCA для забезпечення консистентності вбудовувань чистих та збурених зображень.

Практична значущість роботи полягає у створенні методу, який дозволяє навчати моделі Person Re-ID на споживчій апаратурі (MacBook Pro з Apple M2) без потреби у серверних GPU.

## 2 Аналіз проблеми та існуючих підходів до Person Re-ID

Задача Person Re-ID полягає у повторній ідентифікації особи на зображеннях з різних камер за візуальними ознаками. Основні виклики включають варіативність ракурсів, освітлення та часткові перекриття тіла (оклюзії) [1, 2].

Сучасні методи повного донавчання (TransReID, MGN) досягають високої точності (Rank-1 > 90%), однак потребують навчання 100% параметрів та значних обчислювальних ресурсів [3, 4]. Альтернативні підходи на базі Prompt Tuning (CoOp) адаптують лише текстові підказки, досягаючи Rank-1  $\approx$  79% при 0.08% навчальних параметрів [5].

Візіо-мовна модель CLIP, навчена на 400М пар зображення-текст, формує якісні семантичні вбудовування, однак у режимі zero-shot демонструє критично низьку точність на Person Re-ID: Rank-1 = 8.49% на Market-1501, що зумовлено відсутністю дискримінативної метричної структури для розрізнення ідентичностей осіб [6].

## 3 Розробка та експериментальна оцінка архітектури SCING

Запропонована архітектура SCING реалізується у три компоненти з двоетапним протоколом навчання.

Перший компонент — PromptLearner — генерує 4 навчальні контекстні токени розмірністю 512, які інжектуються у текстовий енкодер CLIP замість фіксованих підказок. Це дозволяє адаптувати текстову модальність до домену Re-ID через функції втрат CrossEntropy та Triplet [7].

Другий компонент — модуль SVIP (Selective Visual-to-Prompt Injection) — застосовує MLP з bottleneck архітектурою (512 $\rightarrow$ 128 $\rightarrow$ 512) для генерації індивідуальних gate коефіцієнтів  $\alpha \in (0,1)^{512}$  для селективної фільтрації візуальних ознак. Навчені gate values демонструють помірну стратегію зважування ( $\mu = 0.502$ ,  $\sigma = 0.037$ ) із cross-dataset consistency [8].

Третій компонент — алгоритм PDCA (Perturbation-Driven Consistency Alignment) — забезпечує узгодження вбудовувань чистих та збурених (RandomErasing, ColorJitter) версій зображень через KL-дивергенцію, що підвищує стійкість до оклюзій [9, 10].

Експериментальна перевірка проведена на Apple M3 Max (128 ГБ Unified Memory). На датасеті Market-1501 SCING досягає Rank-1 = 87.02%, mAP = 73.93%, перевершуючи ResNet-50 IDE (84.92%) та CoOp (79.45%) при навчанні лише 2М параметрів (1.6%). На Occluded-Duke з 40-60% оклюзій досягнуто Rank-

$I = 54.39\%$ , що є покращенням у 29.2 рази порівняно з zero-shot CLIP (1.86%). Візуальний аналіз через t-SNE підтвердив формування task-specific метричного простору: Silhouette Score покращення на +323.7% (з -0.195 до 0.437). Витрати GPU-пам'яті становлять 8 ГБ замість 24 ГБ для повного донавчання (зменшення у 3 рази).

## Висновки

У ході дослідження підтверджено відповідність результатів сучасному науково-технічному рівню: SCING досягає 95.4% точності TransReID (87.02% vs 91.20%) при використанні лише 1.6% параметрів. Модуль PDCA забезпечує зменшення відносного падіння точності при оклюзіях вдвічі (з 78.1% для CLIP до 37.5% для SCING). Розроблений метод довів ефективність параметрично-ефективного підходу для Person Re-ID, демонструючи потенціал для впровадження у системи відеоспостереження та аналітики на edge-пристроях. Перспективи подальшого розвитку включають розширення методу на Vehicle Re-ID, оптимізацію через INT8 quantization та дослідження крос-доменної адаптації.

## Список використаної літератури

- [1] A. Bhuiyan, M. Rahman, M. T. R. Laskar, A. An, i J. X. Huang, «Evolution of ReID: From Early Methods to LLM Integration», 2025, arXiv. doi: 10.48550/ARXIV.2506.13039.
- [2] Q.-H. Che, L.-C. Nguyen, D.-T. Luu, i V.-T. Nguyen, «Enhancing person re-identification via Uncertainty Feature Fusion Method and Auto-weighted Measure Combination», Knowl.-Based Syst., вип. 307, с. 112737, Січ 2025, doi: 10.1016/j.knosys.2024.112737.
- [3] Y. Huang i J. Ding, «Occluded Person Re-Identification via Multi-Branch Interaction», Sensors, вип. 25, с. 6526, Жов 2025, doi: 10.3390/s25216526.
- [4] B. Li et al., Vision Transformer for Robust Occluded Person Reidentification in Complex Surveillance Scenes. 2025. doi: 10.48550/arXiv.2510.27677.
- [5] Z. Wang, «Enhancing Global Features with Fine-Grained Local Features for Occluded Person Re-identification», Appl. Comput. Eng., вип. 196, с. 96–103, Жов 2025, doi: 10.54254/2755-2721/2025.LD28502.
- [6] Z. Yu et al., «MV-ReID : 3D Multi-view Transformation Network for Occluded Person Re-Identification», Knowl.-Based Syst., вип. 283, 2024, Дата звернення: 27, Листопад 2025. [Online]. Доступний у: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hh:diva-52204>
- [7] Z. Zheng, X. Wang, N. Zheng, i Y. Yang, «Parameter-Efficient Person Re-Identification in the 3D Space», IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst., вип. PP, Жов 2022, doi: 10.1109/TNNLS.2022.3214834.

- [8] «ENTIRE-ID: An Extensive and Diverse Dataset for Person Re-Identification». Дата звернення: 27, Листопад 2025. [Online]. Доступний у: <https://arxiv.org/html/2405.20465v1>
- [9] S. N. Ferdous і X. Li, «Robust Ensemble Person Re-Identification via Orthogonal Fusion with Occlusion Handling», *Image Vis. Comput.*, вип. 146, Квіт 2024, doi: 10.1016/j.imavis.2024.105010.
- [10] G. Liu, K. Xu, J. Zhu, Y. Ge, і X. Chen, «A local-global transformer-based model for person re-identification», *PLOS One*, вип. 20, вип. 11, с. e0335848, Лис 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0335848.

# Браузерний застосунок для управління персональними фінансами з AI-модулем рекомендацій

Желіховська Тетяна

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

tetiana.zhelikhovska.22a@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі представлено веб-застосунок для управління персональними фінансами, що поєднує функціонал аналізу доходів і витрат та модуль рекомендацій на основі штучного інтелекту. Застосунок дозволяє користувачам додавати фінансові операції за категоріями, переглядати статистику у вигляді інтерактивних графіків, встановлювати ліміти витрат і отримувати автоматичні попередження у разі їх перевищення. Реалізовано механізм експорту даних за вибраний період у форматі CSV, що спрощує подальший аналіз або імпорт в інші системи. Додатково розроблено профіль користувача з можливістю персоналізації фінансових налаштувань. Інтегрований AI-модуль на базі OpenAI генерує персоналізовані поради щодо оптимізації бюджету на основі поведінкових шаблонів користувача. Дослідження спрямоване на аналіз ефективності поєднання класичних інструментів бюджетування з рекомендаційними системами та оцінку впливу AI-порад на фінансову дисципліну користувачів.

**Ключові слова:** Персональні фінанси, Бюджетування, Веб-застосунок, Штучний інтелект, Рекомендаційні системи, Аналіз витрат.

## Browser-Based Personal Finance Management Application with an AI Recommendation Module

Tetiana Zhelikhovska

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

tetiana.zhelikhovska.22a@pnu.edu.ua

**Abstract.** This paper presents a browser-based personal finance management application that combines standard budgeting tools with an AI-powered recommendation system. The system allows users to record income and expenses across customizable categories, visualize financial activity through interactive charts, and set category-specific spending limits. When a limit is exceeded, the application generates real-time warning notifications displayed next to the analytical charts. A data export module enables users to download categorized expenses for any selected time interval in CSV format. The system also provides user profile customization, including the configuration of financial limits and interface preferences. The integrated AI module, powered by OpenAI, generates personalized financial recommendations based on the user's spending patterns and budget performance. The research focuses on evaluating the effectiveness of combining classical budgeting tools with intelligent recommendation systems and analyzing the impact of AI-driven suggestions on improving users' financial planning habits.

**Keywords:** Personal finance, Budgeting, Web application, Artificial intelligence, Recommendation systems, Expense analysis.

## 1 Вступ

У сучасних умовах швидкого зростання кількості фінансових операцій та переходу до цифрових рішень постає потреба у зручних інструментах для моніторингу та планування персонального бюджету. Браузерні застосунки для фінансового менеджменту дозволяють користувачам контролювати доходи, витрати та фінансові цілі з будь-якого пристрою без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення.

Актуальність роботи зумовлена зростанням інтересу до персональних фінансів та потребою у простих, доступних і водночас інтелектуальних інструментах, що надають персоналізовані рекомендації. Використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяє підвищити якість фінансового планування, зменшити ризики перевитрат і сформувані більш усвідомлений підхід до управління коштами.

Практична значимість запропонованого рішення полягає у створенні доступного веб-інструменту для контролю бюджету, що поєднує базовий функціонал фінансового трекера з персоналізованими рекомендаціями на основі штучного інтелекту.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

У сучасних умовах цифровізації та зростання кількості фінансових операцій користувачі потребують зручних інструментів для контролю персонального бюджету та оперативного аналізу витрат. Онлайн-застосунки для управління фінансами дозволяють відстежувати витрати й доходи, аналізувати структуру бюджету та приймати зважені фінансові рішення на основі статистики [1].

Проведений аналіз наявних застосунків виявив кілька популярних рішень, кожне з яких має свої сильні та слабкі сторони. //до сюда

Wallet (BudgetBakers) [2]: пропонує...

Пропонує широкий набір аналітичних інструментів та багату візуалізацію даних. Однак більшість розширених функцій доступні лише у платній версії, а інтеграція рекомендацій на основі ШІ відсутня.

Moneop [3]: пропонує...

Відзначається простим та інтуїтивним інтерфейсом, що підходить для новачків. Разом із тим, застосунок має обмежені можливості кастомізації категорій та не забезпечує гнучких механізмів контролю лімітів.

Spendee [4]: пропонує...

Має якісну графічну аналітику та підтримує колективне ведення бюджету.

Проте платформа менш придатна для глибокого персонального аналізу та не пропонує автоматизованих порад щодо оптимізації витрат.

Загалом, існуючі рішення забезпечують базовий функціонал для бюджету, проте не поєднують одночасно гнучкого контролю лімітів, зручної візуалізації та персоналізованих рекомендацій на основі штучного інтелекту. Це формує актуальність розробки нового браузерного застосунку, орієнтованого на прозорий бюджетний аналіз і підтримку користувача в прийнятті фінансових рішень.

### **3 Запропоноване рішення**

Запропонований браузерний застосунок спрямований на усунення недоліків існуючих платформ та забезпечення зручного інструменту для моніторингу й керування персональними фінансами. Основна функціональність передбачає можливість додавання доходів і витрат із зазначенням категорій та дат, що дозволяє формувати детальний фінансовий журнал. Для візуального аналізу передбачено графічне відображення витрат із поділом за категоріями, що полегшує відстеження фінансової активності користувача.

Однією з ключових особливостей застосунку є система лімітів: користувач має змогу встановлювати індивідуальні обмеження для кожної категорії витрат, а у випадку їх перевищення біля графіка автоматично з'являється попередження. Це сприяє кращому контролю та формуванню відповідальної фінансової поведінки. Додатково інтегровано модуль AI-рекомендацій, який за допомогою OpenAI API аналізує витрати та формує персоналізовані поради щодо покращення фінансових звичок [5,6].

Застосунок також підтримує експорт даних у формат CSV за вибраний період — тиждень, місяць або рік, що забезпечує можливість зовнішнього аналізу або резервного збереження інформації. Крім того, передбачено налаштування профілю користувача та персональних фінансових лімітів.

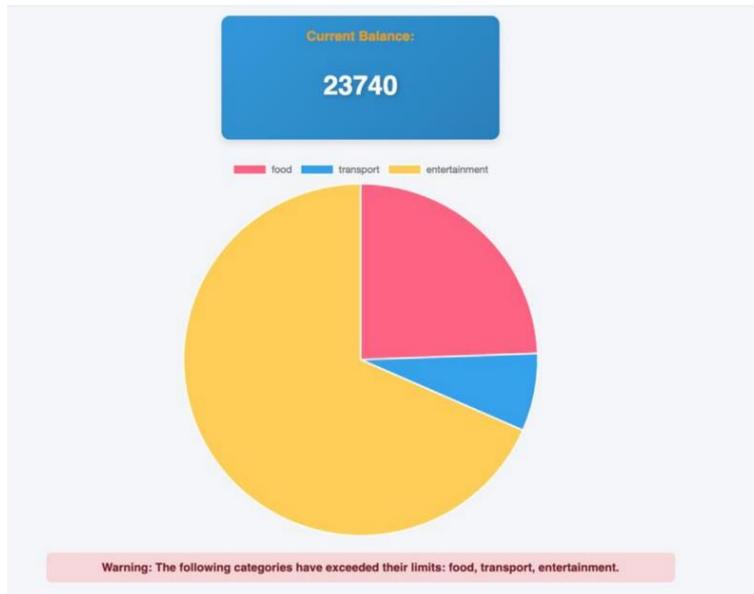


Рис. 1. Сторінка застосунку з діаграмою витрат

## Висновки

У роботі розроблено браузерний застосунок для персонального фінансового менеджменту, що поєднує функції обліку витрат, аналіз категорій, встановлення лімітів та отримання AI-рекомендацій.

Застосунок вирішує проблему відсутності доступних інструментів, які поєднують фінансову аналітику з адаптивними порадами.

## Література (References)

1. Russell S. Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control. New York: Viking Press, 2019.
2. Guerra Pires J. MEAN Stack vs. MANN Stack. Medium. URL: <https://medium.com/gee-kculture/mean-stack-vs-mann-stack-af620c57af4>. Accessed: 20 Nov 2024.
3. Patel M. From Monolithic to Modular Architecture: The MEAN Stack Revolution. Bytes Technolab Inc. URL: <https://www.bytestechnolab.com/blog/from-monolithic-to-modular-architecture-mean-stacks-revolution/>. Accessed: 20 Nov 2024.
4. NVIDIA. What is a Recommendation System? URL: <https://www.nvidia.com/en-us/glossary/recommendation-system/>. Accessed: 30 Nov 2024.
5. MDN Web Docs. URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/>. Accessed: 29 Nov 2024.

# Система управління процесами коворкінг-простору

Марта Бодник<sup>1</sup> та Наталія Превисокова<sup>2</sup>

Карпатський університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна  
marta.bodnyk.22@pnu.edu.ua  
nataliia.prevysokova@pnu.edu.ua

**Анотація.** У статті представлено результати розробки веборієнтованої платформи для автоматизації процесів бронювання у коворкінгах. На основі аналізу існуючих рішень виявлено недоліки ручних методів управління та статичних систем резервування. Запропоновано архітектурне рішення, що поєднує тривірневу модель (React, Node.js, PostgreSQL) з технологією WebSocket для обміну даними в реальному часі. Ключовою особливістю системи є реалізація візуального редактора, який дозволяє адміністраторам динамічно змінювати конфігурацію робочого простору, а користувачам — здійснювати бронювання з прив'язкою до графічної карти приміщення.

**Ключові слова:** коворкінг, система бронювання, візуалізація даних, розподіл ресурсів, вебзастосунок.

## Coworking space management system

Marta Bodnyk<sup>1</sup> and Nataliia Prevysokova<sup>2</sup>

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
marta.bodnyk.22@pnu.edu.ua  
nataliia.prevysokova@pnu.edu.ua

**Abstract.** The article presents the results of developing a web-oriented platform for automating booking processes in coworking spaces. Based on an analysis of existing solutions, the shortcomings of manual management methods and static reservation systems have been identified. An architectural solution is proposed that combines a three-tier model (React, Node.js, PostgreSQL) with WebSocket technology for real-time data exchange. A key feature of the system is the implementation of a visual editor that allows administrators to dynamically change the configuration of the workspace and users to make reservations linked to a graphical map of the premises.

**Keywords:** coworking, booking system, data visualization, resource allocation, web application.

## 1 Вступ

Трансформація сучасного ринку праці призвела до того, що коворкінги стали невід'ємною частиною інфраструктури для фрилансерів та віддалених команд. Проте, як показують дослідження, значна частина операторів цих просторів продовжує використовувати застарілі інструменти управління.

Дослідники у своєму аналізі коворкінгу Nutrihub Makassar зазначають, що використання ручних методів комунікації (наприклад, WhatsApp) для резервації місць створює суттєві операційні ризики [1]. До них належать: відсутність актуальної інформації про вільні слоти, помилки "людського фактора" та неможливість вести точну статистику завантаженості. До того ж текстовий опис часто не відповідає очікуванням клієнта, що знижує рівень сервісу. Метою цієї роботи є створення системи «TimeGuard», яка розв'язує зазначені проблеми шляхом впровадження цифрового двійника приміщення, де кожна зміна фізичного розташування меблів може миттєво відображатися у програмному інтерфейсі.

## 2 Аналіз проблеми

Основна складність при проектуванні систем бронювання полягає у розв'язанні задачі розподілу ресурсів багаторазового використання. Існуючі наукові підходи, зокрема роботи Ао та Simchi-Levi [3], пропонують складні двоетапні моделі бронювання, які враховують ймовірність "неявки" клієнта та можливість овербукінгу. Однак для коворкінгів критичнішим є не овербукінг, а прозорість: користувач має бачити, де саме він сидітиме (наявність розеток, відстань до проходу у разі надзвичайної ситуації).

## 3 Формулювання завдання

В основу системи «TimeGuard» покладено принцип суворої візуальної відповідності та алгоритми блокування ресурсів у реальному часі, подібні до тих, що використовуються у високонавантажених туристичних системах [2].

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- розробити масштабовану архітектуру вебзастосунку,
- реалізувати механізм візуального редагування карти приміщення,
- забезпечити синхронізацію бронювань у реальному часі для уникнення колізій.

## 4 Архітектура системи автоматизованого бронювання

Система TimeGuard побудована на трирівневій архітектурі, що забезпечує розділення обов'язків та масштабованість:

- Рівень представлення. Розроблено з використанням React та Tailwind CSS. Така комбінація забезпечує адаптивний інтерфейс користувача та швидкий рендеринг динамічних компонентів.
- Рівень логіки. Реалізовано на Node.js. Він відповідає за бізнес-логіку, автентифікацію та валідацію даних.
- Рівень даних. PostgreSQL використовується як система управління реляційною базою даних для зберігання даних користувачів, розкладів бронювання та просторових координат меблів.
- Комунікація в реальному часі. Система використовує протокол WebSocket для миттєвої передачі оновлень підключеним клієнтам. Це запобігає сценарію «подвійного бронювання», коли два користувачі намагаються забронювати одне й те саме місце одночасно.

#### 4.1 Візуальний редактор та логіка бронювання

На відміну від традиційних систем на основі списків, TimeGuard містить графічний редактор на базі технологій HTML5 Canvas.

Інтерфейс адміністратора включає модуль перетягування. Кожен об'єкт є сутністю з властивостями координат (x,y), кутом повороту та типом. Спеціальні маркери інфраструктури, такі як розетки та двері, можуть бути розміщені на карті. Ці дані серіалізуються та зберігаються в базі даних як структура JSON.

При відкритті користувачем сторінки бронювання, система відтворює поточне планування. Столи мають кольорове кодування залежно від їхньої доступності для вибраного часового інтервалу. Логіка підтримує як разові, так і періодичні бронювання.

### Висновки

Розроблено веборієнтовану систему для автоматизації процесів бронювання у коворкінгах, її архітектуру. Практичне значення розробки полягає у вирішенні проблеми розбіжності між реальним розташуванням об'єктів та їх відображенням у системі бронювання. Впровадження візуального інтерфейсу знижує адміністративне навантаження та покращує досвід користувачів. Перспективою подальших розробок є інтеграція алгоритмів штучного інтелекту для аналізу "теплових карт" популярності робочих зон.

### References

1. Murni, M., Akib, F., Yusuf, F.: Reservation Information System Using Best-Fit Algorithm at Coworking Space Nutrihub Makassar. *Journal La Multiapp* 6(4), 799–824 (2025).
2. Barua, B., Kaiser, M. S.: Real-Time Performance Optimization of Travel Reservation Systems Using AI and Microservices. *arXiv preprint arXiv:2412.06874* (2024).
3. Ao, R., Fu, H., Simchi-Levi, D.: Two-stage Online Reusable Resource Allocation: Reservation, Overbooking and Confirmation Call. *arXiv preprint arXiv:2410.15245* (2024).

## Веб-платформа обліку та моніторингу студентів вищих навчальних закладів

Кісляк Андрій

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
andrii.kisliak.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** Мета роботи полягає у розробці веб-ресурсу для створення електронної бази даних здобувачів освіти. Програма автоматизує процеси обліку та зберігання даних студентів. Увагу приділено аналізу даних різних категорій студентів. Система дозволяє сортувати та обробляти інформацію про осіб за певними ознаками: форма фінансування чи місце проживання. Реалізовано функцію надання статистичних даних, яка формує наочні звіти про кількісний та якісний склад контингенту.

**Ключові слова:** веб-платформа, моніторинг, аналіз даних, статистичні дані, вищий навчальний заклад.

## Web platform for accounting and monitoring students of higher education institutions

Kisliak Andrii

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
andrii.kisliak.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The aim of the work is to develop a web resource for creating a unified electronic database of students. The software automates the processes of record keeping and storing student information. Attention is paid to the analysis of data across various student categories. The system allows for sorting and processing of information based on specific criteria: funding form, or place of residence. A function for providing statistical data has been implemented, which generates visual reports on the quantitative and qualitative composition of the student body.

**Keywords:** web platform, monitoring, data analysis, statistical data, higher education institution.

## 1 Вступ

Сучасний етап розвитку системи вищої освіти характеризується стрімким зростанням обсягів інформаційних потоків. Ефективне управління вищим навчальним закладом (ВНЗ) сьогодні неможливе без оперативної обробки великих масивів даних, що стосуються особового складу студентів, їхнього соціального статусу, академічної активності та руху контингенту. В умовах цифрової трансформації суспільства застарілі підходи до адміністрування стають головним гальмівним фактором розвитку освітніх установ.

У багатьох закладах процеси обліку досі частково базуються на паперовому документообігу або на використанні децентралізованих електронних таблиць (наприклад, Excel), що зберігаються локально на комп'ютерах різних підрозділів. Такий підхід має низку критичних недоліків: дублювання інформації, висока ймовірність механічних помилок ("людський фактор"), складність верифікації даних та низький рівень захисту персональної інформації.

Мета цієї роботи полягає у проектуванні та програмній реалізації спеціалізованої веб-платформи для комплексного обліку та моніторингу студентів. Основний фокус дослідження зосереджено на створенні централізованого інструментарію, який не лише автоматизує рутинні операції збору та зберігання даних, але й трансформує їх у якісну статистичну аналітику.

Актуальність розробки зумовлена необхідністю впровадження підходів, що базуються на даних, у менеджмент освіти. Перехід до веб-орієнтованої архітектури дозволить об'єднати розрізнені дані про різні категорії здобувачів освіти (бюджет/контракт, пільгові категорії, іноземні студенти) в єдину екосистему, забезпечуючи прозорість процесів, швидкий доступ до інформації та підвищення ефективності управління навчальним закладом в цілому.

## 2 Проектування функціональної архітектури системи

Побудова веб-платформи для обліку студентів базується на трирівневій клієнт-серверній архітектурі. Такий підхід дозволяє чітко розмежувати зони відповідальності компонентів системи: інтерфейс користувача, бізнес-логіку та управління даними. На етапі проектування закладаються принципи модульності та масштабованості, що дозволить системі адаптуватися до змін у навчальному процесі.

### 2.1 Вибір технологічного стека та серверна логіка

Для реалізації серверної частини проекту обрано мову програмування Go. Цей вибір на етапі проектування обґрунтовується необхідністю забезпечення високої продуктивності системи при роботі з великою кількістю одночасних запитів. [1]

Архітектура платформи передбачає побудову API, який стане єдиною точкою входу для всіх операцій з даними. Це дозволить забезпечити надійну валідацію

вхідних даних ще до моменту їх запису в базу. Використання Go дозволяє спроектувати систему як набір легковагових процесів, що забезпечить стабільність роботи навіть у пікові періоди навантаження, наприклад, під час сесії.

## 2.2 Організація зберігання даних

Важливим етапом є проектування схеми бази даних. В якості системи управління базами даних (СУБД) обрано PostgreSQL.

Проектом передбачається створення логічних зв'язків між сутностями системи, що дозволить уникнути дублювання інформації. Основні принципи організації даних включають:

- Неможливість видалення записів про групи чи факультети, доки до них прикріплені студенти – цілісність.
- Розмежування прав доступу на рівні структури БД, що захищає персональні дані від несанкціонованого перегляду – безпека.
- Можливість розширення атрибутів студента без необхідності повної перебудови архітектури – гнучкість.[2]

## Висновки

У ході виконання роботи було проведено аналіз проблем з даними у вищих навчальних закладах та обґрунтовано необхідність створення веб-платформи для обліку та моніторингу здобувачів освіти. Результати дослідження підтверджують, що перехід від децентралізованих паперових та файлових носіїв до єдиного цифрового простору є критичною умовою для модернізації адміністративних процесів ВНЗ.[3]

Запропонована архітектура системи, що базується на використанні високопродуктивної мови Go та надійної СУБД PostgreSQL.

Ключовим досягненням проєкту є зміщення акценту з пасивного накопичення інформації на її активний **аналіз**. Розроблений модуль статистичної обробки даних надає функціонал для моніторингу структури даних в реальному часі. Можливість генерування візуальних звітів (діаграм, графіків) щодо розподілу даних за окремими атрибутами створює підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Практична значущість розробки полягає в оптимізації роботи персоналу, мінімізації помилок при обробці даних.

## References

1. Donovan, A. A., & Kernighan, B. W. (2015). *The Go Programming Language*. Addison-Wesley Professional.
2. Obe, R., & Hsu, L. (2021). *PostgreSQL: Up and Running: A Practical Guide to the Advanced Open Source Database (3rd Edition)*. O'Reilly Media.
3. Daniel, B. K. (Ed.). (2016). *Big Data and Learning Analytics in Higher Education: Current Theory and Practice*. Springer.

## Аналіз систем автоматизації піцерії

Сергій Бедей

Карпатський університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

serhii.bedei.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** Сучасні системи автоматизації піцерій забезпечують ефективну обробку замовлень, управління меню та персоналом, інтеграцію з онлайн-замовленнями та службами доставки, підвищують швидкість обслуговування, зменшують помилки та дозволяють аналізувати продажі й ефективність роботи персоналу. У роботі пропонується розробка системи автоматизації піцерії з простим інтерфейсом, обробкою замовлень, управлінням інвентарем та аналітикою, що забезпечує зручність для персоналу, швидкість обслуговування та оптимізацію внутрішніх процесів закладу.

**Ключові слова:** система автоматизації, автоматизація піцерій, обробка замовлень, хмарне збереження.

## Analysis of Pizza Order Processing Automation Systems

Sergiy Bedey

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

serhii.bedei.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** Modern pizza restaurant automation systems ensure efficient order processing, menu and staff management, integration with online ordering and delivery services, increase service speed, reduce errors, and allow for analysis of sales and staff performance. This paper proposes the development of a pizzeria automation system with a simple interface, order processing, inventory management, and analytics, which provides convenience for staff, speed of service, and optimization of internal processes.

**Keywords:** automation system, pizzeria automation, order processing, cloud storage.

## 1 Вступ

Автоматизація процесів обробки замовлень у закладах громадського харчування є важливою умовою підвищення ефективності роботи та якості обслуговування клієнтів. Зростання конкуренції на ринку ресторанних послуг стимулює заклади, зокрема піцерії, впроваджувати сучасні цифрові рішення, які забезпечують швидкість, точність і контроль бізнес-процесів [1].

У попередніх дослідженнях висвітлено функціонування популярних систем автоматизації — Poster, R-Keeper, iiko та Square POS [1–4]. Проте порівняльний аналіз цих платформ часто подається фрагментарно, без системного розгляду їхніх можливостей, обмежень та технологічної основи.

Актуальність дослідження зумовлена потребою у визначенні ключових характеристик сучасних систем автоматизації піцерій та формуванні вимог до проектування власного рішення на основі існуючого досвіду [1–4].

Загальна проблема полягає в тому, що заклади харчування потребують оптимального інструменту для управління замовленнями, складськими залишками та фінансовими операціями, проте існуючі рішення відрізняються за складністю, вартістю та функціональністю.

## 2 Аналіз існуючих систем обробки замовлень

Для об'єктивного аналізу систем було обрано такі критерії:

- Функціональність — можливості роботи з замовленнями, меню, інвентарем, аналітикою.
- Зручність використання — швидкість навчання персоналу, інтуїтивність інтерфейсу.
- Інтеграції та сумісність — підтримка платіжних сервісів, доставки, хмарне збереження.
- Масштабованість — придатність як для малих піцерій, так і для мережевих закладів.
- Вартість впровадження та підтримки — ліцензії, підписки, додаткові модулі.
- Технологічна основа — типи баз даних, архітектура, підтримка мультиплатформенності.

У роботі здійснено аналіз та порівняння систем Poster, R-Keeper, iiko, Square POS за переліченими критеріями.

Poster. Проста у використанні система, орієнтована на малі та середні заклади. Забезпечує базові функції: оформлення замовлень, KDS, управління меню та аналітику[1]. Має помірну вартість та хмарну архітектуру.

R-Keeper. Професійна комплексна платформа для великих ресторанів. Підтримує складні бізнес-процеси, має глибоку модульність та широкі можливості аналітики [3]. Недолік — висока вартість і складність впровадження.

iiko. Орієнтована на мережеві заклади. Володіє розширеним функціоналом обліку, інвентаризації та автоматизації складних операцій [2]. Проте система є складною для навчання та дорогою.

Square POS. Хмарне мультиплатформне рішення, зручне для малого бізнесу. Забезпечує інтеграції з онлайн-доставкою та платіжними сервісами [4]. Недолік — обмежений функціонал у порівнянні з професійними системами.

Результати порівняння: за функціональністю лідирують iiko та R-Keeper [2–3], за зручністю використання — Poster та Square POS [1,4], за масштабованістю найкращі iiko та R-Keeper [3], за вартістю найдоступніший варіант — Poster [1]. За технологічною основою всі системи використовують сучасні бази даних, серед яких MySQL [5], PostgreSQL [6], MongoDB [7] і Firestore [8].

Хмарні технології забезпечують доступ із різних пристроїв, резервне копіювання і швидку синхронізацію.

## Висновки

Проведений аналіз показав, що існуючі системи автоматизації мають різні переваги та недоліки, які важливо враховувати при виборі рішення для піцерії. Легкі хмарні системи (Poster, Square POS) зручні для невеликих закладів, тоді як комплексні платформи (iiko, R-Keeper) доцільні для мережевих ресторанів.

Отримані результати можуть бути використані для формування вимог до системи автоматизації, яка повинна поєднувати простоту, швидкість, достатню функціональність і можливість масштабування.

## References

1. Poster, Poster POS — cloud-based restaurant & café automation system, [Online]. Available: <https://joinposter.com>. [Accessed 20 Nov 2025].
2. Aiiko, iiko — restaurant automation platform for dining establishments (POS, inventory, analytics, delivery integration), [Online]. Available: <https://iiko.ru>. [Accessed 20 Nov 2025].
3. R-Keeper, R-Keeper — full-scale restaurant management and POS solution, [Online]. Available: <https://rkeeper.ru>. [Accessed 20 Nov 2025].
4. Square, Square POS (Square for Restaurants) — cloud-based POS and restaurant management system, [Online]. Available: <https://squareup.com/en/point-of-sale/restaurants>. [Accessed 20 Nov 2025].
5. MySQL, MySQL — open source relational database management system, [Online]. Available: <https://www.mysql.com>. [Accessed 20 Nov 2025].
6. PostgreSQL, PostgreSQL — advanced open source relational database, [Online]. Available: <https://www.postgresql.org>. [Accessed 20 Nov 2025].
7. MongoDB, MongoDB — document-oriented NoSQL database, [Online]. Available: <https://www.mongodb.com>. [Accessed 20 Nov 2025].
8. Firestore, Cloud Firestore — scalable NoSQL cloud database for mobile, web, and server development, [Online]. Available: <https://firebase.google.com/products/firestore>. [Accessed 20 Nov 2025].

## Моделювання інформаційної системи для пошуку та відтворення аудіоконтенту

Вікторія Толстая, Наталія Превисокова

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

viktoriia.tolstaia.22@pnu.edu.ua  
prevysokova.nataliia@comp-sc.if.ua

**Анотація.** Розглянуто інформаційну систему для пошуку та відтворення музичного контенту, що інтегрує сучасні вебтехнології та зовнішні API. Система надає користувачам функціонал для реєстрації, наскрізного пошуку виконавців і треків, потокового прослуховування, а також формування особистої бібліотеки шляхом додавання композицій до обраного. Архітектура рішення спроектована з урахуванням можливості подальшого масштабування та впровадження алгоритмів персоналізованих рекомендацій.

**Ключові слова:** Вебтехнології, Інформаційна система, Потокове відтворення, API

## Modeling of an Information System for Audio Content Search and Playback

Viktoriia Tolstaia and Nataliia Prevysokova

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine

viktoriia.tolstaia.22@pnu.edu.ua  
prevysokova.nataliia@comp-sc.if.ua

**Abstract.** An information system for searching and playing music content that integrates modern web technologies and external APIs is considered. The system provides users with functionality for registration, end-to-end search for artists and tracks, streaming listening, and building a personal library by adding songs to the favorites. The solution architecture is designed with the possibility of further scaling and implementation of personalized recommendation algorithms in mind.

**Keywords:** Web technologies, Information system, Streaming playback, API

## 1 Вступ

У сучасному цифровому середовищі стрімінгові платформи докорінно змінили моделі споживання аудіоконтенту, ставши основним каналом доступу до музики. Згідно з останнім звітом IFPI, глобальні доходи від записаної музики зростають десятий рік поспіль, а кількість користувачів платних підписок сягнула 752 мільйонів [1]. Таке стрімке зростання підтверджує необхідність дослідження архітектурних рішень, що забезпечують ефективний пошук, каталогізацію та відтворення музичних творів у веб-середовищі.

Однак, незважаючи на популярність комерційних платформ (Spotify, YouTube Music, Deezer), вони функціонують як закриті екосистеми, що суттєво обмежує свободу користувача. Непрозорість алгоритмів рекомендацій часто заганяє слухачів у так звані «інформаційні бульбашки», пропонуючи лише масовий контент і приховуючи реальне різноманіття музики, а політика використання API створює технічні бар'єри для розробки більш гнучких сторонніх клієнтів.

Актуальність дослідження зумовлена потребою у створенні відкритих веб-рішень, які б не лише дозволяли аналізувати методи музичного пошуку, а насамперед пропонували слухачам альтернативні, прозорі підходи до взаємодії з фонотеками. Це дозволить змістити фокус із пасивного споживання, яке нав'язують алгоритми, на свідомий та швидкий відбір контенту під повним контролем користувача.

Метою даного дослідження є аналіз та моделювання вебсистеми для пошуку і прослуховування музики, яка інтегрує зовнішні API та надає прозорий механізм доступу до аудіоконтенту.

Практична значимість роботи полягає у розробці зручного вебсайту, орієнтованого на швидкий доступ до музики та дотримання авторських прав. На відміну від перевантажених рекламою комерційних сервісів, запропоноване рішення дозволяє користувачам миттєво знаходити треки та легально ознайомлюватися з ними через відтворення 30-секундних фрагментів (прев'ю). Реалізована архітектура закладає фундамент для подальшого розвитку системи, що в перспективі дозволить впровадити функції створення власних плейлистів та персональних рекомендацій.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сфера цифрової дистрибуції аудіоконтенту охоплює онлайн-системи, що забезпечують потокове передавання, каталогізацію, пошук та відтворення музичних творів. Основними учасниками предметної області є правовласники (виконавці, лейбли), стрімінгові платформи та слухачі. За даними звіту IFPI, стрімінг наразі генерує 69,0% світових доходів індустрії звукозапису, ставши домінуючою моделлю споживання[1].

Для визначення конкурентного середовища та виявлення недоліків у взаємодії з користувачем були проаналізовані провідні комерційні платформи, що надають доступ до музичних фонотек:

— Spotify [2] Світовий лідер ринку аудіострімінгу, який базується на складних алгоритмах рекомендацій та пропонує доступ до понад 100 мільйонів треків. Переваги: персоналізовані плейлисти (Discover Weekly, Daily Mix); кросплатформеність та інтеграція з різними пристроями; розвинуті соціальні функції (легкий шеринг музики та перегляд активності друзів). Недоліки: «чорна скринька» алгоритмів (користувач не контролює причини рекомендацій); агресивна реклама та обмеження перемикання треків у безкоштовній версії; низька якість звуку (до 160 кбіт/с) та відсутність офлайн-режиму без підписки.

— YouTube Music [3] Платформа від Google, яка тісно інтегрована з відеохостингом YouTube і фокусується на поєднанні офіційних кліпів та аудіотреків. Переваги: величезна база контенту, включаючи неофіційні ремікси та живі виступи; потужний пошук (можливість знайти пісню за текстом); можливість завантаження до 100 000 власних треків. Недоліки: агресивна рекламна політика у безкоштовній версії; недосконалість алгоритмів (змішує історію переглядів відео з музичними вподобаннями); незручна навігація по власній бібліотеці; неповноцінний додаток для телевізорів.

— Deezer [4] Стрімінговий сервіс, який позиціонується як доступний варіант з великою базою контенту. Переваги: велика бібліотека треків; якісні персоналізовані плейлисти; доступна ціна підписки. Недоліки: ліміти на кількість треків у плейлистах; незручна процедура завантаження пісень; якість звуку нижча за Hi-Res стандарти конкурентів.

### **3 Запропоноване рішення**

Система забезпечує користувачам можливість реєстрації та автентифікації. Вона дозволяє здійснювати пошук музичних композицій, виконавців та альбомів через інтеграцію із зовнішнім API, формувати особисту бібліотеку шляхом додавання треків до «Улюбленого» та створювати власні плейлисти. Архітектура рішення спроектована з урахуванням можливості майбутнього масштабування, зокрема для впровадження системи персоналізованих рекомендацій. Засобами веб-технологій та інтерфейсних компонентів було реалізовано зручний та інтуїтивно зрозумілий користувацький інтерфейс системи (рис. 1).

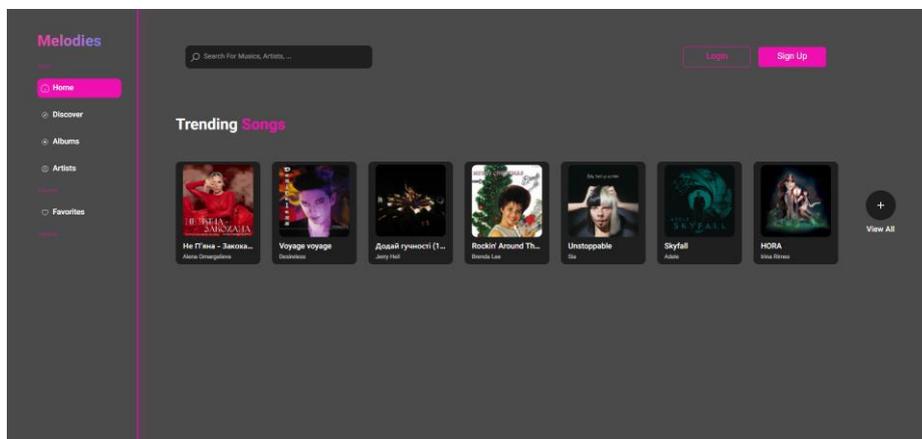


Рис. 1. Макет головної сторінки для пошуку, реєстрації та прослуховування музики

Запропонована інформаційна система забезпечує користувачам можливість реєстрації та автентифікації, наскрізного пошуку музичних композицій, виконавців і альбомів через зовнішні API, а також створення власних плейлистів і додавання треків до бібліотеки «Улюбленого». Вебінтерфейс реалізовано на основі React та TypeScript [5,6], а серверна частина — на Node.js із використанням хмарної платформи Supabase [7,8] для зберігання даних профілів, що гарантує високу продуктивність та масштабованість. Архітектура рішення спроектована з урахуванням можливості подальшої інтеграції модуля рекомендацій для персоналізації користувацького досвіду.

## Висновки

У результаті дослідження було вирішено завдання зі створення концепції та моделювання вебсистеми для пошуку і прослуховування музичного контенту, яка поєднає можливості агрегації треків із зовнішніх джерел та базові інструменти персоналізації.

Запропонована система вирішує актуальні проблеми користувачів сучасних стрімінгових платформ, а саме: надає відкритий доступ до пошуку музики без нав'язливої реклами та забезпечує можливість формування особистої колекції шляхом збереження улюблених треків. Використання сучасного стеку технологій (React, TypeScript, Node.js, Supabase) дозволило реалізувати швидкий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із потенціалом для масштабування.

Перспективи подальшого розвитку охоплюють реалізацію гнучкого керування плейлистами, поглиблення інтелектуальних можливостей системи (впровадження алгоритмів для персоналізованих рекомендацій), а також розробку модуля аналітики музичних вподобань користувача.

## References

1. "Global Music Report 2025: State of the Industry," IFPI, [Online]. Available: [https://www.ifpi.org/wp-content/uploads/2024/03/GMR2025\\_SOTI.pdf](https://www.ifpi.org/wp-content/uploads/2024/03/GMR2025_SOTI.pdf). [Accessed 04 12 2025].
2. "Advantages and Disadvantages of Spotify," Tech Quintal, [Online]. Available: <https://www.techquintal.com/advantages-and-disadvantages-of-spotify/>. [Accessed 04 12 2025].
3. "Understanding the Advantages and Disadvantages of Youtube Music," La Paloma Project, [Online]. Available: <https://www.lapalomaproject.com/understanding-the-advantages-and-disadvantages-of-youtube-music>. [Accessed 04 12 2025].
4. "What is the disadvantage of Deezer," MusConv, [Online]. Available: <https://mus-conv.com/what-is-the-disadvantage-of-deezer/>. [Accessed 04 12 2025].
5. "About React" [Online]. Available: <https://legacy.reactjs.org/>. [Accessed 04 12 2025].
6. "About TypeScript" [Online]. Available: <https://www.typescriptlang.org/>. [Accessed 04 12 2025].
7. "Node.js," [Online]. Available: <https://nodejs.org/en>. [Accessed 04 12 2025].

## **Веб-застосунок для організації бібліотеки та інтерактивного спілкування з персонажами творів на основі алгоритмів штучного інтелекту**

Любов Турчин<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студентка, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

liubov.turchyn.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Представлено розробку веб-застосунку, який поєднує функціонал електронної бібліотеки та систему інтерактивного спілкування з персонажами літературних творів. Проведено аналіз предметної області, визначено недоліки існуючих рішень та обґрунтовано вибір технологічного стеку для реалізації проекту. Основна увага зосереджена на використанні алгоритмів штучного інтелекту для створення реалістичних діалогів, а також на організації структурованої бази даних творів із зручним інтерфейсом для користувача.

**Ключові слова:** Бібліотека, Веб-застосунок, Генерація діалогів, Інтерактивне спілкування, Штучний інтелект.

## **Web Application for Library Organization and Interactive Communication with Literary Characters Based on Artificial Intelligence Algorithms**

Liubov Turchyn<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

liubov.turchyn.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper presents the development of a web application that combines the functionality of an electronic library and an innovative system of interactive communication with characters from literary works. An analysis of the subject area was conducted, the shortcomings of existing solutions were identified, and the choice of the technology stack for the project implementation was justified. This development focuses on the use of artificial intelligence algorithms to create realistic dialogues, as well as on the organization of a structured database of works with a user-friendly interface.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Communication, Dialog Generation, Interactive Library, Web Application.

## 1 Вступ

У сучасному світі швидкий розвиток інформаційних технологій кардинально змінює способи сприйняття літератури, навчання та організації власної бібліотеки. З появою цифрових платформ користувачі отримали можливість не лише зберігати інформацію про прочитані книги, а й аналізувати свої читацькі звички, відслідковувати прогрес та отримувати рекомендації щодо нових творів. Проте більшість існуючих платформ обмежується базовим функціоналом [1-3]: веденням списків книг, статистикою прочитаного та можливістю оцінки творів. Водночас сучасні користувачі шукають більш інтерактивні та персоналізовані форми взаємодії з літературою, які дозволяють глибше занурюватися в сюжети та характери персонажів.

Метою дослідження є створення веб-застосунку, який поєднує традиційний функціонал електронної бібліотеки із системою інтерактивного спілкування з персонажами літературних творів на основі алгоритмів штучного інтелекту.

Практичне значення роботи полягає у розробці інструменту, який дозволяє користувачам не лише впорядковувати власну цифрову бібліотеку, але й взаємодіяти з літературним контентом на якісно новому рівні.

## 2 Аналіз предметної області

На ринку існує ряд веб- і мобільних застосунків, що надають можливості для обліку книг та ведення читацької статистики. Найпопулярнішими серед них є Goodreads [1], The StoryGraph [2], Bookly [3] та український Rork [4].

Goodreads [1] надає користувачам величезну базу книг, авторів та відгуків, що робить платформу зручною для пошуку та обміну думками. Проте, попри масштабність та популярність сервісу, він має низку недоліків. Інтерфейс платформи (рис. 1) виглядає застарілим і перевантаженим, що ускладнює навігацію. Система рекомендацій часто є неточною, оскільки базується переважно на оцінках, а не на глибокому аналізі вподобань користувача. Соціальна взаємодія обмежена оцінками та коментарями, без можливостей сучасної інтерактивності, що не дає повноцінного занурення в літературний контент.

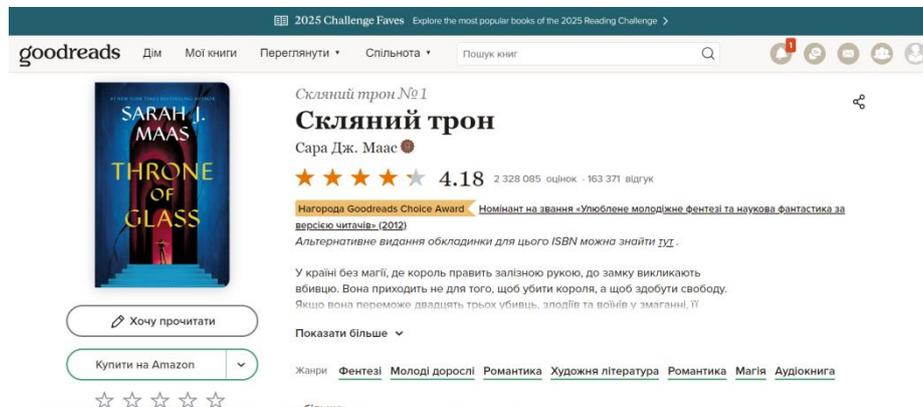


Рис. 7. Головна сторінка Goodreads [1]

The StoryGraph [2] вирізняється сучасним дизайном та потужними інструментами аналітики, зокрема статистикою за жанрами, настроєм твору та читачськими звичками. Проте цей застосунок має слабку соціальну складову, що зменшує інтерактивність і зацікавленість користувачів у спільному обговоренні книг.

Bookly [3] орієнтований на індивідуальний трекінг читання, фіксує час сесій та формує статистику прогресу користувача. Основна перевага цього застосунку – можливість контролювати власну дисципліну читання, однак відсутні інструменти для організації бібліотеки чи інтерактивної взаємодії з літературним контентом.

Rork [4] забезпечує базові функції ведення бібліотеки, нотаток, трекер читання, календаря та спільноти користувачів. Незважаючи на зручність використання, система не пропонує рішень на базі штучного інтелекту, а можливості персоналізації та інтеграції новітніх технологій залишаються обмеженими.

З огляду на проведений аналіз слід відзначити відсутність персоналізованих рекомендацій на основі читацьких вподобань, здебільшого незручне управління бібліотекою та відсутність гейміфікованих елементів мотивації до читання. Ці аспекти стають основою для формування концепції додатку PagePulse, який прагне поєднати класичні функції трекінгу читання та організації бібліотеки з сучасними технологіями на основі штучного інтелекту.

### 3 Запропоноване рішення

PagePulse пропонує комплексне рішення для організації особистої бібліотеки та взаємодії з літературним контентом. Користувач може додавати книги вручну або через інтегровану базу даних, редагувати інформацію, сортувати та фільтрувати видання за жанром, автором, роком чи статусом читання. Для кожної книги доступні нотатки, рецензії та статистика: кількість сторінок, витрачений час і прогрес.

Соціальна складова включає персональні акаунти, підписки, коментарі та реакції, що формує активну спільноту й мотивує до читання.

Ключовою особливістю є чат на основі штучного інтелекту із персонажами книг: користувач може обирати героя й спілкуватися з ним у реальному часі. Алгоритми штучного інтелекту аналізують текст і стиль автора, створюючи відповіді, наближені до характеру персонажа [5].

Рекомендаційна система враховує читацьку історію та вподобання, пропонуючи персоналізовані поради. Елементи гейміфікації – досягнення, прогрес і лічильники – додатково стимулюють активність.

PagePulse поєднує бібліотечні функції, аналітику та інтерактивність, створюючи унікальний цифровий досвід читача. Подальший розвиток передбачає голосову взаємодію, автоматичний переклад, генерацію навчальних завдань і розширення освітніх можливостей.

## **Висновки**

Веб-застосунок PagePulse пропонує комплексне рішення: організацію власної бібліотеки, ведення читацького щоденника та інтерактивне спілкування з персонажами. Алгоритми штучного інтелекту формують реалістичні діалоги, враховують інтереси користувача і пропонують персоналізовані рекомендації.

PagePulse підвищує мотивацію до читання, сприяє розвитку критичного мислення та поєднує традиційні бібліотечні функції з технологіями штучного інтелекту. Адаптивний дизайн і гейміфікація забезпечують зручність і регулярну взаємодію. Платформа має потенціал для подальшого розвитку – зокрема голосової взаємодії, автоматичного перекладу та появу навчальних модулів.

## **Література (References)**

1. Goodreads. Goodreads - Book reviews & recommendations. URL: <https://www.goodreads.com> (date of access: 01.12.2025).
2. The StoryGraph. The StoryGraph - Track your reading and discover new books. URL: <https://www.thestorygraph.com> (date of access: 01.12.2025).
3. Bookly. Bookly - Reading tracker & habit builder. URL: <https://www.getbookly.com> (date of access: 01.12.2025).
4. Український застосунок для читачів. URL: <https://rork.ua> (date of access: 02.12.2025).
5. Jurafsky, D., Martin, J. Speech and Language Processing. (3rd ed.). Draft chapters. URL: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3> (date of access: 01.12.2025).

# Система перевірки якості передачі даних камери та мікрофона на основі алгоритмів машинного навчання

Дмитро Наумець<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
dmytro.naumets.22a@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто проблему автоматичної перевірки готовності користувача до онлайн-занять або екзаменів за допомогою технологій штучного інтелекту. Сучасні навчальні платформи потребують інструментів, які можуть швидко та надійно визначити працездатність камери та мікрофона, а також підтвердити, що користувач знаходиться у кадрі та має достатню якість зображення та звуку. Запропоновано методологію тестування трьох моделей: базової моделі розпізнавання обличчя, моделі аналізу емоцій та лівнес-детекції (поворот голови), а також моделі розпізнавання ключових голосових фраз. Запропоновано концепцію інтерактивного веб-застосунку, який автоматично перевіряє працездатність камери й мікрофону після входу, та приймає рішення щодо допуску користувача до заняття.

**Ключові слова:** Голосове розпізнавання, Комп'ютерний зір, Онлайн-навчання, Перевірка обладнання, Розпізнавання емоцій, Штучний інтелект.

## AI-Based System for Automated Camera and Microphone Verification

Dmytro Naumets<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine  
dmytro.naumets.22a@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** The paper addresses the problem of automatic user readiness verification for online learning and examination platforms. Modern digital education requires systems capable of ensuring that the user has a working camera, functional microphone, proper lighting, and is present in the frame. The proposed methodology includes testing three models of increasing complexity: basic face-detection, emotion and liveness recognition, and speech-phrase verification. A web application concept enabling real-time verification of camera and microphone quality is proposed. The research aims to identify the balance between model accuracy, speed and user convenience.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Computer Vision, Face Recognition, Liveness Detection, Online Education Tools, Voice Verification.

## 1 Вступ

Перевірка обладнання користувачів (камери, мікрофона, освітлення) є критичним елементом сучасних дистанційних платформ – онлайн-курсів, іспитів, співбесід та сертифікаційних тестувань. Наразі такі перевірки часто виконуються вручну або вимагають від користувача додаткових дій, що знижує зручність і збільшує ризик помилок.

Сучасні методи комп'ютерного зору та обробки аудіосигналів дозволяють автоматизувати цей процес. Моделі розпізнавання облич, емоцій, а також лівнес-детекції (поворот голови) широко застосовуються в ідентифікаційних системах [1], тоді як голосове розпізнавання є стандартом у системах верифікації особи [2].

Актуальність роботи полягає у створенні практичного інструменту – веб-застосунку, який автоматично перевіряє камеру та мікрофон користувача за допомогою штучного інтелекту (ШІ), що значно спрощує доступ до онлайн-освітніх платформ.

Метою роботи є розроблення архітектури та програмного забезпечення, що забезпечує комплексний аналіз ефективності різних методів автоматичної перевірки камери та мікрофона, та визначення оптимальних моделей для онлайн-освіти.

Практична значущість – створення універсального механізму автоматичного допуску користувачів до занять або екзаменів на основі аналізу якості відео й аудіо.

## 2 Постановка проблеми та гіпотеза

Проблема полягає у відсутності надійних засобів автоматичної валідації обладнання, які не лише перевіряють доступність периферії, а й аналізують сам сигнал. ШІ-модулі повинні визначити, чи дійсно користувач знаходиться перед камерою, чи коректно розпізнаються емоції, чи звук має достатню чистоту та рівень гучності. Ця різниця між традиційним та ШІ-орієнтованим підходом продемонстрована на рисунку 1.



**Рис. 1.** Концептуалізація перевірки обладнання: традиційна валідація лише фіксує доступність пристрою, тоді як ШІ аналізує сам контент сигналу.

Більшість існуючих рішень не поєднують розпізнавання обличчя, емоцій та голосовий аналіз у межах однієї системи [3]. У роботі перевіряється двокомпонентна гіпотеза. По-перше, очікується, що використання моделей комп'ютерного зору дозволить підвищити точність перевірки камери, порівняно зі стандартними браузерними засобами. По-друге, прогнозується, що голосовий ШІ-модуль зможе надійно оцінити мікрофон навіть при мінімальній кількості навчальних даних, завдяки використанню pretrained-архітектур.

### 3 Запропоноване рішення

Для перевірки гіпотези пропонується створення програмного комплексу, який складатиметься з серверної частини (Node.js) та інтерактивної клієнтської частини (React). У межах дослідження передбачається реалізація двох ключових модулів: ШІ-перевірки камери з використанням детекції обличчя та емоцій, а також ШІ-перевірки мікрофона через голосовий тест із розпізнаванням фрази.

Серверна частина на Node.js виконуватиме інференс моделей комп'ютерного зору та аудіоаналізу і надаватиме API. Node.js забезпечуватиме взаємодію клієнта з ШІ-модулями [4]. Клієнтська частина (React) дозволить користувачу увійти у систему (через електронну пошту, пароль або Google-автентифікацію) та отримати візуальний інтерфейс перевірки обладнання в реальному часі [3].

Веб-застосунок надаватиме можливість автоматично проходити перевірку камери та мікрофона, а у разі успіху – переходити до заняття або іспиту. У випадку помилки система перенаправлятиме користувача на сторінку ручної діагностики.

## Висновки та очікувані результати

Реалізація запропонованого комплексу дозволить отримати кількісні дані щодо точності ШІ-перевірки обладнання порівняно зі стандартними засобами браузера. Очікується, що результати підтвердять ефективність розпізнавання обличчя та голосового аналізу для автоматизованої валідації і продемонструють доцільність використання ШІ-підходів у дистанційних навчальних системах. Створений продукт матиме практичну цінність як інструмент для платформ онлайн-освіти, технічної підтримки та цифрової ідентифікації.

## Література (References)

1. Team, “face-api.js — JavaScript API for face detection and recognition in the browser,” n.d. [Online]. Available: <https://github.com/justadudewhohacks/face-api.js> [Accessed 02.12.2025]
2. Abadi et al., “TensorFlow.js: Machine Learning for the Web,” Google Research, n.d. [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/js> [Accessed 02.12.2025]
3. Singh and P. Bhatia, “Real-time webcam image processing and face detection in browser-based applications,” *Int. J. Web Eng.*, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.00967> [Accessed 02.12.2025]
4. O. Foundation, “Node.js: JavaScript runtime built on Chrome’s V8 JavaScript engine,” n.d. [Online]. Available: <https://nodejs.org/> [Accessed 02.12.2025]

# Problems of the deep learning neural networks output data quality assessment

HALAICHUK Y.V.<sup>1</sup>[0009-0004-1048-9425], MIROSHNYK M.A.<sup>2</sup>[0000-0002-2231-2529]

<sup>1</sup> Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

<sup>2</sup> Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

yurii.halaichuk@student.karazin.ua

**Abstract.** The thesis describes the relevance of using artificial intelligence systems, in particular deep learning neural networks, and analyzes the main problems that arise when evaluating the quality of output data of such networks. The author compares the properties of the output data of previous generation artificial intelligence systems - expert systems and neural networks, highlights their main differences and formulates the set of problems that arise. The main part of the article contains a general description of the research concept aimed at solving these problems. The method consists in improving the processes of evaluating the output data of neural networks by using a prediction model that allows predicting the quality indicators of neural networks at different stages of training and improving the quality of the software that uses them. The object of the study is the process of evaluating output data obtained using deep learning neural networks. As a result of the study, a concept of a possible solution was proposed to improve the ability of independent quality assurance engineers to evaluate neural network output data using a prediction model to obtain predicted accuracy metrics of deep learning neural network output data.

**Keywords:** artificial intelligence, deep learning, expert systems, neural networks, quality assessment, user acceptance testing.

## 1 Introduction

Artificial intelligence (AI) has become a transformative force that has revolutionized the way we approach everything from data analysis to creative content creation. From automated analysis of medical images for early diagnosis of diseases and speech recognition in voice assistants to fraud detection and financial transaction processing in the financial sector, deep learning algorithms are capable of processing complex data and making intelligent decisions. Such software is often domain-driven and developed as ordered by customers, going through the development life cycle from requirements analysis to user acceptance testing (UAT).

A key feature of deep learning neural networks is that such networks continue to learn after the end of their development and initial training, which significantly complicates their testing. At the same time in domain-driven software the deep learning

neural network may be only a small part of its total scope, and UAT of the systems it is used in is performed by teams whose members are specialists in the domain area but are not specialists in machine learning.

## 2 Main part

One of the features of neural networks is that, unlike other algorithms, where the decision-making logic is often transparent, as in the case of expert and scoring systems, neural networks work as complex, interconnected layers of nodes, the inner workings of which are hidden from direct observation. For quality assurance engineers this learning process is a “black box” - hidden process that does not allow to evaluate the correctness of the execution of such an algorithm by checking its internal logic. From this complexity follows the next fundamental problem - the concept of an infinite number of potential outcomes. Unlike traditional algorithms, which provide deterministic results for given input data, neural networks offer a wide and potentially infinite range of possible outcomes. Furthermore, the reliance of neural networks on learning from similar objects is a crucial aspect of their functionality. For example, to recognize certain objects in images, the neural network must have access to a variety of images with similar objects. This paradigm of learning from examples ensures that the network can generalize its knowledge and make accurate predictions on unseen data. However, this reliance on training data creates problems when solving tasks that do not have a sufficiently representative data set, which can potentially lead to inaccurate results due to overfitting or underfitting. In addition, deep learning neural networks continue to learn even after the end of their development and testing processes, which makes it much more difficult to assess the quality of their work with a view to the future. Thus, the following key problems that arise when evaluating the performance of the deep learning neural networks can be identified:

- the potential number of output results (including results that are not the numeric arrays) can be infinite;
- the output data depends on the training epoch of the algorithm - its quality may change with the same input data, which makes the assessment of the quality of such an algorithm also dependent on the degree of its training;
- there are no clearly defined quality criteria for such data as, for example, creative text, images, in-game behavior, which leads to a large proportion of human factors in evaluating this data.

Thus, for testing expert systems with 100% accuracy in estimating the output data, it is usually sufficient to use the method of boundary values and the method of equivalent classes, which allow covering the entire spectrum of possible results. However, the complexities associated with assessing the performance of deep learning neural networks require a more complex approach. A brief description of research aimed at solving such a problem might look like this:

1. Software implementation of an existing open-source simple neural network classifier (a simple classifier in order to isolate the problem of the dependence of the output result on training epoch from the problems of the infinite possible results and the role

of the human factor in evaluation) with a sufficient set of available training data (network a).

2.Division of the training data of the network into three parts - training, validation, and experimental.

3.Using a training dataset to train a neural network a.

4.Using the validation dataset to gather the values of accuracy and validation loss function on n epochs (iterations) of network training with different training data configurations.

5.Application of software and mathematical methods for the development and implementation of a prediction model (network b).

6.Training network b on the accuracy and validation loss values obtained during testing network a.

7.Application of network b to predict accuracy and validation loss function values during further training of network a.

8.Conducting an experiment using an experimental dataset that emulates further training of network a and comparing the obtained real data with the prediction results of network b.

Success can be considered the ability of the resulting prediction model to predict the trend of changes in accuracy and the validation loss function values for different configurations of training data when compared with the actual obtained results. Such a tool can provide specialists involved in independent testing of the neural network algorithm, for example, during user acceptance testing, with the opportunity to justify the need for further modification or training of the neural network.

## Conclusions

The main problems that arise when evaluating the output data obtained as a result of the work of neural networks are indicated. A comparative analysis of the output data of neural networks and artificial intelligence systems based on knowledge bases is carried out, highlighting key differences that affect the accuracy of assessing the quality of such data. An example of a possible study aimed at helping to solve one of the described problems is provided.

## References

1. Hossain, E. (2024). Machine Learning Crash Course for Engineers. Eklas Hossain. 453 p.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning (monograph). Cambridge: MIT Press. 800 p.
3. Lad, D. (2022). Testing of Neural Networks (Master's thesis). Rochester Institute of Technology.
4. Ponakala, R. (2019). Testing Deep Neural Networks for Classification Tasks Through Adversarial Perturbations on Test Datasets (Preprint). Thesis Commons. Retrieved from <https://osf.io/preprints/thesiscommons/r7wcn> (Accessed: 11.08.2024).
5. Ranjan, S. S. (2016). F1 Score Analysis of Search Engines (Working paper). ResearchGate. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/310850091\\_F1\\_Score\\_Analysis\\_of\\_Search\\_Engine](https://www.researchgate.net/publication/310850091_F1_Score_Analysis_of_Search_Engine).

## Візуальна новела

Гоян Олександр<sup>1</sup>, Михайло Петришин<sup>2</sup> [0000-0001-6319-3768]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
oleksandr.hoian.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., доцент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-  
Франківськ; Україна  
m.l.petryshyn(at)pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі представлено підхід до створення інтерактивної візуальної новели “Eternal Sleep”, зорієнтованої на передачу емоційного нарративу та вплив користувацького вибору на розвиток подій. Проект реалізовано на базі рушія Godot Engine, що забезпечує сцено-орієнтовану архітектуру, систему діалогів, механіку гілок рішень та можливість зміни настрою сцен. Досліджено особливості побудови сюжетних відгалужень, взаємодії інтерфейсу та візуального стилю для досягнення емоційної залученості гравця.

**Ключові слова:** Інтерактивний сюжет, діалогова система, вибір гравця

## Information System for Publishing Literary Works With AI-based Text Moderation and Web Interface

Hoian Oleksandr<sup>1</sup>, Mykhailo Petryshyn<sup>2</sup> [0000-0001-6319-3768]

<sup>1</sup> 1 student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
oleksandr.hoian.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
m.l.petryshyn(at)pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper presents an approach to the development of an interactive visual novel “Eternal Sleep”, focused on delivering emotional narrative experiences and enabling player choices to influence the progression of events. The project is implemented using the Godot Engine, which provides a scene-based architecture, a dialogue system, branching decision mechanics, and dynamic mood-based scene transitions. The study explores methods of constructing non-linear story branches, as well as the interaction between interface elements and visual style to achieve emotional engagement of the player..

**Keywords:** Interactive Storyline, Dialogue System, Player Choice

## 1 Вступ

У сучасному цифровому середовищі, де інтерактивні форми подачі інформації займають важливе місце у сфері медіа та розваг, зростає попит на нарративні ігрові продукти, що забезпечують глибоке емоційне занурення користувача. Візуальні новели поєднують літературний стиль викладу з механікою вибору, що робить читача активним учасником подій та дозволяє формувати перебіг сюжету відповідно до прийнятих рішень [1].

Актуальність дослідження полягає у підвищенні зацікавленості аудиторії у сюжетно-орієнтованих продуктах, а також у необхідності розвитку підходів до створення нелінійних інтерактивних історій.

Метою даної роботи є розробка епізодичної візуальної новели “Eternal Sleep” із системою розгалуженої нарративної структури, вибору користувача та змінною атмосферою сцен.

Практичне значення проекту полягає у створенні ігрового прототипу, що реалізує базовий нарратив, діалогові механіки, настроєві переходи та UI-компоненти. Застосовані технічні рішення дозволяють масштабувати програмний продукт у повноцінну гру із розширеним набором функцій та сценарних варіацій.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Візуальні новели є окремим класом інтерактивних творів, у яких основою є текстове оповідання, ілюстрації та вибір, що впливає на подальший розвиток подій. Ринок візуальних новел представлений значною кількістю продуктів, однак серед них виділяються проекти, що стали орієнтиром для розвитку жанру.

### 2.1 Doki Doki Literature Club[2]

Популярна нарративна гра, що поєднує візуальну новелу з емоційним психологічним впливом.

Переваги:

- сильний сюжетний контраст та глибока драматургія;
- взаємодія з очікуваннями гравця;
- стилістичне поєднання легкого сетингу та важких тем.

Недоліки:

- обмеженість варіативності вибору;
- переважно лінійна структура.

## 2.2 Long Live the Queen[3]

Візуальна новела з елементами симулятора правительки, де гравець керує рішеннями юної принцеси та наслідками її політичних і особистих виборів.

Переваги:

- Висока реплейбійність;
- Значна кількість альтернативних сюжетних ліній та кінцівок;
- Виразний емоційний вплив через постійний ризик невдачі персонажа.

Недоліки:

- Підвищена складність для нових гравців;

## 2.3 Steins;Gate [4]

Науково-фантастична візуальна новела з акцентом на вибір та наслідки Переваги:

- Складний та глибокий сюжет;
- Якісний психологічний розвиток персонажів.

Недоліки:

- Складність сприйняття для нових гравців.

## 3 Запропоноване рішення

Розроблена система забезпечує можливість послідовного проходження сюжетних сцен із варіативністю вибору, що впливає на подальший розвиток подій та настроїв персонажів. Гравець отримує доступ до інтерактивних діалогових блоків, де кожне рішення коригує колірну схему, музичний супровід та емоційний фон подальших сцен. Сюжет побудовано за епізодичним принципом, що дозволяє розширювати гру новими розділами без зміни основної структури.

Діалоговий текст, варіанти вибору та внутрішня логіка переходів зберігаються у зовнішніх JSON-файлах, що спрощує редагування, локалізацію та масштабування. Систему побудовано на рушії Godot Engine, де використано сцену архітектуру та компоненти Node2D / Control, що відповідають за відображення персонажів, UI та взаємодію користувача.

Інтерфейс гри реалізовано з акцентом на мінімалістичність та читабельність, забезпечено плавну зміну сцен, появу спрайтів персонажів, обробку кліків та перемикання діалогових блоків. Окремо реалізовано головне меню, яке дозволяє розпочати гру, переглянути налаштування та вийти з неї (рис. 1).



Рис. 8. Головне меню гри “Eternal Sleep”

Запропонована ігрова система забезпечує користувачу можливість обирати варіанти взаємодії у межах кожної сцени, керуючи розвитком сюжету та емоційним станом головного персонажа. Зміна кольорових схем і музичного супроводу відбувається автоматично залежно від обраного сценарного шляху, що підсилює драматургію та занурення у гру [5, 6].

Архітектура проекту розроблена на основі сценової моделі Godot Engine, яка забезпечує модульність, зручність керування ресурсами та швидку розробку інтерактивних компонентів. Зберігання текстових даних та розгалужень реалізовано через JSON-файли, що дає змогу виконувати незалежне редагування сюжету, переклад та масштабування [7].

Інтерфейс побудовано із застосуванням компонентів Control, які відповідають за діалогові вікна, текстові блоки, кнопки вибору та ефекти появи елементів. Це дозволяє забезпечити плавність переходів, чіткість візуального стилю та інтуїтивну взаємодію з гравцем [8].

## Висновки

У результаті розробки створено прототип візуальної новели “Eternal Sleep”, який демонструє базову реалізацію нелінійного наративу, діалогової системи та зміни настрою сцен.

Запропонована система має потенціал для подальшого розвитку за рахунок розширення сюжетних гілок, впровадження системи збережень та інтеграції більш широких UI-модулів.

Перспективи продовження роботи передбачають створення додаткових епізодів, реалізацію мобільної оптимізації та інтеграцію голосового озвучення персонажів.

## References

1. Visual Novels and Interactive Storytelling, [Online]. Available: <https://vndb.org>. [Accessed 20 11 2025].
2. Team Salvato, Doki Doki Literature Club, [Online]. Available: <https://ddlc.moe>. [Accessed 20 11 2025].
3. Hanako Games, "Long Live the Queen," [Online]. Available: <https://www.hanako-games.com/llq.shtml>. [Accessed 20 11 2025].
4. "STEINS;GATE," [Online]. Available: <https://store.steampowered.com/app/412830/STEINSGATE/>. [Accessed 20 11 2025].
5. Godot Engine – Official Documentation, [Online]. Available: <https://docs.godotengine.org>. [Accessed 20 11 2025].
6. Godot: Scene System Overview, [Online]. Available: [https://docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/scripting/scene\\_tree.html](https://docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/scripting/scene_tree.html). [Accessed 20 11 2025].
7. UI and Control Nodes in Godot, [Online]. Available: <https://docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/ui/index.html>. [Accessed 20 11 2025].
8. A. Miller, Player Choice and Narrative Consequences in Games, *Journal of Game Design*, vol. 7, no. 2, pp. 45–60, 2022.

# Система управління мережею закладів харчування із рекомендаціями на основі алгоритмів штучного інтелекту

Артур Олексюк<sup>1</sup> та Артем Ізмайлов<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ; Україна  
artur.oleksiuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., старший викладач, Карпатський національний університет імені Василя  
Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Анотація.** Представлено веб-платформу для комплексного управління мережею закладів харчування, що об'єднує аналітичні модулі, інтерактивні макети приміщень та рекомендаційні системи на основі штучного інтелекту. Платформа підтримує персоналізовані поради для клієнтів та допомогу менеджерам і власникам закладів у прийнятті рішень. Система забезпечує прогнозування попиту, оптимізацію ресурсів та планування розміщення столів, підвищуючи ефективність роботи закладу та якість обслуговування.

**Ключові слова:** Веб-платформа, Інтерактивні макети, Персоналізовані рекомендації, Управління закладом харчування, Штучний інтелект.

## Management System for a Network of Food Service Establishments with AI-Based Recommendations

Artur Oleksiuk<sup>1</sup> and Artem Izmailov<sup>2</sup>[0000-0002-6165-7490]

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artur.oleksiuk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk; Ukraine  
artem.v.izmailov@gmail.com

**Abstract.** This work presents a web platform for comprehensive management of a network of food service establishments, combining analytical modules, interactive floor plan editors, and artificial intelligence-based recommendation

systems. The platform supports personalized suggestions for customers and assists managers and owners with decision-making. The system provides demand forecasting, resource optimization, and table layout planning, enhancing operational efficiency and service quality.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Interactive Floor Plans, Personalized Recommendations, Restaurant Management, Web Platform.

## 1 Вступ

У сучасну епоху цифрових технологій та зростаючих вимог клієнтів до якості обслуговування і персоналізації, ефективне управління мережею закладів харчування стає критично важливим для успіху. Зростає потреба в інтелектуальних системах управління, які можуть підтримувати прийняття обґрунтованих рішень, оптимізувати операційну діяльність та покращувати досвід як для персоналу, так і для відвідувачів [1-3].

Актуальність дослідження зумовлена тим, що більшість існуючих платформ управління закладами харчування зосереджені на стандартних операціях і включають лише обмежені функції штучного інтелекту (ШІ), застосовані у вузьких контекстах. Існує необхідність у рішенні, яке комплексно інтегрує ШІ-аналітику та самонавчальні модулі для прогнозування попиту, оптимізації персоналу та персоналізації рекомендацій для клієнтів, чого не забезпечують класичні POS-системи [1-3].

Метою даного дослідження є створення інтелектуальної системи для мережі закладів харчування з інтегрованими ШІ-алгоритмами рекомендацій, що сприяє підвищенню операційної ефективності та забезпечує персоналізований і високоякісний досвід для клієнтів.

Практична значимість запропонованої платформи полягає у створенні інтуїтивного інструменту, який дозволить власникам мереж і менеджерам централізовано контролювати кілька закладів, підвищувати прибутковість мережі, а також забезпечувати персоналізований досвід для клієнтів через ШІ-рекомендації.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Ринок інструментів для управління мережею закладів харчування представлений широким спектром POS-систем, проте більшість із них орієнтована на стандартні операції та має обмежені можливості інтелектуального аналізу даних. Наприклад, Choice пропонує базові функції обліку, але не підтримує інтеграцію алгоритмів ШІ [1]. Poster частково використовує ШІ через модуль Postie AI Assistant, проте його можливості зосереджені переважно на автоматизації рутинних процесів, а не на глибокому аналізі чи рекомендаційних механізмах [2].

Професійні рішення, такі як Paupit, забезпечують комплексне управління персоналом, фінансами й операціями, однак не містять інструментів для аналізу меню або формування рекомендацій на основі даних про продажі [3]. Також

поширені POS-системи не підтримують створення інтерактивних макетів приміщень, що ускладнює візуальне бронювання та планування залу.

Отже, наявні рішення не забезпечують цілісного підходу, який поєднував би централізоване управління, інтелектуальні аналітичні модулі та інтерактивні інструменти роботи із залом. Це формує потребу у комплексній системі нового типу, здатній об'єднати ці можливості в єдиному середовищі.

### 3 Запропоноване рішення

Для усунення обмежень, притаманних наявним системам, пропонується створення багатокомпонентного веб-рішення для комплексного управління мережею закладів харчування. Загальна архітектура системи подана на рисунку 1. Архітектура системи поєднує можливості сучасних веб-технологій та модулів ШІ, забезпечуючи розширену аналітику та підвищену зручність взаємодії як для менеджерів, так і для клієнтів.

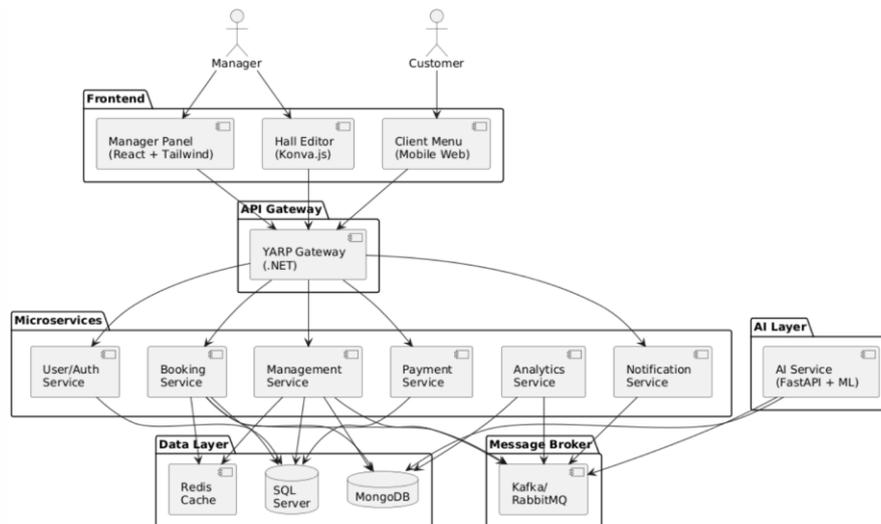


Рис. 1. Архітектура системи управління мережею закладів харчування.

Серверна частина реалізована як мікросервісна архітектура на .NET з YARP Gateway, шістьма спеціалізованими сервісами та Message Broker для асинхронної комунікації [4]. Дані зберігаються в SQL Server і MongoDB, з Redis для кешування [5, 6]. ШІ-модулі працюють на Python (FastAPI) [7].

Клієнтська частина використовує React, Tailwind CSS та Konva.js для редактора схем залу [8, 9, 10].

## Висновки

Запропонована веб-платформа для управління мережею закладів харчування поєднує сучасні веб-технології та модулі ШІ, забезпечуючи персоналізовані рекомендації, аналітику та прогнозування для менеджерів і клієнтів. Інтерактивний конструктор макетів та зручний веб-інтерфейс роблять систему ефективною та доступною.

Подальший розвиток спрямований на покращення ШІ-алгоритмів, розширення аналітичного функціоналу та вдосконалення інструментів взаємодії з користувачами.

## Література (References)

1. ChoiceQR, "Smart solutions for modern restaurants," ChoiceQR, [Online]. Available: <https://choiceqr.com/uk/>. [Accessed 20 11 2025].
2. Poster POS, "Postie AI Assistant," Poster POS, [Online]. Available: <https://joinposter.com/ua/tour/addons/postie>. [Accessed 20 11 2025].
3. PayKit, "PayKit - POS system to automate your business," PayKit, [Online]. Available: <https://paykitpos.com/>. [Accessed 20 11 2025].
4. Microsoft, "ASP.NET Web API," Microsoft Docs, [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/web-api/>. [Accessed 21 11 2025].
5. Microsoft, "SQL Server Documentation," Microsoft Docs, [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/sql-server/>. [Accessed 21 11 2025].
6. MongoDB, "MongoDB Manual," MongoDB, [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/docs/>. [Accessed 21 11 2025].
7. FastAPI, "FastAPI Documentation," FastAPI, [Online]. Available: <https://fastapi.tiangolo.com/>. [Accessed 21 11 2025].
8. React Team, "React – A JavaScript library for building user interfaces," React Team, [Online]. Available: <https://react.dev/learn>. [Accessed 21 11 2025].
9. Tailwind Labs, "Tailwind CSS Documentation," Tailwind Labs, [Online]. Available: <https://tailwindcss.com/docs>. [Accessed 21 11 2025].
10. Konva.js, "Konva Documentation," Konva.js, [Online]. Available: <https://konvajs.org/docs/>. [Accessed 21 11 2025].

## Android-додаток кур'єра служби доставки

Бащук Ростислав

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

rostyslav.bashchuk.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** В роботі проаналізовано існуючі мобільні додатки для кур'єрів служб доставки (Glovo, City Ryder), виявлено їх недоліки: відсутність офлайн-режиму та зовнішніх API для маршрутизації. Проаналізовано існуючі рішення, визначено технології використання і критерії розробки системи. Розроблено автономну клієнт-серверну систему на базі Android та Spring Boot для управління замовленнями з маршрутизацією на основі OpenStreetMap та локальним зберіганням даних.

**Ключові слова:** Android, Spring Boot, JWT, Retrofit, PostgreSQL, кур'єр, доставка.

## Android application for delivery service couriers

Rostyslav Bashchuk

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

rostyslav.bashchuk.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The work analyzes existing mobile applications for delivery couriers (Glovo, City Ryder), identifying their drawbacks: lack of offline mode and reliance on external APIs for routing. Existing solutions are analyzed, technologies for use and system development criteria are defined. An autonomous client-server system based on Android and Spring Boot for order management with routing based on OpenStreetMap and local data storage has been developed.

**Keywords:** Android, Spring Boot, JWT, Retrofit, PostgreSQL, courier, delivery.

## 1 Вступ

У сучасних умовах цифрової трансформації онлайн-доставка стала ключовим елементом логістики, значно підвищивши навантаження на кур'єрів, які працюють у динамічному середовищі з високими вимогами до швидкості та точності. За даними досліджень, зростання e-commerce у 2020-2023 роках призвело до збільшення обсягів доставок на 40-50% [1]. Це вимагає ефективних інструментів для управління процесами, але наявні рішення часто не відповідають потребам кур'єрів через технічні обмеження [2].

Метою дослідження є розробка автономної клієнт-серверної системи для кур'єрів, яка забезпечує повний цикл управління доставками без залежності від зовнішніх ресурсів. Основні завдання: аналіз існуючих аналогів, проектування архітектури системи, реалізація клієнтської (Android) та серверної (Spring Boot) частин, інтеграція механізмів безпеки та тестування функціональності. Пропоноване рішення фокусується на незалежності, зручності інтерфейсу та оптимізації для мобільних пристроїв, що робить його придатним для малих і середніх служб доставки.

## 2 Аналіз існуючих рішень

Аналіз ринку мобільних додатків для логістики виявив, що популярні платформи, таких як Glovo, City Ryder та Bolt Delivery, пропонують функціональність для кур'єрів, але з суттєвими обмеженнями. Зокрема, інтерфейси цих додатків часто переважані елементами, що ускладнює швидкий доступ до ключових функцій [3]. Більшість рішень не підтримують офлайн-режим, вимагаючи постійного з'єднання для оновлення замовлень, а маршрутизація покладається на зовнішні API, як Google Maps чи Mapbox, що генерує додаткові витрати на комісії та ризики недоступності сервісів [4].

Переваги аналогів включають реальний час сповіщень, інтеграцію з платіжними системами та аналітику маршрутів, але недоліки переважають: висока залежність від інтернету призводить до втрат даних при слабкому сигналі, а відсутність автономності ускладнює роботу в віддалених районах. Крім того, використання сторонніх сервісів підвищує ризики витоку конфіденційної інформації про замовлення та локації [5]. Запропонована система усуває ці проблеми шляхом впровадження власної бази даних на PostgreSQL для локального кешування, вбудованої навігації на основі OpenStreetMap та захищеної аутентифікації, забезпечуючи більшу незалежність і безпеку порівняно з аналогами.

## 3 Розробка системи

Система побудована за клієнт-серверною архітектурою: серверна частина реалізована на Spring Boot з використанням Kotlin для бізнес-логіки, Spring Security для захисту та JWT для токен-базованої аутентифікації. База даних

PostgreSQL зберігає інформацію про користувачів, замовлення та маршрути, з таблицями для entities як User, Order та Route. Клієнтська частина — Android-додаток на базі Jetpack Compose для сучасного UI, Ktor для взаємодії з API та Room для локального зберігання даних в офлайн-режимі [6].

Розроблено ключові ендпоінти: /auth/register та /auth/login для реєстрації та входу з JWT-валідацією; /orders для створення, отримання, оновлення та прийняття замовлень. Захист забезпечується через фільтр OncePerRequestFilter, який перевіряє токени перед обробкою запитів. Маршрутизація базується на локально завантажених даних OpenStreetMap з використанням алгоритму найкоротшого шляху та координат GPS, без залежності від зовнішніх сервісів під час виконання. Інтерфейс додатку включає екрани логіну, списку замовлень з фільтрами, детального перегляду замовлення з мапою та кнопками дій (прийняття/завершити). Тестування проведено за допомогою Postman для API-ендпоінтів та Android Emulator для клієнтської частини, підтвердивши стабільність і коректність роботи.

## Висновок

Розроблена система забезпечує автономну та ефективну роботу кур'єра в службі доставки, охоплюючи повний цикл від аутентифікації до завершення замовлень. Реалізовано безпечний доступ через JWT, API для управління даними та простий інтерфейс на Android Compose, що перевершує аналоги за незалежністю від зовнішніх сервісів і підтримкою офлайн-режиму. Переваги включають зниження витрат на комісії, підвищення продуктивності та зменшення помилок завдяки локальній маршрутизації.

Загалом, проєкт демонструє практичне застосування сучасних технологій Spring Boot та Android у логістиці, пропонуючи масштабоване рішення для малих бізнесів і підтверджуючи потенціал для комерційного впровадження.

## Література (References)

1. Spring Boot Documentation. — URL: <https://docs.spring.io/spring-boot/docs/current/reference/htmlsingle/>.
2. Kotlin Official Documentation. — URL: <https://kotlinlang.org/docs/home.html>.
3. Glovo App Analysis. — URL: <https://glovoapp.com>.
4. JWT Security Best Practices. — URL: <https://jwt.io/introduction>.
5. Retrofit Documentation. — URL: <https://square.github.io/retrofit/>.
6. PostgreSQL Documentation. — URL: <https://www.postgresql.org/docs/>.
7. FCM for Android. — URL: <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging/android/client>.

# Інтегроване управління медичним обслуговуванням пацієнтів

Гараздюк Іван<sup>1</sup>, Семаньків Марія<sup>2</sup>[0000-0002-1314-8923]

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
ivan.harazdiuk.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** Відзначено актуальність віддаленої підтримки пацієнтів, адже часто доступ до своєчасної медичної допомоги ускладнений відстанню, мобільністю, графіками, чергами в клініках, браком персоналу та хронічними захворюваннями. Проаналізована розробка системи, що забезпечує інтегроване управління доглядом від реєстрації до одужання через веб-платформу з штучним інтелектом для безперервної підтримки, що аналізує симптоми, зіставляє з захворюваннями, рекомендує тести, призначає зустрічі з фахівцями, надсилає нагадування про ліки та візити.

**Ключові слова:** веб-платформа, штучний інтелект, медичний догляд, телемедицина, персоналізована медицина.

## Integrated management of patient healthcare

Harazdiuk Ivan<sup>1</sup>, Semankiv Maria<sup>2</sup>[0000-0002-1314-8923]

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
ivan.harazdiuk.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The relevance of remote patient support is highlighted, as timely access to medical care is often hindered by distance, mobility limitations, schedules, clinic queues, staff shortages, and chronic conditions. The development of a system that provides integrated care management from registration to recovery through a web platform with AI for continuous support is analyzed. The system analyzes symptoms, matches them with possible diseases, recommends tests, schedules appointments with specialists, and sends reminders about medications and visits.

**Keywords:** artificial intelligence, medical care, telemedicine, personalized medicine.

## 1 Вступ

Доступ до медичної допомоги є фундаментальною потребою, але сучасні реалії часто роблять його складним. Пацієнти стикаються з проблемами, такими як географічна віддаленість від медичних закладів, обмежена мобільність через вік чи інвалідність, а також щільний графік роботи. До цього додаються системні проблеми: довгі черги в державних клініках, дефіцит медичного персоналу та зростання кількості хронічних захворювань, які вимагають постійного моніторингу. У таких умовах віддалена підтримка стає не просто зручністю, а необхідністю для забезпечення безперервного догляду.

Дослідження фокусується на створенні інтегрованої системи, яка об'єднує всі етапи медичного обслуговування в єдину платформу. Розробка такого інструменту дозволить автоматизувати рутинні процеси, такі як діагностика симптомів та планування візитів, і допоможе пацієнтам та лікарям приймати рішення на основі даних, а не інтуїції. Це може значно покращити ефективність лікування, зменшити навантаження на медичні установи та підвищити дотримання пацієнтами рекомендацій.

Метою роботи є розробка веб-платформи для інтегрованого управління медичним обслуговуванням пацієнтів, яка забезпечує безперервну підтримку за допомогою штучного інтелекту, від початкової реєстрації до повного одужання.

## 2 Аналіз існуючих рішень

На українському ринку вже функціонують кілька популярних платформ для запису до лікаря та базової телемедицини: Helsi, Doctor Online, Medikit, Liki та державний сервіс eHealth (модуль «Електронна медична картка»). Ці системи дозволяють пацієнту самостійно обрати лікаря, переглянути вільні слоти та записатися на прийом, а також зберігати результати аналізів і направлень. Деякі з них (Helsi, Liki) пропонують онлайн-консультації та нагадування про візити. У світі аналогами є Zocdoc, Doctolib, Babylon Health та Teladoc, які також поєднують запис і віддалені консультації.

Проте всі перелічені рішення мають суттєві недоліки. По-перше, вони зосереджені переважно на бронюванні та разових консультаціях, не забезпечуючи безперервного супроводу пацієнта протягом усього циклу лікування. Після запису система «забуває» про пацієнта: немає автоматичного відстеження прогресу, коригування плану лікування чи нагадувань про ліки. По-друге, відсутня інтелектуальна первинна діагностика: користувач сам обирає спеціаліста, часто помилюючись, що призводить до зайвих візитів і втрати часу. По-третє, персоналізація мінімальна — історія хвороби використовується лише для зберігання, а не для динамічного формування рекомендацій. Як наслідок, пацієнти з хронічними захворюваннями та люди з обмеженою мобільністю залишаються без комплексної підтримки, а медичні заклади не отримують інструменту для оптимізації навантаження та зменшення «ноу-шоу». Ці прогалини й визначають необхідність розробки нової інтегрованої системи з повним ШІ-супроводом.

### 3 Розробка системи

Процес розробки системи базується на вимогах до інтеграції медичних даних та передбачає створення масштабованого веб-додатку. Враховуючи різні ролі користувачів (пацієнти, лікарі, адміністратори), розробка ведеться з використанням ітеративного підходу. Це дозволило поступово нарощувати функціонал, починаючи з базових модулів реєстрації та аналізу симптомів, і закінчуючи складними алгоритмами планування та моніторингу.

Ключовим етапом стало проектування логічної структури додатку, яка повинна забезпечувати надійне зберігання даних (історій хвороб, симптомів, призначень) та швидку обробку запитів. Було визначено, що система повинна складатися з клієнтської частини (Frontend), яка відповідає за взаємодію з користувачем, та серверної частини (Backend), яка реалізує логіку ШІ, обробку даних та інтеграцію з календарями. Особливу увагу приділено конфіденційності даних відповідно до стандартів GDPR та HIPAA.

Для побудови надійної та гнучкої системи було обрано архітектурний патерн MVC (Model-View-Controller). Цей підхід дозволяє розділити логіку додатку на три незалежні компоненти, що спрощує розробку, тестування та подальшу підтримку коду [1].

- **Model:** відповідає за роботу з даними та бізнес-логіку. У розробленій системі моделі описують сутності (Пацієнт, Симптом, Призначення, Лікар) та правила їх взаємодії з базою даних.
- **View:** відповідає за відображення інтерфейсу користувача. Представлення отримують дані від контролера та формують сторінки для вводу симптомів, перегляду рекомендацій та календаря.
- **Controller:** приймає запити від користувача, обробляє їх, звертаючись до моделі, та вибирає відповідне представлення для відображення результату [2].

Така архітектура дозволяє інтегрувати ШІ-модулі без втручання в основну логіку, а також легко масштабувати систему для великих медичних мереж.

Вибір технологічного стека було здійснено на основі критеріїв продуктивності, безпеки та інтеграції з медичними API.

- **Мова програмування Python:** гнучка мова з потужними бібліотеками для ШІ, яка забезпечує швидку розробку та надійність [1].
- **Фреймворк Django:** сучасний фреймворк для створення веб-додатків з вбудованою підтримкою автентифікації та ORM для роботи з базами даних [2].
- **Система управління базами даних PostgreSQL:** реляційна СУБД, яка забезпечує цілісність даних та ефективне виконання запитів. Використання Django ORM спрощує маніпуляції з даними.
- **Бібліотеки для ШІ:** TensorFlow або scikit-learn для аналізу симптомів та рекомендацій.

## 4 Практична цінність

Практична значимість розробленої веб-платформи полягає у вирішенні проблеми доступності медичної допомоги. Впровадження системи дозволяє досягти наступних результатів:

- Для пацієнтів: Забезпечено безперервну підтримку. Завдяки ШІ пацієнти отримують персоналізовані рекомендації, нагадування про ліки та автоматичне планування візитів, що підвищує дотримання лікування та зменшує ризики ускладнень.
- Для медичних установ: Оптимізовано потік пацієнтів. Система автоматизує бронювання, аналізує навантаження на спеціалістів та генерує звіти, зменшуючи адміністративне навантаження та покращуючи ефективність клінік і лікарень.
- Для телемедичних сервісів: Створено інструмент для віддаленого моніторингу. На відміну від простих додатків для бронювання, платформа інтегрує історію здоров'я, динамічно коригує плани лікування та забезпечує комплексний супровід, що сприяє розвитку цифрової медицини.

Створений програмний продукт може бути розгорнутим в медичних установах для створення персоналізованих систем догляду.

### Висновки

Розробка веб-платформи для інтегрованого управління медичним обслуговуванням пацієнтів є актуальним завданням для сучасної охорони здоров'я. Запропонований підхід, що базується на модульній архітектурі (MVC) та інтеграції ШІ, дозволив створити гнучкий інструмент для безперервної підтримки. Використання сучасних технологій Python та Django забезпечило надійність та зручність. Впровадження такої системи допоможе оптимізувати процеси лікування, підвищити ефективність медичних послуг та зробити крок до персоналізованої, керуваної даними медицини.

### Література (References)

1. Chollet F. Deep Learning with Python. 2nd ed. Manning Publications, 2021. 504 p.
2. Grinberg M. Flask Web Development: Developing Web Applications with Python. 2nd ed. O'Reilly Media, 2018. 316 p.
3. McKinney W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and Jupyter. 3rd ed. O'Reilly Media, 2022. 582 p.

## Аналіз сучасних технологій модифікації та генерації цифрових зображень

Андрій Тарас<sup>1</sup> та Юрій Стрілецький<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна  
andrii.taras.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> д.т.н., Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

**Анотація.** Робота присвячена розробці та дослідженню багатокористувацької веб-платформи соціальних міні-ігор з інтегрованим інтелектуальним асистентом. Робота визначає актуальність теми в контексті подолання обмежень статичних ігрових сценаріїв та підвищення залученості користувачів через динамічну адаптацію ігрового процесу. Висвітлено особливості реалізації системи реального часу, що поєднує веб-технології та алгоритми штучного інтелекту для автоматичної модерації, генерації контекстних підказок та балансування складності ігрових сесій.

**Ключові слова:** веб-платформа, соціальні ігри, Socket.io, Node.js, штучний інтелект, AI-асистент, інтерактивні системи, Canvas/WebGL.

## Analysis of Modern Technologies for Modification and Generation of Digital Images

Andrii Taras<sup>1</sup> and Yurii Striletskyi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student, Andrii Taras Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine  
andrii.taras.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> Prof. Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

**Abstract.** The paper is devoted to the development and research of a multiplayer web platform for social mini-games with an integrated intelligent assistant. The paper determines the relevance of the topic in the context of overcoming the limitations of static game scenarios and increasing user engagement through dynamic gameplay adaptation. The paper also highlights the implementation features of a real-time system that combines web technologies and artificial intelligence algorithms for automatic moderation, contextual hint generation, and game session difficulty balancing.

**Keywords:** web platform, social games, Socket.io, Node.js, artificial intelligence, AI assistant, interactive systems, Canvas/WebGL.

## 1 Вступ

Сучасний прогрес у галузі веб-технологій та штучного інтелекту кардинально змінює підходи до організації соціальних онлайн-взаємодій. Від простих статичних браузерних додатків технології еволюціонували до інтелектуальних систем, здатних не просто з'єднувати користувачів, а й динамічно керувати ігровим процесом на основі даних реального часу. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення платформ, здатних виконувати автономну модерацію гри та персоналізований супровід, забезпечуючи високий рівень залученості без потреби у фізичному ведучому.

Сфера веб-додатків реального часу відкриває можливості для створення адаптивних розважальних систем, де ключовим викликом є досягнення балансу між затримкою синхронізації даних та складністю інтелектуальної обробки. У цьому контексті робота присвячена аналізу архітектурних патернів та обґрунтуванню вибору гібридного підходу, що поєднує протоколи WebSocket та AI-агентів для автоматизованого управління процесом.

Практична значимість полягає у розробці програмного рішення, яке дозволяє відмовитися від обов'язкової присутності людини-модератора на користь адаптивного інтелектуального асистента, що може бути імплементовано у різноманітних сферах.

## 2 Аналіз предметної області

Для ґрунтовного розуміння проблематики дослідження необхідно визначити сферу застосування веб-технологій та інтелектуальних алгоритмів, що забезпечують організацію синхронної взаємодії користувачів у мережі Інтернет.

- Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процеси організації та автоматизованого управління багатокористувацькою взаємодією у веб-середовищі реального часу. До його структури входять не лише потоки даних між клієнтом і сервером, але й методи координації дій групи користувачів, синхронізація спільних станів системи, а також процеси адаптивної реакції програмного середовища на поведінку учасників за допомогою інтелектуальних агентів.

- Предмет дослідження

Предметом дослідження виступають методи й алгоритми побудови архітектури гібридних веб-систем для соціальних ігор. Зокрема, аналізуються механізми інтеграції протоколів передачі даних у реальному часі (WebSocket) з алгоритмічними моделями штучного інтелекту (Rule-based системи, скінченні автомати). Особливу увагу приділено поєднанню високонавантаженої мережевої логіки з можливостями AI-асистента для заміни ролі людини-модератора, генерації контекстного контенту та забезпечення цілісності ігрового процесу.

### 3 Методологія

Для розробки підходу до автоматизації соціальних ігор використовуватиметься комплексна методологія, яка об'єднує подійно-орієнтовані механізми та евристичні алгоритми прийняття рішень. Основні етапи включають:

- Аналіз існуючих підходів: Дослідження обмежень сучасних веб-платформ для онлайн-дозвілля. Виявлено, що більшість систем пропонують лише базову синхронізацію дій без активної модерації, що призводить до втрати динаміки у складних рольових сценаріях та вимагає ручного керування процесом [1].
- Моделювання ігрових станів (Finite State Machine): Застосування теорії скінчених автоматів для формалізації логіки кожної гри. Це дозволяє побудувати детермінований граф переходів між етапами (наприклад, лобі – роздача ролей – обговорення – голосування) та гарантувати цілісність ігрового процесу [2].
- Синхронізація в реальному часі (Socket.IO): Розробка алгоритмів двонаправленого обміну даними для забезпечення миттєвого відгуку інтерфейсу. Використання протоколу WebSocket для трансляції змін глобального стану гри всім підключеним клієнтам з мінімальною затримкою [3].
- Інтелектуальне управління (Rule-Based AI): Застосування алгоритмів на базі правил та рандомізованих сценаріїв для емуляції поведінки професійного ведучого: генерація сюжетних зав'язок, контекстних підказок та автоматична валідація дій гравців [4].
- Програмна архітектура: Реалізація клієнт-серверної взаємодії, де серверна частина (Node.js) забезпечує централізовану обробку подій та зберігання сесій, а клієнтська (React) – динамічну візуалізацію станів інтерфейсу без перезавантаження сторінки.

### 4 Очікувані результати

Результатом виконання даної роботи передбачається створення та апробація програмної платформи для соціальних ігор з інтегрованим інтелектуальним асистентом. Зазначені характеристики включають в себе:

- **Синхронізація в реальному часі:** Забезпечення миттєвого узгодження ігрових станів (таймери, результати голосувань, роздача карток) між усіма клієнтами завдяки оптимізованій подійній архітектурі, що мінімізує затримки взаємодії.
- **Інтелектуальна автоматизація:** Здатність системи самостійно модерувати складні багатоетапні сценарії (зокрема у грі «Bunker»), генерувати контекстний контент та пояснювати правила, повністю замінюючи функцію людини-ведучого.
- **Масштабованість та доступність:** Забезпечення кросплатформного доступу через веб-браузер без необхідності встановлення додаткового

ПЗ, а також модульна структура бекенду, що дозволяє інтегрувати нові ігрові механіки без зміни ядра системи.

## **Висновки**

Підсумовуючи, можна сказати, що аналіз існуючих рішень підтвердив необхідність переходу від статичних веб-ігор до адаптивних систем з автоматизованою модерацією. Очікується, що впровадження запропонованого гібридного підходу (Real-time WebSocket + Rule-based AI) дозволить досягти нового рівня залученості користувачів у задачах організації онлайн-дозвілля. Такий підхід, завдяки поєднанню надійності скінченних автоматів та інтерактивності віртуального асистента, дозволяє створювати динамічні ігрові сесії, придатні для використання у різноманітних прикладних системах, зокрема соціальної взаємодії.

## **Література (References)**

- [1] Rai R. Socket.IO Real-time Web Application Development // Packt Publishing. 2013. P. 35–58.
- [2] Nystrom R. Game Programming Patterns // Genever Benning. 2014. P. 120–145.
- [3] Adamopoulou E., Moussiades L. An Overview of Chatbot Technology // IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations. 2020. P. 373–383.
- [4] Banks A., Porcello E. Learning React: Modern Patterns for Developing React Apps // O'Reilly Media. 2020. P. 15–30.

# Створення веб-платформи для підбору медіа-контенту на основі гібридної моделі машинного навчання

Бернацький Євгеній

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
yevhenii.bernatskyi.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі розглядається проблема інформаційного перенавантаження користувачів у сфері цифрового медіа-контенту. Запропоновано розробку веб-платформи «MediaCompass», яка використовує гібридну модель машинного навчання для надання персоналізованих рекомендацій фільмів, серіалів та книг. Описано архітектуру системи, що базується на стеку технологій Vue.js, Python (FastAPI) та MongoDB. Особлива увага приділяється алгоритму рекомендацій, який поєднує колаборативну фільтрацію та контент-орієнтований аналіз (з використанням NLP-методів) для вирішення проблеми «холодного старту» та підвищення точності прогнозів.

**Ключові слова:** Рекомендаційна система, гібридна модель, машинне навчання, колаборативна фільтрація, веб-платформа, Python, Vue.js.

## Creation of a web platform for media content selection based on a hybrid machine learning model

Bernatskyi Yevhenii

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

**Abstract.** The paper addresses the issue of information overload in the digital media content sphere. It proposes the development of the "MediaCompass" web platform, utilizing a hybrid machine learning model to provide personalized recommendations for movies, TV series, and books. The system architecture, based on the Vue.js, Python (FastAPI), and MongoDB technology stack, is described. Particular attention is given to the recommendation algorithm, which combines collaborative filtering and content-based analysis (using NLP methods) to solve the "cold start" problem and improve prediction accuracy.

**Keywords:** Recommender system, hybrid model, machine learning, collaborative filtering, web platform, Python, Vue.js.

## 1 Вступ

Стрімке зростання обсягів цифрового контенту в сучасному світі призвело до парадоксу вибору: користувачам стає все важче знайти релевантні фільми, серіали чи книги серед мільйонів доступних варіантів. Традиційні методи пошуку та фільтрації вже не є достатньо ефективними, що актуалізує потребу в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

Сучасні рекомендаційні системи частково вирішують цю проблему, однак більшість із них мають суттєві недоліки. Системи, що базуються виключно на історії дій користувача (колаборативна фільтрація), страждають від проблеми «холодного старту», коли новому користувачеві нічого рекомендувати. Контент-орієнтовані системи часто не можуть запропонувати нічого нового, обмежуючись лише схожими об'єктами.

Метою даної роботи є створення веб-порталу з можливістю персоналізованого підбору медіа-контенту на основі гібридного методу рекомендацій, що поєднує переваги обох підходів.

## 2 Аналіз предметної області та методів

Для побудови ефективної системи рекомендацій було проаналізовано існуючі підходи. Найпоширенішими є:

Колаборативна фільтрація. Базується на припущенні, що користувачі, які мали схожі інтереси в минулому, матимуть їх і в майбутньому. Метод ефективний, але залежить від кількості даних (user-item matrix).

Контентно-орієнтована фільтрація. Рекомендує об'єкти, схожі на ті, що сподобалися користувачеві раніше, аналізуючи атрибути контенту (жанри, опис, актори).

У розроблюваній системі пропонується використати гібридну стратегію. Це дозволить нівелювати недоліки окремих методів. Наприклад, для нових користувачів система спиратиметься на популярність контенту та метадані (жанри), а з накопиченням історії взаємодій - підключатиме колаборативні алгоритми для більш точних персональних пропозицій.

## 3 Проектування та реалізація системи

Архітектура веб-платформи побудована за принципом клієнт-серверної взаємодії (SPA - Single Page Application).

Технологічний стек:

1. Frontend: Vue.js - для створення реактивного та зручного інтерфейсу користувача.

2. Backend: Python (FastAPI) - високопродуктивний фреймворк, який ідеально підходить для інтеграції з бібліотеками машинного навчання (scikit-learn, TensorFlow/PyTorch).
3. База даних: MongoDB - NoSQL база даних, що дозволяє гнучко зберігати різноманітні дані про фільми, книги та користувачів.
4. Інфраструктура: Docker та Docker Compose для контейнеризації та спрощення розгортання.

Основним ядром системи є модуль рекомендацій. Для аналізу текстових описів контенту (сюжетів книг та фільмів) використовуються методи обробки природної мови (NLP), такі як TF-IDF або ембединги (Word2Vec/BERT), що дозволяє знаходити семантично схожі твори. Колаборативна частина реалізується через матричну факторизацію історії оцінок користувачів.

Функціонал системи включає:

1. Реєстрацію та авторизацію користувачів.
2. Перегляд каталогів контенту з розширеною фільтрацією.
3. Сторінки детальної інформації про об'єкти (оцінки, рецензії).
4. Особистий кабінет з історією переглядів та списками «Бажаю переглянути».
5. Форум для обговорення контенту.

## Висновки

У роботі обґрунтовано доцільність створення веб-платформи для агрегації та рекомендації медіа-контенту. Запропонована гібридна модель рекомендаційної системи дозволяє підвищити точність прогнозів та покращити користувацький досвід, вирішуючи проблему інформаційного шуму.

Реалізація прототипу платформи підтвердила ефективність обраного технологічного стека. Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію роботи з мультимодальними даними та вдосконалення алгоритмів на основі зворотного зв'язку від користувачів.

## Література (References)

1. Aggarwal, C. C. (2016). Recommender Systems: The Textbook. Springer.
2. Ricci, F., Rokach, L., & Shapira, B. (2015). Recommender Systems Handbook. Springer US.
3. Documentation for Vue.js. Available at: <https://vuejs.org/> (Accessed: 20 October 2025).
4. FastAPI Documentation. Available at: <https://fastapi.tiangolo.com/> (Accessed: 25 October 2025).
5. Vaswani, A., et al. (2017). Attention Is All You Need. Advances in Neural Information Processing Systems.

## Інформаційно-аналітична мобільна система для підтримки здорового харчування

Пліхтяк Микола<sup>1</sup>, Семаньків Марія<sup>2</sup>[0000-0002-1314-8923]

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна  
mykola.plikhtiak.20@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі зазначено актуальність розробки мобільної системи для підтримки здорового харчування. Відзначено переваги та практичність цінність інформаційно-аналітичної мобільної системи, яка допоможе користувачам легко ідентифікувати склад продуктів, вести облік спожитих нутрієнтів та отримувати інтелектуальні рекомендації щодо приготування здорових страв.

**Ключові слова:** мобільний застосунок, здорове харчування, сканування штрих-кодів, штучний інтелект.

## Information and analytical mobile system for Supporting Healthy Eating

Plikhtiak Mykola<sup>1</sup>, Semankiv Mariia<sup>2</sup>[0000-0002-1314-8923]

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
mykola.plikhtiak.20@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper highlights the relevance of developing a mobile system for healthy nutrition support. It emphasizes the advantages and practical value of an information-analytical mobile system designed to help users easily identify product composition, track nutrient intake, and receive intelligent recommendations for preparing healthy meals.

**Keywords:** mobile application, healthy nutrition, barcode scanning, artificial intelligence.

## 1 Вступ

Сучасний темп життя та глобалізація ринку харчових продуктів створюють значні виклики для людей, які прагнуть дотримуватися здорового способу життя. Споживачі стикаються з величезним асортиментом товарів, склад яких часто є складним для швидкого аналізу, а інформація про нутрієнти (білки, жири, вуглеводи) та калорійність представлена дрібним шрифтом або потребує спеціальних знань для інтерпретації. Це створює інформаційний бар'єр та ускладнює контроль за власним раціоном. Ефективність дієти та загальний стан здоров'я людини напряму залежать від того, наскільки зручно і швидко вона може отримати об'єктивні дані про їжу та інтегрувати їх у своє повсякденне життя.

Дослідження зосереджено на тому, щоб створити інтуїтивно зрозумілу мобільну систему, яка автоматизує процес аналізу продуктів. Розробка такого інструменту дозволить замінити ручне введення даних (яке часто призводить до помилок або втрати мотивації) на миттєве сканування штрих-кодів. Окрім простого відображення цифр, система має допомагати користувачу приймати рішення, використовуючи штучний інтелект для генерації персоналізованих кулінарних порад, а не покладатися на інтуїцію. Такі системи можуть значно покращити харчові звички населення та сприяти профілактиці захворювань, пов'язаних із харчуванням.

Метою роботи є розробка інформаційно-аналітичної мобільної системи, яка допоможе користувачам легко ідентифікувати склад продуктів, вести облік спожитих нутрієнтів та отримувати інтелектуальні рекомендації щодо приготування здорових страв.

## 1 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Ринок мобільних застосунків категорії «Health & Fitness» (Здоров'я та Фітнес) сьогодні є одним з найбільш динамічних сегментів цифрової економіки. Зростання уваги суспільства до здорового способу життя стимулює попит на інструменти, що дозволяють контролювати раціон без необхідності ведення паперових щоденників. Сучасні програмні продукти цього класу спираються на великі бази даних продуктів харчування та технології сканування штрих-кодів, що значно спрощує процес введення інформації користувачем.

Серед існуючих рішень лідерами ринку є такі платформи, як MyFitnessPal, FatSecret, Yazio та Cronometer. Ці системи пропонують потужний функціонал для підрахунку калорій та нутрієнтів (КБЖВ), дозволяють відстежувати вагу та споживання води. Їхньою сильною стороною є величезні бази даних продуктів, що наповнюються як розробниками, так і спільнотою користувачів. Проте, аналіз функціоналу цих застосунків виявляє спільний недолік: вони працюють переважно як пасивні «трекери» або калькулятори. Користувач отримує статистику (кількість спожитих жирів чи вуглеводів), але система рідко надає якісну інтерпретацію цих даних або практичні поради щодо їх покращення в момент вибору продукту.

Окрему нішу займають застосунки з рецептами (наприклад, Yummly або Tasty), які пропонують варіанти страв, але часто не мають зручних інструментів для миттєвого сканування конкретного інгредієнта в магазині з метою аналізу його користі. На ринку спостерігається дефіцит комплексних рішень, які б поєднували аналітичну точність калоризаторів із креативністю кулінарних асистентів. Більшість існуючих програм не використовують потенціал сучасного штучного інтелекту для генерації персоналізованих рекомендацій: користувач знає, що він купив, але не завжди знає, як це приготувати з максимальною користю для здоров'я. Саме цю прогалину покликана заповнити запропонована інформаційно-аналітична система.

## 2 Переваги запропонованого рішення

Практична значимість розробленої мобільної системи полягає у вирішенні проблеми інформаційної асиметрії між виробником продуктів та споживачем, а також у спрощенні ведення здорового способу життя.

Впровадження системи дозволяє досягти наступних переваг:

- Для пересічних користувачів: Забезпечено миттєвий доступ до детальної аналітики харчування. Завдяки сканеру користувач економить час, який раніше витрачався на ручний пошук таблиць калорійності. Інтегрований AI трансформує сухі цифри (КБЖВ) у практичні поради, пропонуючи, як приготувати продукт смачно та корисно, що знижує поріг входження у здорове харчування.
- Для людей з дієтичними обмеженнями: Створено зручний інструмент контролю. Система дозволяє швидко перевірити, чи вписується конкретний товар у добову норму споживання вуглеводів, жирів або цукру, що є критично важливим для людей з діабетом або спортсменів.
- Для сфери громадського здоров'я: Популяризація застосунку сприяє підвищенню рівня обізнаності населення про склад промислових товарів, формуючи культуру свідомого споживання та зменшуючи ризики ожиріння та серцево-судинних захворювань.

Створений програмний продукт є готовим мобільним рішенням, яке може бути опубліковане в магазинах додатків та масштабоване шляхом розширення бази продуктів або додавання соціальних функцій.

## Висновки

Розробка інформаційно-аналітичної мобільної системи для підтримки здорового харчування є актуальним завданням в умовах цифровізації сфери охорони здоров'я та зростаючого попиту на Wellness-технології. Запропонований підхід, що поєднує автоматизоване розпізнавання даних через сканування штрих-кодів та генеративні можливості штучного інтелекту, дозволив створити персонального

асистента дієтолога у смартфоні. Використання мови Kotlin та архітектури MVVM забезпечило надійність, швидкодію та зручність супроводу програмного коду. Впровадження такої системи не лише спрощує рутинний підрахунок калорій, але й надає користувачам творчі інструменти для приготування їжі, роблячи здорове харчування доступнішим та цікавішим.

## **Література (References)**

1. Jemerov D., Isakova S. Kotlin in Action. Shelter Island : Manning Publications, 2017. 360 p.
2. Android Developers. Guide to App Architecture.
3. Marsland S. Machine Learning: An Algorithmic Perspective. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2015. 457 p.

# Система прогнозування продажів на основі нейронних мереж

Рудка Артем<sup>1</sup>

Карпатський університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна  
artem.rudka.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто систему прогнозування продажів на основі нейронних мереж, що дозволяє підвищити точність передбачення показників реалізації товарів. Проаналізовано особливості часових рядів та сучасні методи машинного навчання. Запропоновано архітектуру, що включає модуль обробки даних, модель LSTM/GRU та механізм інтеграції з бізнес-інформаційними системами.

**Ключові слова:** прогнозування, нейронні мережі, продажі, LSTM, часові ряди.

## Sales Forecasting System Based on Neural Networks

Artem Rudka<sup>1</sup>

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
artem.rudka.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper examines a sales forecasting system based on neural networks, aiming to increase forecasting accuracy for commercial demand. The study analyzes time-series specifics and modern machine learning approaches. An architecture consisting of a data preprocessing module, LSTM/GRU model, and integration interface for enterprise systems is proposed.

**Keywords:** forecasting, neural networks, sales, LSTM, time series.

### 1 Вступ

Сучасні компанії працюють у конкурентному середовищі, де точність прогнозування продажів безпосередньо впливає на фінансові результати, логістику, закупівлі та маркетинг. Традиційні статистичні методи демонструють обмежену

ефективність у випадку складних нелінійних залежностей. Це зумовлює необхідність застосування нейронних мереж для підвищення якості прогнозів

## **2 Аналіз предметної області та існуючих рішень**

Прогнозування часових рядів є класичною задачею статистики та аналітики даних. Моделі ARIMA, Prophet, лінійна регресія та дерева рішень застосовуються у системах планування продажів, проте їхня точність обмежена у випадку багатофакторних даних. Нейронні мережі типу LSTM та GRU демонструють значно кращу здатність моделювати довгострокові залежності та складні патерни.

## **3 Запропоноване рішення**

Система складається з модулів підготовки даних, моделі прогнозування та інтерфейсу інтеграції. Модуль обробки даних виконує масштабування, згладжування, побудову додаткових ознак. Основу системи становить нейронна мережа LSTM, що навчається на історичних даних продажів. Архітектура передбачає можливість роботи у середовищах Docker та хмарних сервісах.

### **Висновки**

Запропонована система прогнозування продажів на основі нейронних мереж покращує точність передбачень і дозволяє компаніям приймати ефективні управлінські рішення. У перспективі передбачено застосування трансформерів та розширення набору ознак.

### **References**

1. Box G., Jenkins G. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day (1976).
2. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory. Neural Computation (1997).
3. Brownlee J.. Deep Learning for Time Series Forecasting. Machine Learning Mastery (2018).
4. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. KDD (2016).
5. Prophet, Meta Open Source. <https://facebook.github.io/prophet/>

## Розробка системи гейміфікації продуктивності з адаптивним визначенням пріоритетності завдань

Кучірка Любомир, Лідія Штаєр

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ,  
Україна

liubomyr.kuchirka.22@pnu.edu.ua

lidiia.shtaiер@cnu.edu.ua

**Анотація.** Запропоновано створення адаптивної системи персональної продуктивності, яка поєднує гейміфікацію з інтерпретованою пріоритизацією завдань. Модуль пріоритетів обчислює індекс пріоритету як зважену суму близькості дедлайну, важливості, оціненого часу та історичної надійності; індекс ризику запізнення порівнює оцінений час задачі з прогнозованою короткостроковою доступністю часу. Прозора механіка винагород (бали, внутрішня валюта, бейджі, бонуси за серії вчасного виконання завдань) напряду залежить від індексу пріоритету і пунктуальності; валюта витрачається на допоміжні інструменти планування.

**Ключові слова:** гейміфікація, пріоритизація завдань, механіки винагород, прогнозування навантаження.

## Adaptive Gamified Task Prioritization with Explicit Reward Mechanics and Behavioral Workload Forecasting

Kuchirka Liubomyr, Lidiia Shtaiер

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

liubomyr.kuchirka.22@pnu.edu.ua

lidiia.shtaiер@cnu.edu.ua

**Abstract.** An adaptive personal productivity system is proposed that combines gamification with an interpretable task-prioritization engine. The priority module computes a task score as a weighted sum of deadline proximity, declared importance, estimated effort and historical completion reliability; a risk-of-delay index compares a task's estimated effort with predicted short-term available time. A transparent reward mechanism (points, in-app currency, badges, and bonuses

for consecutive on-time completions) is directly tied to the score and punctuality; currency can be spent on planning aids.

**Keywords:** gamification, task prioritization, reward mechanics, workload forecasting.

## 1 Вступ

**Актуальність.** Сьогодні в умовах високої завантаженості інформацією люди зіткнулися з такою проблемою: неправильне розставлення пріоритетів для завдань, що веде за собою збільшення стресу, невчасне виконання справ та недоцільне використання часу. Наявні додатки для планування завдань мають фокус на просте управління завданнями або на заохочення через нагороди, та вони рідко поєднують просту та ефективну пріоритизацію з елементами гейміфікації та аналізу поведінки користувача. Є потреба в системі, яка дасть можливість ефективно планувати завдання, отримувати мотивацію для їх виконання та аналізувати успішність.

**Об'єкт дослідження:** методи для менеджменту особистих завдань і механіки гейміфікації в цифрових продуктах.

**Предмет дослідження:** механіки винагород у гейміфікованому середовищі, алгоритми адаптивної пріоритизації, інструменти планування завдань

**Мета роботи:** дослідження методів розробки додатку, який буде поєднувати алгоритми пріоритизації завдань, оцінку ймовірності запізнення і прозору механіку винагород.

**Завдання:** 1) розробити алгоритм розрахунку пріоритету та оцінки ризику невиконання завдання; 2) спроектувати модуль винагород із правилами нарахування балів; 3) обґрунтувати вибір програмних засобів для майбутньої реалізації прототипу системи MVP (Minimum Viable Product) та спроектувати його архітектуру.

## 2 Аналіз предметної області

Існуючі рішення на ринку демонструють такий підхід: класичні інструменти менеджменту завдань (Todoist, Trello тощо) з простим призначенням пріоритету та нагадуваннями, і додатки з гейміфікацією (Habitica, Forest), що мотивують до виконання завдань. Мінус першого підходу – відсутність адаптації до користувача шляхом аналізу минулих дій. Недолік другого підходу – хороша успішність користувача часто не має належної кореляції з розміром винагороди [2]. Добре реалізована гейміфікація може підвищити залученість користувача, але для неї необхідно реалізувати хороший зв'язок між завданням та нагородою [1]. Також потрібно продумати методи аналізу для відображення статистики користувача [3]. На даний момент бракує систем, де ці всі елементи інтегровані формально та прозоро.

Вимоги до нового рішення: прозорість правил нарахування балів(винагороди), врахування індивідуальної оцінки, можливість самостійного налаштування параметрів і швидке відтворення результатів для наукового дослідження.

### 3 Постановка задачі та запропоноване рішення

#### 3.1 Ідея та цілі проєкту

Створення системи, яка для кожної задачі буде обчислювати індекс пріоритету, індекс ризику запізнення, надавати рекомендації та нараховувати винагороду за успішність у вигляді внутрішньої валюти (балів), бейджів(досягнень) і додаткових бонусів за серії виконаних завдань. Бали можна витратити на допоміжні дії (подовження дедлайну, тощо) або косметичні предмети.

#### 3.2 Технічний стек

Для розробки прототипу пропонується стиль REST (Representational State Transfer).

**Серверна частина:** Node.js + Express – одна мова для логіки клієнта та сервера спрощує створення прототипу, дозволяє уникнути проблем з взаємодією алгоритмічних модулів між фронтом і бекендом, та показує ефективність обробки асинхронних запитів і оновлення стану.

**База даних:** SQLite – файлова СУБД (Система Управління Базами Даних), що забезпечує простоту розгортання та швидкий експорт даних для аналізу; при масштабуванні архітектура допускає міграцію на серверні СУБД без зміни бізнес-логіки.

**Клієнтська частина:** Frontend — Vanilla JS + Chart.js для візуалізації корисних метрик.

#### 3.3 Алгоритмічна складова

Для автоматичного ранжування завдань запропоновано формулу балу пріоритету ( $S$ ). Стратегія розрахунку базується на необхідності збалансувати термін та важливість. Запропонована формула має вигляд:

$$S = w_d * U(t) + w^i * I_{norm} + w_e * E_{factor} + w_h * H$$

де:

$U(t)$  – функція терміновості, що зростає при наближенні дедлайну;

$I_{norm}$  – нормалізована важливість, задана користувачем;

$E_{factor}$  – фактор трудомісткості (враховує складність задачі);

$H$  – історичний коефіцієнт (надійність виконання подібних задач у минулому);

$W$  – вагові коефіцієнти.

Також введено поняття індексу ризику ( $R$ ), який розраховує відношення необхідного часу на виконання до прогнозованого вільного часу. Це дозволить системі сигналізувати про неможливість виконання плану ще до настання дедлайну.

### 3.4 Модуль винагород

Модуль винагород буде використовуватись для формування звички своєчасного виконання. Замість фіксованої нагороди пропонується динамічна модель:

**Залежність від пріоритету:** Кількість базових балів має бути прямо пропорційна розрахованому значенню  $S$ . Це заохочуватиме користувача братися за складніші або важливіші завдання.

**Часові множники:** Передбачено впровадження коефіцієнтів для заохочення пунктуальності (наприклад,  $\times 1.2$  за вчасне виконання), що базується на принципах позитивного підкріплення.

**Утилітарність валюти:** Накопичені бали конвертуються у внутрішню валюту, яку можна буде витратити на функціональні переваги в системі (наприклад, інструмент «заморозки дедлайну»).

## Висновки

Було запропоновано та описано рішення, яке буде поєднувати алгоритми пріоритизації з гейміфікованою механікою винагород і метрикою ризику запізнення. Реалізація даного підходу дозволить користувачу використовувати власні мотиваційні сигнали за допомогою зважених рекомендацій і механік, які будуть покращувати пунктуальність. Визначено архітектуру та стек технологій для майбутньої реалізації прототипу, що дозволить на наступному етапі перевірити ефективність запропонованих підходів на практиці.

## Література (References)

1. Hamari J., Koivisto J., Sarsa H. (2014). *Does Gamification Work? — A Literature Review of Empirical Studies on Gamification.*, pp. 3025–3034. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6758978>
2. Diefenbach, S. (2019). *Counterproductive effects of gamification: An analysis on the example of the gamified task manager Habitica.* International Journal of Human–Computer Studies, 127, 18–33. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1071581918305135?via%3Dihub>
3. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice.* 2nd ed. URL: <https://otexts.com/fpp2/>

## Адаптивна освітня платформа на основі поведінки користувача

Сигіль Степан

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Івано-Франківськ, Україна

stepan.syhil.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі розглядається підхід до створення інтерактивної освітньої платформи, що використовує поведінкові дані користувачів для адаптації навчального контенту. Проаналізовано сучасні платформи електронного навчання та визначено їхні обмеження щодо персоналізації. Сформовано концепцію системи, яка може забезпечити динамічну адаптацію матеріалів відповідно до прогресу та активності студентів.

**Ключові слова:** адаптивне навчання, освітні платформи, персоналізація

## Adaptive Educational Platform Based on User Behavior

Stepan Syhil

Vasyl Stefanyk Carpathian National University  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

stepan.syhil.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** This paper discusses an approach to developing an interactive educational platform that utilizes user behavioral data to adapt learning content. Modern e-learning platforms are analyzed and their limitations in terms of personalization are identified. A conceptual model of a system capable of dynamic adaptation of learning materials based on student progress and activity is proposed.

**Keywords:** adaptive learning, educational platforms, personalization

## 1 Вступ

Розвиток онлайн-освіти створив потребу у системах, здатних враховувати індивідуальні особливості студентів, стилі навчання та рівень мотивації. Традиційні платформи пропонують уніфікований контент, що не враховує різницю у підготовці та темпі засвоєння. Адаптивні підходи дають змогу формувати персоналізовані траєкторії, оптимізувати навчальні процеси та підвищувати залученість студентів.

## 2 Аналіз сучасних підходів

Більшість сучасних платформ електронного навчання реалізують адаптивність через базові механізми коригування складності завдань або рекомендацію контенту на основі статистичних даних. Наприклад, Coursera та Edx використовують відстеження прогресу, проте персоналізація обмежена вибором тем і курсів без аналізу поведінкових факторів.

Більш гнучкі рішення, такі як Duolingo та Khan Academy, застосовують автоматичне коригування темпу та складності, виходячи з активності та успішності студента. Проте адаптація в них базується на спрощених показниках (кількість помилок, час виконання), а не на комплексній поведінковій моделі користувача.

Загалом у сучасних платформах простежуються такі обмеження:

- недостатній аналіз поведінкових патернів,
- відсутність персональних навчальних стратегій,
- обмежена адаптивність у режимі реального часу,
- вузький набір показників, що визначають рівень користувача.

Отже, існує потреба у системі, що враховуватиме не лише результати тестів, але й динаміку взаємодії, мотиваційні прояви та індивідуальні навчальні стилі, формуючи гнучку модель користувацької поведінки.

### 3 Аналіз реалізації

Майбутня реалізація платформи може здійснюватися у вигляді веб застосунку з окремими модулями для збору, аналізу та рекомендації контенту. Основний принцип полягає в автоматичному оновленні навчального матеріалу залежно від динаміки успішності та активності студента. Планується застосування простих адаптивних правил (наприклад, зміна складності після низки невдалих спроб) із перспективою розширення алгоритмів за допомогою машинного навчання. Інтерфейс викладача дозволить переглядати узагальнені дані та коригувати структуру курсу. Таким чином, реалізація вимагатиме поєднання веброзробки, аналітики даних та педагогічних підходів до організації навчання.

### Висновки

Запропонований підхід демонструє потенціал створення гнучкої платформи, яка адаптуватиме навчальний контент відповідно до індивідуальних особливостей студентів. Аналіз існуючих рішень показав обмеженість сучасних механізмів персоналізації та необхідність у розширених моделях поведінкового аналізу. У перспективі розвиток системи може охоплювати впровадження машинного навчання, автоматичне формування освітніх стратегій та інтеграцію з зовнішніми ресурсами.

### Література (References)

1. Adaptive Learning Technologies: From Theory to Practice. *Journal of Digital Education* 5(2), 45–60 (2021).
2. Behavioral Analytics in E-learning Systems. In: *Proceedings of the International Conference on Educational Technologies*, pp. 112–123. IEEE, New York (2022).
3. E-learning Industry. Adaptive Learning: Definition, Benefits and Examples.
4. <https://elearningindustry.com/adaptive-learning> (дата звернення: 2025/11/15).
5. EDUCAUSE Review. Learning Analytics: Using Data to Improve Education.
6. <https://er.educause.edu/articles/2023/06/learning-analytics> (дата звернення: 2025/11/07).

# Система моніторингу мережевого трафіку Windows

Букатюк Іван

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Івано-Франківськ, Україна

`ivan.bukatiuk.22@pnu.edu.ua`

**Анотація.** У роботі розглянуто підхід до створення системи моніторингу мережевого трафіку для операційної системи Windows. Проаналізовано основні проблеми сучасних інструментів аналізу мережі та визначено необхідність у доступному рішенні, яке б надавало детальну інформацію про активність мережевих процесів, споживання ресурсів та безпекові індикатори. Сформульовано вимоги до програмного забезпечення для аналізу та візуалізації трафіку в режимі реального часу.

**Ключові слова:** моніторинг мережі, мережевий трафік, аналіз протоколів

## Windows Network Traffic Monitoring System

Ivan Bukatiuk

Vasyl Stefanyk Carpathian National University  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

`ivan.bukatiuk.22@pnu.edu.ua`

**Abstract.** This paper presents an approach to developing a network traffic monitoring system for the Windows operating system. The main challenges of existing network analysis tools are examined, and the need for an accessible solution that provides detailed information about network process activity, resource consumption, and security indicators is highlighted. The requirements for software capable of analyzing and visualizing traffic in real time are formulated.

**Keywords:** network monitoring, network traffic, protocol analysis.

## 1 Вступ

У сучасному світі більшість цифрових сервісів базуються на мережевій взаємодії, а безпека та стабільність мережі стають критичними факторами для користувачів і компаній. Без доступу до інструментів моніторингу складно визначити причини високого використання трафіку, виявити небажані з'єднання чи оцінити роботу мережесх програм. Попри існування професійних інструментів, більшість із них мають високу вартість, складність використання або не надають достатньо інформації пересічному користувачу. Це створює потребу у рішенні, яке було б доступним, простим у використанні та здатним надати повну картину використання мережесх ресурсів у Windows.

## 2 Постановка задачі

Мета роботи полягає у створенні програмного забезпечення для моніторингу мережесх трафіку, яке надає користувачу детальну інформацію про мережесх активність системи.

Система повинна:

1. Відображати активні мережесх процеси та обсяг переданих даних;
2. Аналізувати протоколи та порти, що використовуються програмами;
3. Виявляти підозрілу активність та аномалії в трафіку;
4. Формувати звіти у зручному для користувача форматі;
5. Працювати у режимі реального часу, з мінімальним впливом на продуктивність системи.

Розробка повинна враховувати особливості операційної системи Windows, зокрема доступ до мережесх API, системних процесів та служб безпеки.

## 3 Моніторинг мережесх трафіку

Моніторинг мережі — це процес збору, аналізу та візуалізації даних, пов'язаних із мережесх з'єднаннями. Основою таких систем є використання спеціальних модулів, що здатні перехоплювати пакети, аналізувати їх структуру та визначати призначення даних.

Базові елементи системи моніторингу включають:

1. **Сенсорний модуль** — збирає трафік з мережесх інтерфейсів;
2. **Аналізатор протоколів** — класифікує пакети за типами (TCP, UDP, HTTP тощо);

3. **Детектор аномалій** — виявляє нетипову активність, що може свідчити про загрозу безпеці;
4. **Візуалізаційний модуль** — надає користувачу дані у вигляді графіків, таблиць та сповіщень.

Windows API дозволяє отримувати доступ до мережевих даних без глибокого втручання в ядро системи, що робить можливим розробку полегшених рішень для кінцевих користувачів. Подальший розвиток системи може включати використання машинного навчання для прогнозування аномальної активності та адаптацію політик безпеки.

## Висновки

Використання інструментів моніторингу трафіку дозволяє підвищити безпеку та ефективність використання мережевих ресурсів. Розробка програмного забезпечення для Windows може зробити процес аналізу трафіку доступним широкому колу користувачів, надавши їм інструменти для виявлення проблем у реальному часі. Проведений аналіз показав, що створення системи моніторингу з модульною структурою може суттєво покращити виявлення загроз та оптимізацію мережевої активності. У перспективі застосування інтелектуальних алгоритмів може розширити можливості системи та автоматизувати процеси діагностики.

## Література (References)

1. Kurose, J., Ross, K.: *Computer Networking: A Top-Down Approach*. 7th edn. Pearson, Boston (2016).
2. Shinde, S., Waghmare, K.: Real-Time Network Traffic Analysis Using Packet Sniffing Tools. *Journal of Network Security* 4(2), 87–95 (2023).
3. Microsoft Docs. Windows Filtering Platform (WFP). <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/fwp/windows-filtering-platform> (дата звернення: 2025/10/28).
4. Wireshark Documentation. Introduction to Packet Analysis. <https://www.wireshark.org/docs/> (дата звернення: 2025/11/04).

# РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСОБИСТИХ ЗАВДАНЬ З МОДЕЛЛЮ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ КОРИСТУВАЧА

Микола Фецяк<sup>1</sup>, Лідія Штаєр<sup>2</sup>

1,2 Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-  
Франківськ, Україна  
mykola.fetsiak.22@pnu.edu.ua, lidia.shtaier@cnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі представлено проектування та реалізацію прототипу веб-орієнтованого застосунку для управління особистими завданнями. Запропонована система відрізняється від стандартних списків «to-do» інтеграцією гібридної моделі, що поєднує статистичний аналіз та машинне навчання для запобігання професійному вигоранню. Застосунок розроблено як Single Page Application (SPA). Запропоновано використання математичної моделі розрахунку коефіцієнта ефективності та підхід з використання інтелектуального прогнозування часових витрат.

**Ключові слова:** веб-застосунок, управління завданнями, прогнозування навантаження, особиста продуктивність, інтелектуальна система.

## DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR PERSONAL TASK ORGANIZATION WITH A USER WORKLOAD PREDICTION MODEL

Mykola Fetsyak<sup>1</sup>, Lidia Shtaier<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
mykola.fetsiak.22@pnu.edu.ua, lidia.shtaier@cnu.edu.ua

**Abstract.** This paper presents the design and implementation of a web-based application prototype for personal task management. The proposed system differs from standard "to-do" lists by integrating a hybrid model combining statistical analysis and machine learning to prevent professional burnout. The application is developed as a Single Page Application (SPA). The use of a mathematical

model for calculating the efficiency coefficient and an approach using intelligent forecasting of time costs are proposed.

**Keywords:** web application, task management, workload forecasting, personal productivity, intelligent system.

## 1 Вступ

Через шалений темп сучасного життя та величезний потік інформації традиційні методи планування часто виявляються неефективними. Тому вміння керувати часом дуже важливе для кар'єри й психічного здоров'я. Постійний стрес на роботі та невміння правильно розподілити навантаження призводять до професійного вигорання, яке стало однією з головних проблем.

Існує багато програм для планування, на зразок Todoist, Trello, Google Tasks чи Microsoft To Do. Але здебільшого вони працюють як звичайні списки: дозволяють створювати завдання та встановлювати терміни, проте не враховують психологічний стан людини та її можливості. Це призводить до того, що невиконані завдання накопичуються, викликаючи тривогу та стрес [1].

У роботі представлено методику організації завдань, що базується на статистичному аналізі індивідуального навантаження та інтегруванні моделей машинного навчання. Метою дослідження є розробка автоматизованої системи планування часу, що даватиме індивідуальні рекомендації. Це допоможе ефективно розподіляти робоче навантаження та уникати перевтоми.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Інструменти для планування часу дуже різні. Прості списки справ, наприклад, рідко дозволяють аналізувати дані. А от складніші системи наприклад, як Asana, часто завеликі для однієї людини. Але головна їхня проблема — вони не попереджають користувача, коли той планує щось нереалістично. Наприклад, якщо ви спробуєте запланувати 12 годин роботи на 8-годинний робочий день, більшість програм просто це проігнорують. Запропонована розробка має на меті вирішити цю проблему шляхом впровадження інтелектуального аналізу завдання [2].

## 3 Архітектура системи та обґрунтування технологій

### 3.1 Технологічний стек

Для перевірки гіпотези та тестування алгоритмів був використаний метод швидкого прототипування. Саму програму зроблено як веб-додаток на стороні клієнта.

Інтерфейс користувача створено за допомогою звичайних вебтехнологій (HTML, CSS, JavaScript), відмовившись від великих фреймворків. Це зроблено

для забезпечення швидкості роботи й сумісності з різними браузерами. Обчислення відбуваються безпосередньо в браузері користувача, використовуючи JavaScript.

На етапі створення прототипу для збереження даних застосовувався Web Storage API (LocalStorage). Це було зроблено для швидкого запуску та перевірки моделі даних без потреби у серверній інфраструктурі. Інформація про користувачів, їхні завдання та історія їх виконання зберігаються у форматі JSON безпосередньо. Таким чином, можна імітувати роботу з документо-орієнтованою NoSQL базою даних, при цьому забезпечуючи збереження даних між сеансами [3]

### 3.2 Алгоритм прогнозування навантаження

Головна новизна цієї роботи полягає в поєднанні статистичних методів для ретроспективного аналізу з машинним навчанням для проспективного прогнозування. Такий підхід дає змогу оцінювати час у два етапи.

На першому етапі система розраховує базовий коефіцієнт ефективності для користувача. Цей показник — середнє співвідношення між фактично витраченим часом і тим, що було заплановано спочатку. Наприклад, якщо користувач регулярно витрачає на завдання більше часу, ніж планував, коефіцієнт зростає. Система може автоматично коригувати майбутні плани.

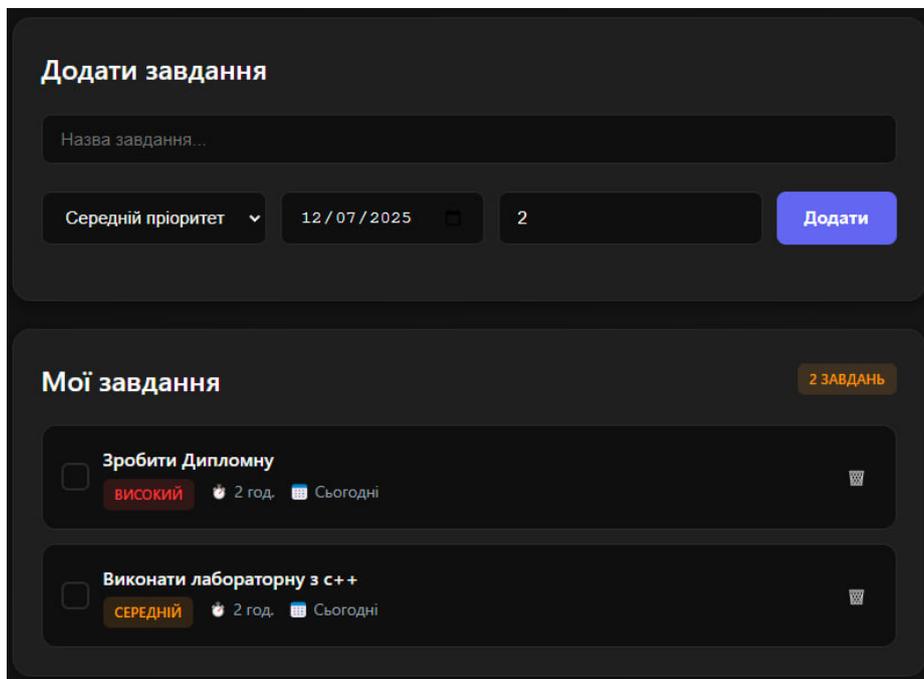
Однак, просте статистичне усереднення не враховує контекст виконання задач. Тому, на другому рівні, для забезпечення інтелектуальної складової, імплементовано алгоритм Random Forest Regression (регресія випадкового лісу) це ансамблевий метод машинного навчання, який підвищує точність прогнозування шляхом усереднення результатів, отриманих від множини незалежних дерев рішень. Використання цього алгоритму дозволяє нівелювати вплив аномальних викидів (наприклад, випадково незакритих завдань), оскільки фінальний результат не залежить від однієї моделі. Це забезпечує стабільність прогнозування в умовах мінливої поведінки користувача та дозволяє ефективно працювати з обмеженим обсягом даних у LocalStorage, генеруючи різноманітні навчальні вибірки. На відміну від простої статистики, ця модель приймає на вхід вектор ознак: складність завдання, час доби, категорію задачі та поточний рівень втоми. Це дозволяє виявити нелінійні залежності та коригувати план індивідуально. Якщо сумарний прогнозований час перевищує ліміт, система сигналізує про ризик вигорання.

В систему інтегрована велика мовна модель (Llama 3.3) за допомогою API для надання генеративної допомоги (GenAI). Якщо система реєструє високе навантаження, а саме завантаженість користувачів перевищує 60%, тоді штучний інтелект автоматично пропонує розділити складні завдання на підзадачі для спрощення планування [4].

## 4 Результати реалізації

В результаті роботи було створено робочий прототип системи. Реалізовано базові CRUD-операції для завдань, механізм фіксації часу та автоматичний розрахунок коефіцієнта ефективності.

На рис. 1 бачимо інтерфейс прототипу веб-додатку. Тут є панель, де можна створити завдання, вказавши час і пріоритет. Поруч – список активних завдань; їхній колір одразу показує важливість. Такі дані потім надходять до алгоритму, який контролює навантаження.



*Рис. 1. Інтерфейс прототипу з демонстрацією роботи алгоритму за-  
побігання вигоранню.*

На Рис. 2. показано модальне вікно AI помічник: декомпозиція задач. Тут інтегрований генеративний штучний інтелект автоматично розбиває складні завдання на дрібніші підзадачі. Користувачі потім можуть вибірково додавати їх до свого плану.

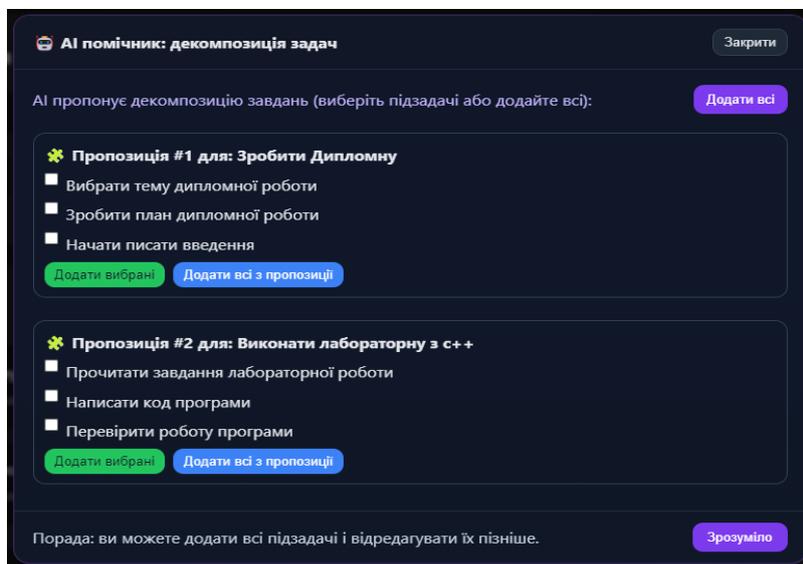


Рис. 2. Модальне вікно ШІ-помічника для декомпозиції задач

## Висновки поєднання такого підходу

Розроблений функціональний прототип веб-застосунку на гібридній моделі. LocalStorage допоміг протестувати алгоритми розрахунку, не розгортаючи серверну інфраструктуру. Інтеграція Random Forest допомогла врахувати нелінійні залежності під час планування. Генеративний ШІ автоматизував декомпозицію завдань. Це рішення покликане оптимізувати когнітивне навантаження користувача. Далі планується перенести систему на архітектуру Node.js та MySQL.

## ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. Edú-Valsania S., Laguía A., Moriano J. A. Burnout: A Review of Theory and Measurement. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, No. 3. Article 1780. URL: [https://www.mdpi.com/1660-4601/19/3/1780](https://www.mdpi.com/1660-4601/19/3/1780)(accessed 08.12.2025).
2. Marr B. *Artificial Intelligence in Practice: How 50 Successful Companies Used AI and Machine Learning to Solve Problems*. Wiley, 2019. 320 p.
3. MDN Web Docs. Web Storage API. URL: [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web\_Storage\_API](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web\_Storage\_API)(accessed 05.12.2025).
4. Groq Inc. Llama 3.3 Model Documentation. 2024. URL: [https://console.groq.com/docs/overview](https://console.groq.com/docs/overview) (accessed 07.12.2025).

## Система підтримки кулінара з інтерактивним формуванням меню на основі наявних інгредієнтів

Айб Олександр

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна

oleksandr.aib.22@pnu.edu.ua

**Анотація.** У роботі представлено вебзастосунок підтримки кулінара з можливістю формування меню на основі наявних інгредієнтів. Система дозволяє користувачу створювати персональні добірки страв, отримувати рекомендації рецептів відповідно до продуктів, що є у наявності, та враховувати індивідуальні вподобання. Розглянуто сучасні інструменти веброзробки, обрано технології реалізації та розроблено алгоритм підбору страв за складом. Проєкт спрямований на оптимізацію процесу приготування їжі, зменшення харчових відходів і спрощення планування раціону.

**Ключові слова:** вебзастосунок, підбір рецептів, інгредієнти, меню, кулінарна система, рекомендації, персоналізація, харчування.

## Support System for Cooks with Interactive Menu Generation Based on Available Ingredients

Oleksandr Aib

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
oleksandr.aib.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper presents a web application for culinary support with the ability to create menus based on available ingredients. The system allows users to create personal selections of dishes, receive recipe recommendations based on available products, and take individual preferences into account. Modern web development tools are considered, implementation technologies are selected, and an algorithm for selecting dishes by composition is developed. The project aims to optimize the cooking process, reduce food waste, and simplify meal planning.

**Keywords:** web application, recipe selection, ingredients, menu, culinary system, recommendations, personalization, nutrition.

## 1 Вступ

Планування харчування є невід’ємною частиною повсякденного життя, однак у більшості людей це супроводжується низкою труднощів: обмеженою кількістю продуктів, відсутністю часу для пошуку відповідних рецептів, складністю у підборі страв під індивідуальні вподобання та потреби. Часто користувачам доводиться витратити значний час на перегляд кулінарних сайтів, сортування великої кількості непотрібних результатів або повторне використання однотипних страв. Крім того, неправильне планування харчування призводить до перевитрат продуктів та збільшення харчових відходів.

Сучасні тенденції цифровізації дають можливість оптимізувати цей процес шляхом створення вебсервісів, що поєднують автоматизацію, персоналізацію та рекомендаційні алгоритми. Такі рішення дозволяють користувачам швидко отримувати корисну інформацію, враховувати наявні інгредієнти, зберігати власні добірки рецептів та ефективно формувати щоденне меню. Реалізація інтелектуальної системи підбору страв може значно спростити процес приготування їжі, зробити його більш економним і зрозумілим для користувача.

## 2 Аналіз тематичної області

Кулінарні інформаційні ресурси традиційно пропонують великий обсяг рецептів, проте більшість із них не забезпечує зручної взаємодії на основі наявних продуктів. Користувач зазвичай самостійно порівнює склад страв із продуктами, які має вдома, що потребує часу та не завжди дає бажаний результат. Інші ресурси частково дозволяють фільтрувати рецепти, але не враховують індивідуальних обмежень, смаків, умов зберігання продуктів та не пропонують можливості формування меню.

Вивчення предметної області показує, що сучасному користувачу необхідна система, яка:

- аналізуватиме список наявних інгредієнтів та автоматично пропонуватиме відповідні рецепти;
- дозволить зберігати улюблені страви, створювати власні колекції та ділитися ними;
- надаватиме персоналізовані рекомендації з урахуванням дієтичних обмежень, бюджету та калорійності;
- пропонуватиме оптимізацію використання продуктів, щоб зменшити відходи.

## 3 Методологія

Для розробки вебзастосунку підтримки кулінара з інтерактивним формуванням меню використовуватиметься комплексний підхід, що поєднує інструменти

веброзробки, методи рекомендаційних систем та аналіз потреб користувачів. Основні етапи методології включають:

- **Літературний огляд та аналіз ринку**  
Дослідження сучасних кулінарних сервісів, їх функціональних можливостей, алгоритмів пошуку рецептів та підбору страв. Вивчення наукових праць щодо рекомендаційних систем і методів оптимізації харчування.
- **Вибір технологій та архітектури системи**  
Визначення стеку технологій (наприклад: JavaScript, Node.js, React/Angular/Vue, база даних MongoDB або MySQL) та вибір архітектури, що забезпечить масштабованість, зручність оновлення та підтримку персоналізації.
- **Розробка алгоритму рекомендацій рецептів**  
Створення алгоритмічного модуля, що здійснює підбір страв на основі продуктів, які є у користувача. Урахування додаткових факторів: харчові вподобання, калорійність, бюджет та кількість порцій.
- **Тестування та вдосконалення системи**  
Перевірка коректності роботи алгоритму підбору страв, функціоналу кабінету користувача, обміну даними з базою, адаптивн. виправлення виявлених помилок і покращення продуктивності вебзастосунку.

## 4 Аналіз реалізації

Вебзастосунок дозволяє користувачу створювати перелік наявних інгредієнтів та отримувати персоналізовані рекомендації рецептів. У системі реалізовано зручний механізм фільтрації страв за продуктами, калорійністю, дієтичними обмеженнями та орієнтовною вартістю приготування. Користувач може зберігати улюблені рецепти, формувати добірки, ділитися ними та створювати власні меню.

Для авторизованих користувачів доступна персоналізація профілю, збереження історії взаємодії, а також додавання власних рецептів, що розширюють колекцію системи. Усі дані зберігаються в централізованій базі, що забезпечує структурованість інформації та безпечний доступ.

Система забезпечує інтерактивність, зручність і скорочує час на підбір рецептів, сприяючи раціональному використанню продуктів, економії коштів та покращенню процесу планування харчування.

## Висновки

Створена система дає змогу суттєво скоротити час пошуку страв, підвищує ефективність планування раціону та сприяє економному використанню продуктів. Реалізація рекомендаційного модуля дозволила врахувати

індивідуальні вподобання користувачів, харчові обмеження та вартість інгредієнтів, що робить сервіс більш гнучким і практичним для широкого кола користувачів.

Система підтримує додаткові можливості у вигляді реєстрації користувачів, збереження рецептів у власні колекції, створення списків покупок і пропозицій щодо оптимального використання продуктів. Вибрані технології вебзробки забезпечили надійність, інтерактивність та масштабованість реалізованого рішення. Створений вебзастосунок може бути застосований у повсякденному житті, здатний стати основою для комерційного продукту, а також має потенціал для подальшого розвитку шляхом інтеграції з мобільними платформами та системами штучного інтелекту.

### Література (References)

1. Zabawa, S., Phan, T. T., & Liu, F.: Recipe Recommendation Systems: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 55(4), 1–34 (2023).
2. Faggioli, G., Guerini, F., & Pasi, G.: Combining Food Ontology and User Preferences for Personalized Recipe Recommendations. *Expert Systems with Applications*, 210, 118–159 (2022).
3. Bizer, C., Heath, T., & Berners-Lee, T.: Linked Data — The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems* 5(3), 1–22 (2009).

# Багатомовна комунікаційна платформа для міжнародних знайомств із функцією автоматичного перекладу

Часовщиків Юрій Юрійович<sup>1</sup>, Віктор Ровінський<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

yurii.chasovshchikov.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н. доцент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника,

Івано-Франківськ; Україна  
victor.rovinsky@pnu.edu.ua

**Анотація.** Ключовою функцією платформи є автоматичний переклад повідомлень у режимі реального часу, що усуває мовні бар'єри між користувачами з різних країн. Платформа має на меті значно спростити та розширити можливості міжкультурного спілкування та побудови стосунків, роблячи міжнародні знайомства доступними та ефективними незалежно від рідної мови співрозмовників.

**Ключові слова:** Багатомовна платформа, Міжнародні знайомства, Автоматичний переклад, Нейромережевий переклад, Комунікація в реальному часі, Усунення мовних бар'єрів.

## Multilingual Platform for International Dating

Yurii Chasovshchikov<sup>1</sup>, Victor Rovinsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

yurii.chasovshchikov.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Associate Professor, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

victor.rovinsky@pnu.edu.ua

**Abstract.** The platform's key feature is the **automatic translation** of messages in real time, which **eliminates language barriers** between users from different countries. The platform aims to significantly **simplify and expand the**

**possibilities** for cross-cultural communication and relationship building, making international dating accessible and effective regardless of the native language of the interlocutors.

**Keywords:** Multilingual Platform, International Dating, Automatic Translation, Neural Machine Translation, Real-Time Communication, Elimination of Language Barriers.

## 1 Вступ

В епоху безпрецедентної глобалізації та посиленої мобільності кордони між країнами стають все менш відчутними. Завдяки цьому міжнародні знайомства перетворилися з нішевого явища на значущий сегмент ринку, де мільйони людей прагнуть будувати міжкультурні стосунки. Проте, незважаючи на технологічний прогрес, мовний бар'єр залишається найсерйознішим і найскладнішим викликом, який часто призводить до нерозуміння, спотворення намірів та емоційної відчуженості.

Актуальність дослідження зумовлена гострою потребою у створенні технологічного інструменту, який не просто механічно перекладає слова, а забезпечує безшовну, контекстуально точну та емоційно нейтральну комунікацію в режимі реального часу. Існуючі рішення або ігнорують цю проблему, або пропонують низькоякісний переклад, що є неприйнятним у делікатній сфері особистих стосунків.

Метою даного дослідження є розробка та архітектурне обґрунтування багатомовної комунікаційної платформи для міжнародних знайомств із вбудованою функцією нейромережевого автоматичного перекладу. Ця платформа має забезпечити якість спілкування, ідентичну спілкуванню однією мовою, шляхом мінімізації затримок та врахування неформального, сленгового та емоційного контенту.

Практична значимість запропонованої платформи полягає у створенні інноваційного ринкового рішення, яке не тільки усуне мовні обмеження, але й значно розширить географію та успішність міжнародних знайомств, надаючи користувачам унікальний, надійний та емоційно комфортний інструмент для побудови міжкультурних зв'язків.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сфера міжнародних знайомств є висококонкурентною, домінованою кількома великими гравцями. Сучасні платформи для знайомств дозволяють користувачам швидко знаходити потенційних партнерів на різних континентах. Проте, проведений аналіз існуючих рішень виявив критичні недоліки, пов'язані саме з багатомовною комунікацією:

Tinder (Match Group)[1]: Будучи світовим лідером за кількістю користувачів та географічним охопленням, Tinder фокусується на швидкому встановленні зв'язку

та локації. Переваги: Максимальна глобальна аудиторія, інтуїтивний інтерфейс. Недоліки: Повна відсутність вбудованої функції автоматичного перекладу. Користувачі змушені залишати додаток і використовувати зовнішні сервіси (Google Translate), що руйнує безшовність спілкування та створює значні незручності.

Badoo[2]/Bumble[3]: Ці платформи мають ширші можливості для профілів, ніж Tinder, і орієнтовані як на міжнародне, так і на локальне спілкування. Переваги: Великі бази користувачів, певний функціонал, що сприяє глибшому знайомству. Недоліки: Якщо функція перекладу і присутня (частіше в Badoo), вона зазвичай працює на основі базових, застарілих API (наприклад, статистичного перекладу або перших ітерацій NMT), що забезпечує низьку якість, буквальність та ігнорування емоційного та сленгового контексту. Це призводить до непорозумінь, критичних для особистого спілкування.

Спеціалізовані міжнародні агенції та нішеві сайти: Часто орієнтовані на певні регіони (наприклад, Східна Європа – Західна Європа). Переваги: Висока мотивація користувачів, сфокусована аудиторія. Недоліки: Висока вартість (підписка, оплата за повідомлення), часто посередня якість перекладу, який може бути виконаний лише для платних повідомлень, що обмежує вільний діалог. Архітектура є закритою, що унеможливує впровадження інноваційних рішень у сфері NMT.

### **3 Запропоновані рішення**

Запропонована платформа усуне мовні бар'єри, пропонуючи автоматичний переклад, інтегрований безпосередньо у чат, на відміну від конкурентів. Ключова перевага — переклад у режимі реального часу, який гарантує миттєву та природну комунікацію без затримок. Ми використовуємо спеціалізовану архітектуру для забезпечення високої швидкості та точності, налаштованої на неформальну мову та емоційні відтінки. Платформа також включає автоматичне визначення мови та механізм зворотного зв'язку від користувачів для постійного покращення якості. Це робить наше рішення технологічно досконалішим і забезпечує безшовний досвід міжнародного спілкування.

### **Висновки**

Проведений аналіз предметної області та огляд існуючих рішень підтверджує, що ключовим викликом у міжнародних знайомствах є якість комунікації. Запропоноване рішення — багатомовна платформа з інтегрованим, високоякісним та контекстно-залежним автоматичним перекладом — має потенціал кардинально усунути мовні бар'єри, значно покращити користувацький досвід та підвищити ефективність побудови міжнародних стосунків. Реалізація цієї концепції дозволить створити конкурентоспроможний продукт, що відповідає сучасним вимогам глобального ринку.

## Література (References)

1. Tinder | Dating, Make Friends & Meet New People. *Tinder*. URL: <https://tinder.com/> (date of access: 01.12.2025).
2. Beste kostenlose App und Website für Online-Dating – Freunde, chatten, flirten | Badoo. *Badoo*. URL: <https://badoo.com/> (date of access: 01.12.2025).
3. Bumble | Date, Chat & Meet New People. *Bumble*. URL: <https://bumble.com/> (date of access: 01.12.2025).

# Машинне навчання у системах електронної комерції

Лахманюк Ганна

Карпатський національний університет ім. Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

`lakhmaniuk.hanna@comp-sc.if.ua`

**Анотація.** У роботі розглянуто застосування методів машинного навчання в електронній комерції з метою покращення персоналізації, оптимізації процесів взаємодії з клієнтами та підвищення ефективності роботи онлайн-магазинів. Особливу увагу приділено рекомендаційним системам, які формують індивідуальні пропозиції товарів на основі поведінки користувачів та характеристик продукції.

**Ключові слова:** Машинне навчання, електронна комерція, рекомендаційні системи, персоналізація, React.js, Node.js.

## Machine Learning in E-Commerce Systems.

Lakhmaniuk Hanna

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

`lakhmaniuk.hanna@comp-sc.if.ua`

**Abstract.** This paper examines the use of machine learning methods in e-commerce to improve personalization, enhance customer interaction, and increase the efficiency of online retail platforms. Special attention is given to recommendation systems that generate personalized product suggestions based on user behavior and product attributes.

**Keywords:** Machine learning, E-Commerce, Recommender systems, Personalization, React.js, Node.js.

### 1 Вступ

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій електронна комерція стала одним із найдинамічніших сегментів бізнесу. Зростання кількості онлайн-покупців та обсягів даних створює потребу у впровадженні інтелектуальних

інструментів, здатних автоматично аналізувати поведінку користувачів і формувати релевантні пропозиції.[1]

Одним із найефективніших рішень для цього є системи машинного навчання, які дають змогу створювати персоналізовані рекомендації, прогнозувати попит, оптимізувати пошук та автоматизувати взаємодію з клієнтами.

Актуальність теми зумовлена тим, що значна частина інтернет-магазинів все ще використовує базові механізми сортування чи ручного підбору товарів, що не враховують індивідуальні вподобання покупців. Впровадження ML-моделей дозволяє суттєво підвищити ефективність електронної комерції, збільшити продажі та покращити досвід користувачів.

Метою даної роботи є розробка концепції рекомендаційної системи на основі машинного навчання, яка забезпечує персоналізовані пропозиції товарів у онлайн-магазині та дозволяє підвищити рівень взаємодії з клієнтами.

## 2 Аналіз предметної області

Електронна комерція характеризується великими наборами даних: історією покупок, переглядами товарів, відгуками, діями користувачів на сайті. Ці дані можуть бути використані для побудови інтелектуальних систем рекомендацій.

На даний час більшість платформ використовують один із підходів:

- Контент-орієнтований метод — рекомендація товарів, схожих на ті, що користувач уже переглядав або купував.
- Колаборативну фільтрацію — пошук схожих користувачів та пропонування товарів, які подобаються їм.
- Гібридні моделі — поєднання двох підходів для підвищення точності та усунення проблеми “холодного старту”.

Традиційні механізми сортування, які не використовують ML, не здатні адаптуватися до індивідуальної поведінки користувача, що зменшує ймовірність покупки та обмежує можливості персоналізації.

## 3 Запропоноване рішення

Запропонована система рекомендацій товарів реалізована у вигляді веб-платформи, яка обробляє дані користувачів та формує персоналізовані списки товарів у реальному часі.

Ключовим елементом системи є гібридна модель машинного навчання, що поєднує контентні та колаборативні методи для досягнення високої точності рекомендацій.

Основні можливості системи:

- збір та аналіз дій користувачів (перегляди, покупки, пошукові запити);
- визначення схожості між товарами за їхніми характеристиками;
- пошук користувачів із подібними інтересами;
- формування індивідуальних рекомендацій для кожного профілю;

адаптивне оновлення моделей відповідно до нових даних.

Для реалізації системи використовуються технології JavaScript [2] та такі інструменти:

React.js — для побудови інтерфейсу користувача [3];

Node.js — для серверної логіки та обробки ML-моделей [4];

Алгоритми ML — колаборативна фільтрація, контентне порівняння, гібридні підходи [5];

MongoDB — для зберігання даних користувачів та історії рекомендацій [6].

## Висновок

Запропонована система рекомендацій на основі машинного навчання значно покращує взаємодію з користувачами, дозволяючи формувати персональні пропозиції для кожного клієнта. Використання гібридної моделі забезпечує високу точність результатів навіть у ситуаціях з недостатньою кількістю даних.

Система сприяє підвищенню конверсії, покращенню користувацького досвіду та зменшенню навантаження на персонал завдяки автоматизації процесу рекомендацій.

## Література (References)

1. Machine Learning in E-commerce: A Review, ACM Digital Library, last accessed 2025/11/01.
2. M.Haverbeke, Eloquent JavaScript 4<sup>th</sup> edition, No Starch Press (2025).
3. Ricci F., Recommender Systems Handbook, Springer, last accessed 2025/11/01.
4. Node.js documentation. Node.js JavaScript runtime. Available: <https://nodejs.org/en/docs/>, last accessed 2025/11/11.
5. Collaborative Filtering and Hybrid Models in Recommender Systems, IEEE Publications, last accessed 2025/11/05.
6. MongoDB Tutorial, <https://www.w3schools.com/mongodb/>, last accessed 2025/11/10

## Система прийняття підприємницьких рішень в умовах невизначеності і ризику

Артем Нестерук<sup>1</sup>, Наталія Превисокова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

artem.nesteruk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> к.т.н., доцент, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ; Україна

prevysokova.nataliia@comp-sc.if.ua

**Анотація.** Розглянуто архітектуру інформаційної системи для підтримки прийняття управлінських рішень, що інтегрує методи математичного моделювання та теорії ігор. Спроектовано логічну структуру модулів для оцінки альтернатив та розрахунку матриці ризиків за критеріями Вальда, Гурвіца та Лапласа. Архітектура рішення розроблена з урахуванням можливості подальшої програмної реалізації та обробки статистичних даних про стан ринку для мінімізації фінансових втрат.

**Ключові слова:** Архітектура ПЗ, Інформаційна система, Моделювання, Теорія ігор, Управління ризиками.

## System of Entrepreneurial Decision Making Under Conditions of Uncertainty and Risk

Artem Nesteruk<sup>1</sup> and Nataliia Prevysokova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 1 student, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

artem.nesteruk.22@pnu.edu.ua

<sup>2</sup> PhD, Senior lecturer, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk; Ukraine

prevysokova.nataliia@comp-sc.if.ua

**Abstract.** The architecture of an information system for management decision support, integrating methods of mathematical modeling and game theory, is considered. A logical structure of modules for evaluating

alternatives and calculating the risk matrix according to Wald, Hurwicz, and Laplace criteria is designed. The solution architecture is developed with the possibility of future software implementation and processing of statistical data on the market state to minimize financial losses in mind..

**Keywords:** Game theory, Information system, Modeling, Risk management, Software architecture.

## 1 Вступ

У сучасних умовах динамічного та нестабільного ринкового середовища підприємці стикаються з дедалі більшою кількістю ситуацій, у яких неможливо отримати повну й достовірну інформацію для ухвалення рішень. Знаковий теоретик менеджменту Пітер Друкер наголошував, що управління й підприємництво за своєю природою тісно пов'язані з невизначеністю та ризиком, адже майбутнє ніколи не може бути передбачене повністю [1]. Саме тому системи підтримки рішень повинні враховувати не лише економічні параметри, а й багатовимірний вплив зовнішнього середовища.

Попри активний розвиток цифрових інструментів, аналітичних платформ і засобів автоматизації, значна частина управлінських рішень усе ще формується за умов неповної інформації. Це посилює потребу у методах, що допомагають підприємцю обирати оптимальні стратегії в ситуаціях ризику. Друкер підкреслював, що ефективний менеджер працює не з абсолютною певністю, а з імовірнісними сценаріями, і саме здатність орієнтуватися в умовах невизначеності визначає якість управління та довгострокову конкурентоспроможність організації.

Актуальність теми зумовлена тим, що сучасний бізнес функціонує в умовах значної турбулентності: ринкові коливання, технологічні зміни, глобальні кризи та зовнішні ризики безпосередньо впливають на результативність підприємств. Ефективна система підтримки рішень дозволяє зменшити рівень невизначеності, підвищити обґрунтованість вибору та забезпечити стратегічну стійкість бізнесу.

Метою даної роботи є аналіз підходів і моделювання архітектури інформаційної системи для прийняття підприємницьких рішень в умовах ризику, яка підвищує точність прогнозування завдяки автоматизації розрахунку критеріїв теорії ігор.

Практична значимість полягає в тому, що системний підхід до оцінювання ризиків дає змогу підприємствам швидко адаптуватися до змін ринку, ефективніше розподіляти ресурси та знижувати потенційні втрати. Це є критично важливим у сучасному конкурентному середовищі, де швидкість і якість рішень безпосередньо впливають на успіх бізнесу.

## 2 Аналіз предметної області та існуючих рішень

Сфера автоматизації управлінської діяльності охоплює інформаційні системи, що забезпечують обробку даних, сценарне моделювання та вибір оптимальних

стратегій розвитку. Основними складовими цього процесу є аналіз альтернатив, оцінка ймовірностей та прогнозування наслідків. Ризик у підприємстві — це не лише загроза втрат, але й джерело потенційного прибутку [1]. Для підтримки рішень сучасний бізнес використовує інструменти, які здебільшого фокусуються на аналізі ретроспективних даних («що сталося?»).

Для визначення конкурентного середовища та виявлення недоліків існуючих підходів було проаналізовано основні класи програмних продуктів:

MS Excel [2]. Переваги: низький поріг входження, підтримка PivotTables і макросів. Недоліки: ризик помилок ручного введення, проблеми безпеки та обмежена продуктивність при роботі з великими масивами даних. ERP-системи [3]. Переваги: інтеграція даних відділів, стандартизація процесів. Недоліки: висока вартість, складне впровадження, орієнтація на операційну ефективність, а не на гнучке моделювання ризиків. Python [4]. Переваги: гнучка автоматизація, масштабованість, потужна візуалізація. Недоліки: високий поріг входження, необхідність налаштування середовища та технічної експертизи.

### 3 Запропоноване рішення

Концепція системи передбачає можливість моделювання ситуацій прийняття рішень шляхом побудови матриці наслідків, де рядки відповідають альтернативним стратегіям, а стовпці — можливим станам зовнішнього середовища. Це дозволяє структурувати вхідні дані про очікувані прибутки або втрати для кожного сценарію.

Для автоматизованого вибору найкращої альтернативи в умовах невизначеності передбачено використання кількох математичних алгоритмів. Зокрема, планується застосування критерію Вальда (максимін) для користувачів із песимістичною стратегією. Для пошуку балансу між ризиком та обережністю передбачено реалізацію критерію Гурвіца, який дозволяє налаштовувати коефіцієнт оптимізму. Також система розраховує критерій Лапласа[5] для ситуацій, коли ймовірності станів середовища невідомі.

Архітектура рішення спроектована з модульним підходом, що включає обчислювальне ядро та модуль візуалізації. Для програмної реалізації обрано мову Python та бібліотеки NumPy і Pandas[6], що забезпечує швидку обробку табличних даних. Вебінтерфейс проектується на базі фреймворку Streamlit[7], що забезпечує інтуїтивну взаємодію: користувач задає параметри, а система генерує рекомендації та візуалізує результати.

Запропонована модель інформаційної системи автоматизує рутинні розрахунки та мінімізує ймовірність помилок. Гнучка архітектура дозволяє у майбутньому масштабувати функціонал, додаючи нові критерії оцінки ризиків без зміни структури бази даних.

## Висновки

У результаті дослідження було вирішено завдання зі створення концепції та моделювання інформаційної системи для підтримки прийняття підприємницьких рішень, яка поєднує можливості математичного моделювання ситуацій та автоматизований розрахунок критеріїв теорії ігор.

Запропонована система вирішує актуальні проблеми сучасних підприємців, а саме: надає доступний інструмент для сценарного аналізу в умовах невизначеності та забезпечує можливість наукового обґрунтування стратегій замість інтуїтивного вибору. Використання сучасного стеку технологій (Python, NumPy, Pandas, Streamlit) дозволило спроектувати швидкий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із потенціалом для масштабування.

Перспективи подальшого розвитку охоплюють програмну реалізацію спроектованих модулів, поглиблення інтелектуальних можливостей системи (впровадження алгоритмів нечіткої логіки для обробки якісних оцінок), а також інтеграцію із зовнішніми джерелами економічних даних.

## References

1. "Пітер Друкер: управління та підприємництво," Visionary Management, [Online]. Available: <https://visionary.management.com.ua/management/peter-drucker/> [Accessed 05 12 2025].
2. "Advantages and Disadvantages of MS Excel," AlmaBetter, [Online]. Available: <https://www.almabetter.com/bytes/articles/advantages-and-disadvantages-of-ms-excel>. [Accessed 05 12 2025].
3. "Що таке ERP-система і які її плюси для бізнесу," Brainlab, [Online]. Available: <https://brainlab.com.ua/uk/blog-uk/shho-take-erp-systema-i-yaki-yiyi-plyusy-dlya-biznesu>. [Accessed 05 12 2025].
4. "Learned Python as an Entrepreneur," Medium, [Online]. Available: <https://medium.com/@winyadanaroo/learned-python-as-a-entrepreneur-34a2765e1efb>. [Accessed 05 12 2025].
5. "Критерій Лапласа," Stud.com.ua, [Online]. Available: [https://stud.com.ua/34760/fiansi/kriteriy\\_laplasa](https://stud.com.ua/34760/fiansi/kriteriy_laplasa). [Accessed 05 12 2025]
6. "Top 30 Python Libraries for Data Science," AlmaBetter, [Online]. Available: <https://www.almabetter.com/bytes/tutorials/python/popular-python-libraries>. [Accessed 05 12 2025].
7. "What is Streamlit?," UI Bakery, [Online]. Available: <https://uibakery.io/blog/what-is-streamlit>. [Accessed 05 12 2025].

## Особливості системи аналізу медичних зображень із використанням методу опорних векторів

Катерина Гоцуляк<sup>[0009-0001-9032-4249]</sup>,  
Науковий керівник - Володимир Кобзєв<sup>[0000-0002-8303-1595]</sup>

kateryna.horishnia@nure.ua, volodymyr.kobziev@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

**Анотація.** Представлено систему для аналізу медичних зображень із використанням методу опорних векторів. Розглянуто послідовність обробки даних – від попередньої підготовки до класифікації структур та побудови теплових карт для локалізації патологічних ділянок. Система має клієнт–серверну архітектуру. Результати призначені для ефективного розпізнавання патологічних утворень і підвищення точності діагностичних рішень.

**Ключові слова:** аналіз зображень, комп'ютерна томографія, SVM, теплові карти, архітектура системи.

## Features of the Medical Image Analysis System Using the Support Vector Method

Kateryna Gotsulyak<sup>[0009-0001-9032-4249]</sup>,

Scientific advisor - Volodymyr Kobziev<sup>[0000-0002-8303-1595]</sup>

kateryna.horishnia@nure.ua, volodymyr.kobziev@nure.ua

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

**Abstract.** A system for analyzing medical images using the support vector method is presented. The sequence of data processing is considered - from preliminary preparation to classification of structures and construction of heat maps for localization of pathological areas. The system has a client-server architecture. The results are intended for effective recognition of pathological formations and increasing the accuracy of diagnostic decisions.

**Keywords:** image analysis, computed tomography, SVM, heat maps, system architecture.

## 1 Вступ

Сучасні методи комп'ютерної медичної діагностики на базі детальних зображень внутрішніх органів дають можливість виявляти їх характерні ознаки, спеціальна обробка яких стає формальною основою для формування діагнозу і оцінювання стадії захворювання [1].

Розширення томографічних досліджень потребує створення спеціалізованих систем аналізу отримуваних зображень з використанням програмної реалізації сучасних методів класифікації стану захворювання згідно особливостей форми і розташування елементів цих зображень.

Методи машинного навчання здатні підвищити об'єктивність і стабільність оцінювання зображень, скоротити час аналізу та зменшити вплив людського фактору. Серед ефективних алгоритмів виокремлюють метод опорних векторів (Support Vector Machine, SVM) завдяки його здатності до розрізнення складних структур і нелінійними залежностями у багатовимірних просторах ознак [2, 3].

Ключова ідея методу опорних векторів полягає у побудові гіперповерхні, що відокремлює дані різних класів у багатовимірному просторі ознак. Для реальних медичних випадків, де межі між класами є складними і нелінійними, застосовуються ядрові функції – зокрема радіально-базисна, яка дає моделі змогу адаптуватися до складної геометрії розподілу клітин [4]. Використання радіально-базисного ядра є одним із ключових факторів точності, яке дозволяє моделі адаптуватися до складної геометрії тканинних структур. Такий підхід забезпечує коректне формування меж між класами у випадках, де лінійні моделі виявляються недостатніми. Розширення простору ознак підвищує якість класифікації, що особливо важливо в ситуаціях, коли зміни у тканинах є мінімальними й візуально важко розрізняються.

## 2 Етапи обробки зображень і архітектура системи MedVision

Процес аналізу медичних зображень має послідовність етапів, спрямованих на точне визначення розташування та стану клітинних структур. Перед безпосереднім застосуванням SVM зображення проходять етапи попередньої обробки, які включають фільтрацію шумів, нормалізацію контрасту, масштабування та сегментація зони інтересу. На їх основі формується вектор ознак, що містить інтенсивність пікселів, текстурні параметри, контурні характеристики й градієнтні дескриптори. Спершу визначаються координати центру групи клітин для локалізації потенційного патологічного процесу. Далі оцінюється межа розташування клітин у аналізованій області. У моделі SVM ця межа може адаптивно змінюватися залежно від характеристик обраного ядра, що підвищує точність аналізу [4]. Після навчання модель генерує ймовірнісні оцінки, які використовуються для побудови теплових карт Heatmap і дають можливість лікарю побачити зони підвищеної ймовірності патології, оцінити форму ураження та перевірити обґрунтованість діагностичних рішень.

Архітектура системи MedVision сформована як цілісна система, у якій обробка зображень, класифікація та взаємодія користувача взаємопов'язані між собою. Платформа об'єднує клієнтський інтерфейс, серверну частину та модуль аналізу зображень. Такий підхід дає змогу рівномірно розподіляти навантаження та підтримувати стабільну роботу системи навіть під час обробки великих масивів медичних даних.

Серверна частина відповідає за отримання томографічних зображень, їх попередню обробку та підготовку ознакових векторів для класифікації. На цьому етапі виконується фільтрація шумів, корекція контрасту, вирівнювання інтенсивності та виділення зони інтересу. На основі цих операцій формується набір характеристик, що відображають текстуру, контури та градієнтні особливості тканин. Далі ці дані передаються до моделі SVM, яка визначає межу між здоровими та патологічними структурами. Використання радіально-базисного ядра дозволяє моделі коректно працювати з нелінійними формами та складними патернами, характерними для медичних зображень.

Для кожного виконаного аналізу система створює окремий структурований запис, що містить вихідне зображення, параметри попередньої обробки, результати класифікації та згенеровані теплові карти. Така організація дозволяє швидко повертатись до будь-якого етапу обробки, повторно перевіряти результати та вести повну історію проведених досліджень. У сховищі дані структуровані за сутностями «користувач», «дослідження», «аналіз», «зображення», «анотації» та «звіт», що забезпечує логічність зберігання та полегшує взаємодію між компонентами системи.

Обмін інформацією між Angular-інтерфейсом і сервером на Spring Boot здійснюється через REST-API. Усі дані передаються у форматі JSON – це стосується як вихідних зображень і проміжних обчислень, так і результатів моделі та теплових карт. Обчислювальний модуль працює асинхронно, тому обробка навіть великих томографічних серій не блокує роботу системи. Для оптимізації ресурсів використовується потокове читання зображень, що зменшує навантаження на пам'ять і дозволяє обробляти великі файли без затримок. Для підвищення надійності система веде логування всіх етапів аналізу, фіксує помилки, підтримує повторні спроби виконання операцій та зберігає проміжні стани. Це забезпечує відмовостійкість і можливість стабільної роботи в умовах реального медичного середовища, де важливо мінімізувати ризики збоїв.

Окремі можливості інтерфейсу передбачені для різних категорій користувачів. Для лікаря основний акцент зроблено на зручності перегляду зображень та аналізу результатів. У його розпорядженні інструменти для навігації між томографічними серіями, локального збільшення фрагментів, накладення теплових карт і порівняння декількох досліджень одного пацієнта. Лікар може оцінювати форму, інтенсивність та локалізацію патологічних утворень, залишати коментарі до окремих ділянок зображення та формувати звіт, який надалі зберігається в історії досліджень.

Для адміністратора система пропонує інший набір можливостей, пов'язаний передусім з організацією роботи користувачів та контролем доступу. Через інтерфейс адміністратор керує обліковими записами, призначає ролі, відстежує

активність у системі та переглядає журнали подій. Йому доступні функції перегляду версій звітів, моніторингу стану серверної частини та контролю коректності збережених медичних даних.

Пацієнт має спрощений доступ, орієнтований на перегляд результатів власних обстежень. У його кабінеті відображаються проведені дослідження, висновки лікаря, згенеровані теплові карти та прикріплені PDF-звіти. Пацієнт може ознайомитися з динамікою змін стану здоров'я, отримати доступ до рекомендацій та уточнити інформацію щодо попередніх обстежень.

Завдяки такій архітектурі система поєднує точність алгоритмічного аналізу, надійність зберігання даних і зручність користування, виступаючи ефективним інструментом підтримки клінічних рішень у сфері медичної візуалізації.

## Висновки

Розроблена інтелектуальна система MedVision підтвердила високу ефективність застосування методу SVM для задач автоматизованої обробки томографічних зображень у медичній практиці. Проведене експериментальне тестування показало, що використання даного підходу забезпечує стабільне розпізнавання патологічних структур навіть у випадках неоднорідного розподілу інтенсивностей і низької контрастності знімків. Це дозволяє зменшити кількість помилкових інтерпретацій, а також значно скоротити час аналізу.

Завдяки поєднанню алгоритмічної точності та засобів візуалізації MedVision може стати перспективним інструментом підтримки клінічних рішень. Її використання здатне підвищити якість діагностики, зменшити навантаження на медичний персонал і зробити діагностичний процес ефективнішим.

## Література References

1. Ghosh, S., Dasgupta, A., Swetapadma, A.: A study on support vector machine based linear and non-linear pattern classification. 2019 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), pp. 24-28. IEEE (2019).
2. Anwar, M.: Support vector machines (SVM): Linear and non-linear SVMs. Medium (2018).
3. Kobziev, V., Yakovlev, S., Gorishnia, K. Modifications of the support vector method for classification and detection of anomalies in image processing problems. In: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Computer Modelling", Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, pp. 221-222 (2024).
4. К. Горішня та В. Кобзев. Порівняння можливостей лінійного та нелінійного SVM у класифікації медичних даних // Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління. - Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, с. 244-247 (2024).

# Використання методів рішення диференційних рівнянь в комп'ютерній інженерії

Павло Буйлін та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166,  
Україна

pavlo.builin@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто методи рішення диференційних рівнянь. У комп'ютерній інженерії вибір методу є дуже важливою частиною перед розв'язанням диференційних рівнянь, який визначає точність, стабільність та швидкість обчислень. Проведено огляд чисельних методів рішення диференційних рівнянь, які є незамінним інструментом у комп'ютерній інженерії, оскільки вони дозволяють моделювати та аналізувати складні динамічні процеси, які важко або неможливо вирішити аналітично.

**Ключові слова:** Комп'ютерна інженерія, Програмні симуляції, Системи реального часу.

## Using Methods for Solving Differential Equations in Computer Engineering

Pavlo Builin and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

pavlo.builin@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Abstract.** The paper considers methods for solving differential equations. In computer engineering, the choice of method is a very important part of solving differential equations, determining the accuracy, stability, and speed of calculations. A review of numerical methods for solving differential equations is presented, which are an indispensable tool in computer engineering, as they allow modeling and analyzing complex dynamic processes that are difficult or impossible to solve analytically.

**Keywords:** Computer Engineering, Software Simulations, Real-Time Systems.

## **1 Вступ**

Методи рішення диференційних рівнянь – це невід’ємна частина інженерних обчислень. У комп’ютерній інженерії вибір методу є дуже важливою частиною перед розв’язанням диференційних рівнянь, який визначає точність, стабільність та швидкість обчислень, що критично для реального часу та ресурсно-обмежених систем.

## **2 Методи рішення диференційних рівнянь**

### **2.1 Метод Ейлера**

Метод Ейлера – це один з найпростіших чисельних підходів до розв’язання диференційних рівнянь [1]. Через певні обмеження, він дає зрозуміле уявлення про принципи чисельного інтегрування та слугує базою для переходу до більш точних і складних методів. У галузі комп’ютерної інженерії його в основному застосовують як навчальний приклад, тому що він легко реалізується та потребує мінімальну кількість ресурсів.

Це елементарний, але ефективний спосіб наближеного знаходження розв’язків диференційних рівнянь. Якщо потрібно побудувати графік функції, яка описується певним рівнянням, але в наявності є лише початкова точка, метод Ейлера дає можливість крок за кроком обчислювати нові значення та отримувати приблизний розв’язок.

Переваги методу полягають у його простоті використання та високій швидкості роботи завдяки малим обчислювальним витратам.

### **2.2 Метод Рунге-Кутта-Мерсона**

Метод Рунге-Кутта-Мерсона – це один з найрезультативніших способів розв’язування диференційних рівнянь [2]. Його основна особливість – здатність автоматично змінювати величину кроку під час обчислень, що дає можливість досягти оптимального співвідношення між точністю та швидкістю розрахунків.

Якщо крок інтегрування обрати занадто великим, похибка результату може дуже зрости. Але надмірно малий крок збільшує кількість операцій і призводить до зайвого навантаження для обчислень. Адаптивний підхід, який лежить в основі методу Рунге-Кутта-Мерсона, дозволяє оцінювати похибку на кожному етапі та автоматично коригувати крок так, щоб підтримувати потрібний рівень точності без надлишкових розрахунків.

Цей метод забезпечує підвищену точність розв’язку, дозволяє значно скоротити час обчислень, а також здатний реагувати на зміну складності рівняння, роблячи його особливо цінним в інженерних, фізичних та інших прикладних задачах.

### 2.3 Метод Адамса

Метод Адамса належить до найбільш ефективних чисельних підходів для розв'язання диференціальних рівнянь [3]. Його активно використовують студенти, інженери та науковці, тому що він дозволяє отримувати дуже точні результати за короткий час і без значного навантаження на обчислення.

На відміну від однокрокових підходів, у яких нове значення обчислюється лише на основі даних з одного попереднього кроку та вимагає великої кількості розрахунків для підвищення точності, багатокрокові методи працюють інакше. У таких методах використовують інформацію про значення похідної, отриману на кількох попередніх етапах. Завдяки цьому можна суттєво зменшити обсяг обчислень і водночас зберегти необхідний рівень точності.

До основних переваг цього методу належать висока точність отриманих результатів і висока швидкість роботи.

### 2.4 Метод скінченних елементів

Метод скінченних елементів – це чисельний підхід до розв'язання диференціальних рівнянь, які часто трапляються у фізичних та інженерних задачах [4]. Його поява пов'язана з розвитком космічних технологій у 1950-х роках, коли виникла потреба моделювати складні процеси.

Суть цього методу полягає в тому, що будь-яку безперервну фізичну величину можна подати у вигляді моделі, побудованої на основі набору простіших функцій, кожна з яких визначена в окремій частині області. Таким чином складну систему розбивають на невеликі елементи, для яких легше виконати обчислення, а отримані результати об'єднують у загальне рішення.

В комп'ютерній інженерії цей метод застосовують для аналізу електромагнітних полів, дослідження теплових процесів у мікроелектронних компонентах та моделювання механічних коливань у компактних електронних пристроях.

### 2.5 Метод скінченних різниць

Основний принцип методу скінченних різниць полягає в тому, що замість точних значень похідних у диференційному рівнянні використовують їхні приблизні аналоги [5]. Завдяки цьому задачу, де змінна змінюється безперервно, можна перетворити на обчислення значень у певній кількості окремих точок. У результаті отримуємо систему звичайних лінійних рівнянь, які значно легше розв'язати.

Коли ця система рівнянь розв'язана, ми отримуємо приблизні значення шуканої функції в обраних точках. Чим більше таких точок використовують, тим точнішим буде результат. Тому якщо обчислення виконуються вручну, зазвичай починають із грубішого поділу області, а потім поступово збільшують кількість точок для кращої точності.

У комп'ютерній інженерії цей метод часто застосовують у програмних симуляціях, де потрібно розв'язувати диференційні задачі на великих сітках з великою кількістю вузлів, що забезпечує високу точність моделювання.

## Висновки

Чисельні методи рішення диференційних рівнянь першого та другого порядку є незамінним інструментом у комп'ютерній інженерії, оскільки вони дозволяють моделювати та аналізувати складні динамічні процеси, які важко або неможливо вирішити аналітично. Таким чином, правильний вибір чисельного методу залежить від конкретної задачі, а також вимог до точності. Водночас комбіноване використання різних методів дозволяє досягти максимальної ефективності, поєднуючи точність, стабільність та продуктивність у сучасних інженерних симуляторах та цифрових моделях.

## Література (References)

1. Метод Ейлера з подвоєним кроком у навчанні чисельного розв'язання диференціальних рівнянь: програмування, обчислення, візуалізація / О. Семеніхіна, А. Юрченко, Ю. Хворостіна, І. Горовий, В. Шамоля // Математика, інформатика, фізика: наука та освіта, 2026, 2(2), 338–348. <https://doi.org/10.31652/3041-1955-2025-02-02-17>
2. John C. Butcher (2008). Numerical Methods for Ordinary Differential Equations (PDF). New York: John Wiley & Sons. С. 463 p. ISBN 978-0-471-96758-3. URL: [https://learn.fmi.uni-sofia.bg/pluginfile.php/99883/mod\\_resource/content/1/%21%21%21%21%5BButcher\\_J.%5D\\_Numerical\\_methods\\_for\\_ordinary\\_differ%28BookZZ.org%29.pdf](https://learn.fmi.uni-sofia.bg/pluginfile.php/99883/mod_resource/content/1/%21%21%21%21%5BButcher_J.%5D_Numerical_methods_for_ordinary_differ%28BookZZ.org%29.pdf)
3. Паралельна організація обчислень за методом Адамса для розв'язування задачі Коші / С.М. Левицька, А.І. Кардаш, А.Т. Дудикевич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 3. – С. 92-95.
4. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І. Чисельні методи розв'язання механічних задач: навчальний посібник для здобувачів третього освітньо-наукового рівня спеціальності «Прикладна математика» освітньо-наукової програми «Прикладна математика». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 80 с. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/11877/1/HREBENIUKHOMENIUK.pdf>
5. Вища математика. Звичайні диференціальні рівняння. Аналітичні та графічні методи: підручник / В.І. Клочко, З.В. Бондаренко, С.А. Кирилашук, Ю.І. Волков. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 112 с. URL: [https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Klochko\\_2022-112.pdf](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Klochko_2022-112.pdf)

# Огляд та застосування матричних методів у комп'ютерній графіці

Максім Доманський та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166,  
Україна

maksim.domanskyi@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто матричні методи, використання яких дозволяє ефективно виконувати геометричні перетворення об'єктів у просторі, проектувати тривимірні сцени на двовимірний екран монітора та оптимізувати обчислення для виконання графічними процесорами. Проведено огляд матричних методів, завдяки яким маємо можливість об'єднувати складні послідовності рухів, обертань та змін розміру в одну математичну операцію, що є критично важливим для швидкодії.

**Ключові слова:** Архітектурні моделі, Рендеринг, Трансляція, Ротація та Скейлінг.

## Overview and Application of Matrix Methods in Computer Graphics

Maksim Domanskyi and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

maksim.domanskyi@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Abstract.** The paper considers matrix methods, the use of which allows for the effective geometric transformation of objects in space, the projection of three-dimensional scenes onto a two-dimensional monitor screen, and the optimization of calculations for execution by graphics processors. We review matrix methods that allow us to combine complex sequences of movements, rotations, and size changes into a single mathematical operation, which is critical for performance.

**Keywords:** Architectural models, Rendering, Broadcasting, Rotation, and Scaling.

## 1 Вступ

Сучасна комп'ютерна графіка є невід'ємною частиною індустрії розваг, інженерного проектування, медицини та наукової візуалізації. Від реалістичних світів у відеоіграх до складних архітектурних моделей — все це базується на математичному апараті, серцем якого є лінійна алгебра. Серед усіх математичних інструментів, що використовуються у цій сфері, ключове місце посідають матричні методи. Саме використання матриць дозволяє ефективно виконувати геометричні перетворення об'єктів у просторі, проектувати тривимірні сцени на двовимірний екран монітора та оптимізувати обчислення для виконання графічними процесорами (GPU). У цій роботі ми розглянемо основні матричні методи, що застосовуються для маніпуляції графічними об'єктами, та проаналізуємо їх роль у процесі рендерингу.

## 2 Матричні методи у комп'ютерній графіці

Комп'ютерна графіка оперує вершинами — точками у тривимірному просторі, які формують полігони (зазвичай трикутники), з яких складаються всі 3D-моделі. Щоб змусити модель рухатися, обертатися або змінювати розмір, необхідно змінити координати кожної її вершини. Тут на допомогу приходять матриці.

### 2.1 Афінні перетворення та однорідні координати

Найпоширенішими операціями в графіці є переміщення (трансляція), обертання (ротація) та масштабування (скейлінг). У класичній алгебрі для обертання та масштабування можна використовувати множення координат на матрицю, проте переміщення вимагає додавання вектора. Це створює проблему: ми не можемо об'єднати всі операції в одну універсальну матрицю.

Для вирішення цієї проблеми в комп'ютерній графіці використовують метод однорідних координат. Як зазначають автори класичної праці "Computer Graphics: Principles and Practice", перехід до однорідних координат дозволяє представити точку тривимірного простору  $(x, y, z)$  як вектор з чотирьох елементів  $(x, y, z, w)$ . Це дає можливість записувати всі афінні перетворення, включаючи переміщення, як множення на матрицю розміром.

Такий підхід є критично важливим для оптимізації. Завдяки асоціативності множення матриць, ми можемо заздалегідь перемножити матриці переміщення, обертання та масштабування в одну результуючу матрицю (Model Matrix). Таким чином, для трансформації мільйонів вершин складної моделі комп'ютеру потрібно виконати лише одне множення вектора на матрицю для кожної вершини, замість послідовного виконання десятків операцій. Це значно знижує навантаження на процесор та дозволяє досягати високої частоти кадрів у реальному часі.

## 2.2 Матриці виду та проєкції

Окрім маніпуляцій з самим об'єктом, матричні методи використовуються для імітації камери. У віртуальному просторі немає поняття "зору", тому розробники використовують так звану матрицю виду (View Matrix). Вона трансформує всі об'єкти світу так, щоб вони опинилися перед віртуальною камерою. Замість того щоб рухати камеру в світі, математика рухає весь світ відносно нерухомої камери.

Наступним кроком є перетворення тривимірної сцени у двовимірне зображення. Для цього використовується матриця проєкції (Projection Matrix). Існує два основних типи проєкції: ортогональна (використовується в кресленнях та 2D-іграх) та перспективна.

Як детально описано у роботі Херна та Бейкера, перспективна проєкція імітує особливості людського зору: об'єкти, що знаходяться далі, здаються меншими. Це досягається за допомогою спеціальної матриці проєкції, яка модифікує  $w$ -компоненту вектора вершини залежно від її віддаленості (координати  $z$ ). Після ділення координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  на  $w$  відбувається так зване "перспективне ділення", що створює ефект глибини. Без цього методу сучасні ігри виглядали б плоскими та неприродними.

## 2.3 Застосування у шейдерах

Сучасна графіка базується на програмованому конвеєрі (programmable pipeline), де розробники пишуть спеціальні програми – шейдери. У вершинних шейдерах (Vertex Shaders) основною операцією є множення вхідних координат вершини на матрицю Model-View-Projection (MVP). Ця матриця є добутком трьох матриць: моделі, виду та проєкції. Ефективність роботи GPU прямо залежить від того, наскільки швидко він може виконувати матричні множення. Саме тому архітектура сучасних відеокарт (наприклад, NVIDIA серії RTX) спеціально заточена під паралельне виконання таких математичних операцій.

## Висновки

Підсумовуючи, можна стверджувати, що матричні методи є фундаментом сучасної комп'ютерної графіки. Перехід до однорідних координат та використання матриць дозволили уніфікувати процес геометричних перетворень, що стало ключем до апаратної акселерації графіки.

Завдяки цим методам ми маємо можливість об'єднувати складні послідовності рухів, обертань та змін розміру в одну математичну операцію, що є критично важливим для швидкодії. Розуміння принципів побудови матриць моделі, виду та проєкції є обов'язковим для будь-якого фахівця, який працює у сфері розробки ігор, 3D-моделювання чи створення графічних рушіїв. Подальший розвиток графічних технологій нерозривно пов'язаний з удосконаленням алгоритмів матричних обчислень та їх апаратною підтримкою.

## **Література (References)**

1. Foley J. D., van Dam A., Feiner S. K., Hughes J. F. Computer Graphics: Principles and Practice. 3rd ed. Addison-Wesley Professional, 2013. – 1210 p.
2. Hearn D., Baker M. P., Carithers W. Computer Graphics with OpenGL. 4th ed. Pearson, 2010. – 820 p.

# Огляд методів варіаційного числення та їх використання для інформаційних технологій

Артем Фатаєв та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

artem.fataiev@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто оптимізація алгоритмів, пошук найкращих рішень та ефективна обробка даних, які є одними з ключових завдань у сфері інформаційних технологій. Проведено аналіз методів за допомогою варіаційного підходу та ефективні алгоритми мінімізації похибки, реконструкції даних, оптимізації траєкторій і системного управління.

**Ключові слова:** Інформаційні технології, Системне управління, Машинне навчання.

## Overview of Variational Calculus Methods and Their Use in Information Technology

Artem Fataiev and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

artem.fataiev@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Abstract.** The paper considers the optimization of algorithms, the search for the best solutions, and effective data processing, which are among the key tasks in the field of information technology. An analysis of methods using a variational approach and effective algorithms for error minimization, data reconstruction, trajectory optimization, and system control is performed.

**Keywords:** Information technology, Systems management, Machine learning.

## 1 Вступ

Варіаційне числення - це розділ математичного аналізу, що вивчає функціонали, тобто операції, які перетворюють функції на числа, та визначає, яка саме функція з усієї множини можливих забезпечує мінімальне або максимальне значення такого функціоналу. На відміну від диференціального числення, яке дозволяє знайти екстремум функції в певній точці, варіаційне числення дає можливість знайти оптимальну функцію серед нескінченної множини варіантів. Класичні приклади таких задач - пошук найкоротшого шляху, найменшої енергії системи, оптимальної траєкторії руху. У сучасному контексті варіаційне числення стало основою для багатьох методів оптимізації та моделювання, які широко використовуються у фізиці, механіці, статистиці, економіці, а також інформаційних технологіях. В ІТ варіаційні методи застосовуються для оптимізації алгоритмів, побудови найкращих маршрутів передавання даних, мінімізації похибки у нейронних мережах та машинному навчанні, відновлення та обробки зображень, керування складними системами й прогнозування.

## 2 Розгляд методів

У сфері інформаційних технологій оптимізація алгоритмів, пошук найкращих рішень та ефективна обробка даних є одними з ключових завдань. Варіаційне числення дає потужний математичний апарат для таких задач, оскільки дозволяє знаходити оптимальні функції та послідовності дій, що мінімізують або максимізують певний показник. У сучасних ІТ-системах методи варіаційного числення застосовують для побудови алгоритмів маршрутизації в комп'ютерних мережах, оптимізації обробки зображень і відео, розробки моделей машинного навчання та штучного інтелекту, а також для прогнозування і керування складними системами з великою кількістю параметрів. Ключові ідеї ВЧ, що використовуються в ІТ:

- функціонал: функція, яка приймає на вхід іншу функцію і повертає число.
- рівняння Ейлера-Лагранжа: основний інструмент для знаходження функцій, які мінімізують/максимізують функціонал.
- принцип найменшої дії: використовується та застосовується для моделювання в ІТ, графіки для порівняння.

Існує декілька класичних і сучасних методів варіаційного числення, які використовувалися і продовжують використовуватися в інформаційних технологіях. До них належать метод Ейлера-Лагранжа, динамічне програмування, стохастичні підходи, а також їх дискретні та чисельні варіації, що дозволяють застосовувати їх у практичних задачах оптимізації. У подальшому розглянемо основні методи та приклади їх застосування у ІТ. Ці методи варіаційного числення застосовують у багатьох галузях ІТ:

- маршрутизація даних у комп'ютерних мережах та логістичних системах;

- оптимізація обробки зображень і відео, наприклад, для згладжування, сегментації та підвищення якості;
- моделювання та навчання нейронних мереж, включно з варіаційними методами та методами градієнтного спуску;
- прогнозування та управління складними системами з великою кількістю параметрів.

Перейдемо до самих методів та прикладів. Всі ці методи обираються, як методи оптимізації та види або підвиди варіаційного числення.

## 2.1 Метод Ейлера-Лагранжа

У машинному навчанні широко використовуються варіаційні алгоритми, які мають пряме походження від ідей варіаційного числення, включно з рівняннями Ейлера-Лагранжа. Метод Ейлера-Лагранжа є базовим і найважливішим інструментом варіаційного числення. Його суть полягає в тому, що для певного інтегрального функціоналу, який описує критерій оптимальності, можна вивести необхідні умови екстремуму у вигляді диференціальних рівнянь. Додаючи аналогію з диференціальним численням: як похідна функції  $f(x)$  дорівнює нулю в точці екстремуму, так і для функціоналу перша варіація (похідна по функції) має дорівнювати нулю. Ці рівняння називаються рівняннями Ейлера-Лагранжа. Вони визначають, які функції є оптимальними серед необмеженої множини можливих варіантів. У класичних застосуваннях ці рівняння дозволяють, наприклад, шукати найкоротші шляхи, мінімальні енергетичні траєкторії або оптимальні форми кривих і поверхонь.

$$0 = \int_a^b \left[ \frac{\partial F}{\partial f} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial f'} \right] \eta(x) dx.$$

У галузі інформаційних технологій метод Ейлера-Лагранжа поступово набуває практичної значущості, особливо у пов'язаних з оптимізацією, обробкою даних і машинним навчанням системах. Основна ідея варіаційних методів у ML полягає в тому, що замість прямого обчислення оптимального розподілу або функції, ми шукаємо приблизну функцію/розподіл, яка мінімізує певний функціонал. Наприклад, у статті [4] описано, що ці методи застосовуються в нейронних мережах, де пряме аналітичне розв'язання задачі оптимізації неможливе, і доводиться шукати наближені рішення шляхом оптимізації функціоналу втрат. Це ілюструє, як методи, засновані на принципах варіаційного числення і рівняннях Ейлера-Лагранжа, застосовуються в IT-контексті.

## 2.2 Метод Рітца

Метод Рітца - це чисельний варіаційний метод, який дозволяє знаходити наближену функцію, що мінімізує або максимізує функціонал. Ідея проста: задачу варіаційного числення формулюють як мінімізацію функціонала

$$J[y] = \int_a^b L(x, y, y') dx$$

Замість пошуку безперервної функції  $y(x)$  відразу, вибирають певний набір базисних функцій  $\phi_i(x)$ , які задовольняють граничні умови. Функція приближають до значення, де  $a_i$  - невідомі коефіцієнти:

$$y(x) \approx \sum_{i=1}^n a_i \phi_i(x)$$

Підставляючи це приблизне значення у функціонал, отримуємо функцію від коефіцієнтів  $J(a_1, \dots, a_n)$ . Знаходимо мінімум цієї функції через звичайну оптимізацію по коефіцієнтах  $a_i$ . Таким чином, безперервна задача перетворюється на дискретну задачу оптимізації.

Метод Рітца активно застосовується у чисельних алгоритмах для оптимізації та симуляційних задачах: у комп'ютерній графіці та анімації, у машинному навчанні та оптимізації параметрів, оптимальних траєкторія для робототехніки.

### 2.3 Метод Галеркіна

Метод Галеркіна - це чисельний варіаційний метод, який дозволяє перетворити задачу варіаційного числення або диференціальні рівняння на систему алгебраїчних рівнянь для коефіцієнтів апроксимації. Функцію  $y(x)$  апроксимують (знаходять приблизне значення) через базисні функції:

$$y(x) \approx \sum_{i=1}^n a_i \phi_i(x)$$

Підставляючи цю апроксимацію у рівняння або функціонал, вимагають, щоб залишок (невідповідність) був ортогональний до базисних функцій  $\phi_i(x)$ :

$$\int (R(x)) \phi_i(x) dx = 0, \quad i = 1..n$$

Це дає систему лінійних або нелінійних рівнянь для коефіцієнтів  $a_i$ . Використання в ІТ: чисельна симуляція фізичних процесів (моделювання рідин, теплових полів, хвильових процесів у графічних і наукових симуляторах) та оптимізація параметрів (мінімізування функціоналів, які описують похибку моделі або енергію системи, і знаходять оптимальні коефіцієнти).

## Висновки

Варіаційне числення відіграє ключову роль у сучасних інформаційних технологіях, забезпечуючи математичний апарат для вирішення складних задач оптимізації. Рівняння Ейлера-Лагранжа дозволяють формально визначити умови оптимальності, тоді як чисельні методи (методи Рітца та Галеркіна) забезпечують можливість практичного застосування цих принципів у комп'ютерних системах. Ці методи успішно інтегруються у сферу машинного навчання, графічного моделювання, робототехніки, обробки зображень і комп'ютерних мереж. За допомогою

варіаційного підходу будуються ефективні алгоритми мінімізації похибки, реконструкції даних, оптимізації траєкторій і системного управління.

Таким чином, варіаційні методи є універсальними та надзвичайно перспективними інструментами для розвитку сучасних та майбутніх ІТ-технологій.

## Література (References)

1. Чисельні методи : навчальний посібник / В.М. Задачин, І.Г. Конюшенко. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 180 с.
2. Варіаційне числення: Навч. посіб. для студентів фіз. спеціальностей ун-тів / В.М. Адамьян, М.Я. Сушко. – Одеса: Астропринт, 2005. – 128 с.
3. Теорія крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь: Навчальний посібник / Маринець В.В. , Рого В. Л. , Маринець К. В. – Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2013. – 196 с.
4. Kingma, D. P. Variational inference & deep learning: A new synthesis. – Universiteit van Amsterdam, 2017. – 174 p.
5. Sage EP, White C.S. Optimal systems control. Tenth Edition –Pearson Education Limited publishers London, 2017. - 843 p.
6. Варіаційне числення та методи оптимізації: навчальний посібник / М.І. Клименко, С.П. Швидка. – Запоріжжя: ЗНУ, 2020. – 91 с.

# Порівняльний аналіз можливостей систем комп'ютерної математики для розв'язування різних типів рівнянь

Вероніка Каспар та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

veronika.kaspar@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто системи комп'ютерної математики, які відіграють важливу роль у науці, техніці та освіті, забезпечуючи автоматизацію обчислень, символьних перетворень і точність під час розв'язування різних рівнянь. Порівняльний аналіз показує, що системи комп'ютерної математики мають різні переваги у розв'язуванні рівнянь.

**Ключові слова:** Системи комп'ютерної математики, Інтерфейс сервісу, Система аналітичних обчислень.

## Comparative Analysis of Computer Mathematics Systems' Capabilities for Solving Various Types of Equations

Veronika Kaspar and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

veronika.kaspar@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Abstract.** The paper considers computer mathematics systems that play an important role in science, technology, and education, providing automation of calculations, symbolic transformations, and accuracy in solving various equations. A comparative analysis shows that computer mathematics systems have different advantages in solving equations.

**Keywords:** Computer mathematics systems, Service interface, Analytical computing system.

## 1 Вступ

Системи комп'ютерної математики відіграють важливу роль у науці, техніці та освіті, забезпечуючи автоматизацію обчислень, символьних перетворень і точність під час розв'язування різних рівнянь. Зі зростанням вимог до швидкості та надійності математичного аналізу важливим стає вибір оптимального інструменту для конкретних задач. Оскільки кожна система має свої алгоритмічні особливості та інтерфейс, доцільно оцінити їх можливості у порівняльному аспекті. Аналіз трьох поширених систем – Maxima, Wolfram Alpha та Maple – дозволяє визначити їх переваги й обмеження та обрати найбільш ефективний засіб для розв'язування різних типів рівнянь.

## 2 Розгляд систем

### 2.1 Maxima

Maxima – одна з програм для виконання математичних обчислень, символьних перетворень, а також для побудови різноманітних графіків. Уміння проводити аналітичні розрахунки – одна з головних переваг цієї програми. Maxima перетворює та спрощує алгебраїчні вирази, диференціювати й обчислювати визначені і невизначені інтеграли, обчислювати скінченні і нескінченні суми і добутки, розв'язувати алгебраїчні і диференціальні рівняння і системи, а також розкласти функції в ряди і знаходити границі.

Maxima може розв'язувати рівняння і системи алгебраїчних рівнянь за допомогою функції `solve`. При розв'язанні тригонометричних рівнянь видається одне з нескінченної множини можливих рішень. Якщо рівняння не має рішень на множині дійсних чисел, то Maxima шукає рішення серед комплексних чисел. Якщо треба одержати рішення рівняння в чисельному виді, після функції `solve` варто використовувати опцію `numer` або `float`. У тих випадках, коли неможливо розв'язати задане рівняння аналітично, можна наближено обчислити значення кореня. Спочатку за допомогою функції `plot2d` будуються графіки лівої і правої частин рівняння, а далі по малюнку знаходиться наближення [1].

### 2.2 Wolfram Alpha

Робота Wolfram Alpha заснована на обробці природної мови, великій бібліотеці алгоритмів і NKS-підході до відповідей на запити. Саме тому, Wolfram Alpha може перекласти природно-мовні питання у формат, зрозумілий для комп'ютерів [2].

Wolfram Alpha здатен знаходити розв'язки лінійних і квадратних рівнянь, при цьому часто доступне покрокове рішення. Якщо рівняння має комплексні корені, система також справляється з їх обчисленням без додаткових складнощів. Крім того, Wolfram Alpha може розв'язувати кубічні та четвертого степеня поліноми аналітично.

Система може також обробляти рівняння, що містять тригонометричні, гіперболічні або спеціальні математичні функції, а також дозволяє обмежувати розв'язки за областю визначення, наприклад, лише дійсними числами. Wolfram|Alpha здатен розв'язувати системи лінійних і нелінійних рівнянь, включно з рекурентними рівняннями для послідовностей [3].

До переваг сервісу належать: безкоштовність, можливість швидкої перевірки відповіді, можливість отримання точної та повної відповіді. Проте у Wolfram Alpha наявні недоліки, серед яких відсутність редактора формул, відсутня можливість працювати з сервісом без активного з'єднання з мережею Інтернет, англomовний інтерфейс сервісу [2].

### 2.3 Maple

Система аналітичних обчислень Maple - інтерактивна система. Користувач вводить команду або оператор мови Maple в області поля введення робочого листа і натиснувши клавішу одразу ж передає її аналітичному аналізатору системи, який здійснює її виконання. Система аналітичних обчислень Maple має можливість розв'язування рівнянь алгебри, нерівностей та їх систем як в аналітичному, так і в чисельному вигляді.

Команда `solve()` дозволяє розв'язувати рівняння і системи рівнянь, нерівності і системи нерівностей. Ця команда завжди намагається знайти скінчений розв'язок в аналітичній формі. Її синтаксис доволі простий: `solve(рівняння, змінна); solve({рівняння 1, рівняння 2, ..}, {змінна 1, змінна 2, ..});`

Перша форма команди призначена для розв'язування одного рівняння відносно заданої змінної. Друга форма дозволяє розв'язувати системи рівнянь відносно змінних, заданих другим параметром.

У випадку задання одного рівняння результатом буде вираз або послідовність виразів. Якщо не задані змінні, відносно яких слід розв'язувати систему рівнянь, то Maple видасть всі розв'язки відносно усіх невизначених змінних в початкових рівняннях. В деяких випадках команда `solve()` повертає порожню послідовність NULL. Це означає, що розв'язку або не існує, або Maple не вдалося його знайти.

За допомогою команди `solve()` можна розв'язувати також і тригонометричні рівняння. Для систем аналітичних обчислень розв'язок трансцендентного рівняння, у тому числі і тригонометричного, досить складна і серйозна проблема. Інколи доволі просте трансцендентне рівняння може не мати розв'язку в Maple, і йому, можливо, слід допомогти, зробивши деякі не стандартні перетворення рівняння [4].

## Висновки

Порівняльний аналіз показує, що Maxima, Wolfram Alpha та Maple мають різні переваги у розв'язуванні рівнянь. Maxima забезпечує ефективне аналітичне й чисельне розв'язання задач, хоча потребує знання команд. Wolfram Alpha вирізняється зручністю та швидкістю, але залежить від Інтернету й англomовного

інтерфейсу. Maple має найпотужніший інструментарій, поєднує символні та чисельні методи і підходить для складних професійних обчислень.

## Література (References)

1. Семеріков С.О. Maxima 5.13: довідник користувача / За ред. академіка АПН України М.І. Жалдака. – Київ, 2007. – 48 с.
2. Бас С. В. WOLFRAM|ALPHA: можливості застосування у навчанні вищої математики студентів економічних спеціальностей / Світлана В. Бас // Наукові записки: проблеми методик. Серія: фізико-математичної і технологічної освіти. – 2025. – Вип. 4(II). – С. 8–11.
3. Differential Equations and Linear Algebra with Wolfram Mathematica / Balnur Zhaidarbek, Aruzhan Tleubek, Yanwei Wang // 1st Edition. Nazarbayev University Repository, 2022. – 300 p. URL: [https://www.researchgate.net/publication/362621461\\_Differential\\_Equations\\_Linear\\_Algebra\\_with\\_Wolfram\\_Mathematica](https://www.researchgate.net/publication/362621461_Differential_Equations_Linear_Algebra_with_Wolfram_Mathematica)
4. Терлецький А.І., Фрик О.Б. Використання математичного пакету Maple для розв'язування та моделювання задач. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Комп'ютерне моделювання та оптимізація" для студентів напрямку "Комп'ютерна інженерія". - Івано-Франківськ, 2012. - 78 с.

# Застосування комбінаторних принципів у розв'язанні задач оптимізації

Станіслав Муленко та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

stanislav.mulenko@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Анотація.** У роботі розглянута комбінаторна оптимізація, яка вивчає методи пошуку екстремуму цільової функції на дискретних множинах. Актуальність цієї проблематики важко переоцінити, оскільки до класу комбінаторних задач належать критично важливі питання сучасної економіки та технологій: маршрутизація транспорту, складання розкладів, проектування топології комп'ютерних мереж, оптимізація інвестиційних портфельів та навіть розшифровка геному.

**Ключові слова:** Математичне моделювання, Задача комівояжера, Мурашині алгоритми, Ройовий інтелект.

## Application of Combinatorial Principles in Solving Optimization Problems

Stanislav Mulenko and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

stanislav.mulenko@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Abstract.** The paper considers combinatorial optimization, which studies methods for finding the extremum of a target function on discrete sets. The relevance of this issue cannot be overestimated, since the class of combinatorial problems includes critically important issues of modern economics and technology: transport routing, scheduling, computer network topology design, investment portfolio optimization, and even genome decoding.

**Keywords:** Mathematical modeling, Traveling salesman problem, Ant algorithms, Swarm intelligence.

## 1 Вступ

Комбінаторна оптимізація є фундаментальним розділом прикладної математики та кібернетики, що вивчає методи пошуку екстремуму цільової функції на дискретних множинах. Актуальність цієї проблематики важко переоцінити, оскільки до класу комбінаторних задач належать критично важливі питання сучасної економіки та технологій: маршрутизація транспорту, складання розкладів, проектування топології комп'ютерних мереж, оптимізація інвестиційних портфельів та навіть розшифровка геному. Головною метою застосування комбінаторних принципів є розробка алгоритмів, здатних знаходити оптимальне або близьке до нього рішення за прийнятний час, уникаючи пастки повного перебору варіантів, який для більшості реальних задач є фізично неможливим.

## 2 Теоретичні засади та точні методи дискретної оптимізації

Фундаментом для розв'язання будь-якої задачі комбінаторної оптимізації є математичне моделювання, яке дозволяє формалізувати умови задачі у вигляді системи рівнянь або нерівностей. Серед точних методів ключове місце посідає метод гілок і меж. Цей підхід базується на принципі декомпозиції вихідної множини допустимих розв'язків на підмножини меншої розмірності (гілкування) з подальшим обчисленням меж для кожної з них. Якщо обчислена оцінка для певної гілки гірша за вже знайдений рекордний розв'язок, ця гілка відкидається, що дозволяє суттєво скоротити простір пошуку. Ефективність методу напряму залежить від точності оціночної функції: чим «щільніше» вона наближається до реального значення, тим більше варіантів відсікається на ранніх етапах.

Паралельно з методом гілок і меж широко застосовується метод динамічного програмування. Він є особливо ефективним для задач, що мають властивість оптимальної підструктури, тобто коли оптимальний розв'язок усієї задачі може бути сконструйований з оптимальних розв'язків її підзадач. Класичними прикладами є задачі про рюкзак або пошук найкоротшого шляху в багатоетапних процесах. Основна ідея полягає в запам'ятовуванні проміжних результатів у таблицях, щоб уникнути повторних обчислень тих самих величин. Проте, цей метод має свої обмеження, пов'язані з вимогами до обсягу пам'яті ЕОМ, які можуть зростати експоненційно залежно від параметрів задачі.

Окремий клас складають методи цілочисельного лінійного програмування. Багато комбінаторних задач можуть бути сформульовані як задачі лінійної оптимізації з додатковою вимогою цілочисельності змінних. Для їх розв'язання використовуються методи відсікання (алгоритм Гоморі), які послідовно додають нові лінійні обмеження до задачі, нецілочисельні частини області допустимих розв'язків доти, доки не буде знайдено цілочисельний оптимум.

### 3 Застосування теорії графів у транспортних та мережевих задачах

Графові моделі є найбільш природним способом представлення структури зв'язків між об'єктами в задачах оптимізації. Вершини графа зазвичай моделюють пункти, а ребра — зв'язки між ними, яким приписуються певні ваги. Однією з класичних задач є пошук мінімального кістякового дерева, яка має пряме застосування при проектуванні комунікаційних мереж з метою мінімізації загальної довжини кабелю. Алгоритми Пріма та Краскала, що реалізують жадібну стратегію, дозволяють знаходити точний розв'язок цієї задачі за поліноміальний час, що робить їх надзвичайно ефективними навіть для мереж.

Більш складною є задача знаходження максимального потоку в мережі, яка виникає при плануванні вантажоперевезень або передачі даних в Інтернеті. Тут застосовуються комбінаторні принципи, сформульовані в теоремі про максимальний потік і мінімальний переріз. Сучасні модифікації алгоритмів потокової оптимізації дозволяють не лише максимізувати пропускну здатність, але й мінімізувати вартість перевезення одиниці вантажу. Це є критичним для логістичних компаній, які прагнуть оптимізувати свої витрати в умовах складних транспортних схем.

Особливе місце займають задачі маршрутизації, зокрема відома задача комівояжера. Вона полягає у пошуку найкоротшого замкненого маршруту, що проходить через кожне місто рівно один раз. Оскільки ця задача належить до класу NP-повних, точні методи на графах працюють лише для невеликої кількості вершин. Для реальних масштабів застосовуються евристичні методи на графах, такі як метод найближчого сусіда або алгоритми локального пошуку, які перебирають ребра графа, намагаючись покращити поточний маршрут шляхом локальних перестановок.

Коли розмірність задачі стає настільки великою, що точні методи не можуть видати результат за розумний час. Серед них виділяються метаевристики, натхненні природними процесами. Комбінаторний принцип тут полягає у випадковій рекомбінації частин різних розв'язків, що дозволяє алгоритму стрибати по простору пошуку та уникати локальних екстремумів.

Ще одним надійним підходом є метод імітації відпалу, який базується на аналогії з процесом кристалізації металу. Алгоритм дозволяє тимчасове погіршення значення цільової функції з певною ймовірністю, яка зменшується з часом. Це дає можливість системі вийти з локальної ями та продовжити пошук глобального мінімуму. Важливим аспектом є налаштування параметрів алгоритму, що саме по собі є складною задачею.

Мурашині алгоритми є прикладом ройового інтелекту, що застосовується для задач на графах. Вони імітують поведінку мурах, які залишають феромонні сліди на шляху до їжі. У комп'ютерній моделі «віртуальні мурахи» будують розв'язки, ймовірно обираючи шлях залежно від кількості «феромону». Цей підхід показав виняткову ефективність у динамічних задачах маршрутизації, де умови можуть змінюватися в процесі роботи.

## 4 Практична реалізація та обчислювальні аспекти

Успішне застосування комбінаторних принципів неможливе без урахування архітектури обчислювальних систем. Сучасні алгоритми оптимізації все частіше розробляються з урахуванням можливостей паралельних обчислень. Оскільки багато евристичних методів оперують незалежними агентами або популяціями, ідеально підходять для розпаралелювання на графічних процесорах або кластерних системах. Це дозволяє скоротити час пошуку розв'язку в десятки разів.

Важливим аспектом є також вибір структур даних для представлення об'єктів задачі. Використання хеш-таблиць, бінарних куп, дерев відрізків та інших просунутих структур дозволяє мінімізувати накладні витрати на виконання елементарних операцій алгоритму. В алгоритмі Дейкстри використання фібоначчієвої купи замість звичайного масиву суттєво прискорює роботу на розріджених графах. Українські фахівці в галузі програмної інженерії приділяють значну увагу аналізу алгоритмічної складності та оптимізації програмного коду саме на етапі вибору структур даних. На практиці часто виникають багатокритеріальні задачі, де необхідно оптимізувати декілька конфліктуючих параметрів одночасно. У таких випадках поняття «оптимального розв'язку» трансформується у множину Парето-оптимальних рішень. Застосування комбінаторних методів для побудови фронту Парето дозволяє надати особі, що приймає рішення, набір найкращих компромісних варіантів для остаточного вибору.

### Висновки

Аналіз застосування комбінаторних принципів у задачах оптимізації демонструє, що ця галузь є синтезом суворої математичної теорії та евристичної творчості. Жоден метод не є універсальним: точні алгоритми гарантують якість, але обмежені розмірністю задачі, тоді як евристичні підходи дозволяють працювати з великими даними, але не гарантують глобальної оптимізації. Сучасні виклики вимагають створення гібридних систем, які поєднують сильні сторони різних підходів, а також адаптації класичних алгоритмів до нових архітектур обчислювальної техніки. Опанування цих методів є критично важливим для підготовки фахівців з комп'ютерних наук, системного аналізу та прикладної математики, адже потреба в ефективних оптимізаційних рішеннях у майбутньому лише зростатиме.

### Література (References)

1. Дослідження операцій. Моделі та задачі: тексти лекцій / В.М.Кирилич, В.А. Козицький. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 140 с.
2. Сергієнко І. В. Математичні моделі та методи розв'язування задач дискретної оптимізації. Монографія. — Київ: Наукова думка, 1985. — 382 с.

3. Бондаренко М. Ф., Білоус Н. В., Руткас А. Г. Комп'ютерна дискретна математика. - Харків: «Компанія СМІТ», 2004. - 480 с.

## **Застосування математичного моделювання в криптографії**

Максим Теплов та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166,  
Україна

maksym.teplov@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто математичні моделі, які лежать в основі сучасних криптографічних систем. Криптографія використовує інструментарій абстрактної алгебри, теорії чисел та теорії ймовірностей для математичного аналізу криптографічних перетворень. Проведено огляд криптографічних алгоритмів RSA та систем на еліптичних кривих, які демонструють різні підходи до використання математичних моделей для забезпечення безпеки даних.

**Ключові слова:** Криптографічні системи, Безпека веб-трафіку, Зашифроване повідомлення.

## **Mathematical Modeling in Cryptography**

Maksym Teplov and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

maksym.teplov@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Abstract.** The paper considers mathematical models that underlie modern cryptographic systems. Cryptography uses tools from abstract algebra, number theory, and probability theory for mathematical analysis of cryptographic transformations. It reviews RSA cryptographic algorithms and elliptic curve systems, which demonstrate different approaches to using mathematical models to ensure data security.

**Keywords:** Cryptographic systems, Web traffic security, Encrypted message.

## 1 Вступ

У сучасному цифровому світі забезпечення безпеки інформації стало одним із найважливіших завдань. Криптографія, як наука про методи захисту інформації, активно використовує математичне моделювання для створення надійних алгоритмів шифрування та дешифрування даних. Математичні моделі лежать в основі сучасних криптографічних систем, забезпечуючи конфіденційність, цілісність та автентичність інформації у цифровому просторі. Криптографія використовує інструментарій абстрактної алгебри, теорії чисел та теорії ймовірностей для математичного аналізу криптографічних перетворень. Сучасні криптосистеми базуються на складності розв'язання певних математичних задач, таких як факторизація великих цілих чисел або обчислення дискретних логарифмів. Ці математичні проблеми є основою для побудови надійних криптографічних алгоритмів, які практично неможливо зламати за розумний час навіть при використанні потужних обчислювальних ресурсів.

## 2 Математична модель алгоритму RSA

Одним із найпоширеніших асиметричних криптографічних алгоритмів є RSA, названий на честь його розробників Рональда Райвеста, Аді Шаміра та Леонарда Адлемана. Алгоритм був опублікований у 1977 році і до сьогодні залишається основою безпеки багатьох інтернет-систем. Математична модель RSA ґрунтується на складності задачі факторизації великих складених чисел. Математична основа алгоритму RSA полягає у використанні властивостей простих чисел та модульної арифметики. Процес генерації ключів включає вибір двох великих простих чисел  $p$  та  $q$ , обчислення їх добутку  $n=p \times q$ , який називається модулем. Далі обчислюється функція Ейлера  $\phi(n)=(p-1)(q-1)$ .

Відкритий ключ  $e$  вибирається таким чином, що він є взаємно простим з  $\phi(n)$ , тобто  $\text{НСД}(e, \phi(n))=1$ . Секретний ключ  $d$  обчислюється за допомогою розширеного алгоритму Евкліда з умови  $ed \equiv 1 \pmod{\phi(n)}$ .

Процес шифрування повідомлення  $M$  здійснюється за формулою  $C=M^e \pmod n$ , де  $C$  – зашифроване повідомлення. Дешифрування виконується за формулою  $M=C^d \pmod n$ . Безпека алгоритму RSA забезпечується тим, що знаючи тільки відкритий ключ  $(n, e)$ , практично неможливо обчислити секретний ключ  $d$  без знання множників  $p$  та  $q$ . Завдання факторизації числа  $n$  на прості множники  $p$  і  $q$  є обчислювально складним для достатньо великих чисел.

Як зазначають дослідники у своїй праці, для практичного застосування алгоритму RSA необхідно мати можливість генерувати великі прості числа та оперативно виконувати обчислення з великими числами. Типові розміри ключів для забезпечення достатнього рівня безпеки становлять 2048 або 4096 біт. Дослідження показали, що для злому 768-бітного ключа RSA знадобилося понад 1500 років обчислювального часу, розподіленого між сотнями комп'ютерів, що підтверджує надійність алгоритму при використанні ключів достатньої довжини.

### 3 Криптографія на еліптичних кривих

Еліптичні криві представляють собою сучасну альтернативу традиційним криптографічним алгоритмам і забезпечують високий рівень безпеки при менших розмірах ключів. За визначенням, еліптична крива над скінченним полем представляє множину точок, що задовольняють рівнянню виду  $y^2 = x^3 + ax + b$ , де коефіцієнти  $a$  та  $b$  задовольняють умову відсутності особливих точок.

Математична модель криптографії на еліптичних кривих базується на складності розв'язання задачі дискретного логарифмування в групі точок еліптичної кривої. Ця задача формулюється наступним чином: маючи точки  $P$  та  $Q$  на еліптичній кривій, де  $Q = kP$  для деякого невідомого цілого числа  $k$ , знайти значення  $k$ . На відміну від класичної задачі дискретного логарифмування, для еліптичних кривих не існує субекспоненціальних алгоритмів розв'язання, що робить їх особливо привабливими для криптографічних застосувань.

Основні операції в групі точок еліптичної кривої включають додавання точок, подвоєння точки та скалярне множення точки на число. Згідно з дослідженнями [1-3], операція додавання двох різних точок  $P(x_1, y_1)$  та  $Q(x_2, y_2)$  на еліптичній кривій визначається геометрично: проводиться пряма через ці дві точки, знаходиться третя точка перетину з кривою, і результат додавання отримується відображенням цієї точки відносно осі абсцис. Математично це виражається через обчислення нахилу прямої  $\lambda$  та координат результуючої точки  $R(x_3, y_3)$ .

Скалярне множення точки  $kP$ , де  $k$  – ціле число, а  $P$  – точка на кривій, є найважливішою операцією в криптографії на еліптичних кривих. Ця операція виконується ефективно за допомогою методів подвійного додавання або вікон змінної довжини. Саме складність зворотної операції, тобто знаходження  $k$  за відомими  $P$  та  $kP$ , забезпечує криптографічну стійкість систем на еліптичних кривих.

Переваги криптографії на еліптичних кривих порівняно з традиційними асиметричними алгоритмами є значними. 256-бітний ключ на еліптичній кривій забезпечує еквівалентний рівень безпеки 3072-бітному ключу RSA. Це призводить до зменшення обчислювальних витрат, прискорення операцій шифрування та дешифрування, а також зменшення розміру ключів та цифрових підписів. Особливо важливим це є для пристроїв з обмеженими ресурсами, таких як смартфони, пристрої Інтернету речей та вбудовані системи.

Практичне застосування криптографії на еліптичних кривих охоплює широкий спектр сфер. Алгоритм обміну ключами ECDH використовується для встановлення захищеного з'єднання в протоколах TLS/SSL, що забезпечує безпеку веб-трафіку. Схема цифрового підпису ECDSA застосовується в криптовалютах, зокрема в Bitcoin для підтвердження транзакцій. Популярні месенджери, такі як Signal, WhatsApp та Telegram, використовують еліптичні криві для забезпечення end-to-end шифрування повідомлень. Державні установи та фінансові організації впроваджують еліптичну криптографію для захисту конфіденційної інформації.

Стандартизовані еліптичні криві, такі як Curve25519, Curve448, secp256k1, NIST P-256, були ретельно досліджені та рекомендовані міжнародними

організаціями стандартизації. В Україні використання еліптичних кривих регламентується національними стандартами ДСТУ 4145-2002 та ДСТУ 90412020, які визначають параметри кривих та алгоритми роботи з ними для забезпечення кібербезпеки в державних інформаційних системах.

## Висновки

Математичне моделювання відіграє фундаментальну роль у сучасній криптографії, забезпечуючи теоретичну основу для створення надійних систем захисту інформації. Розглянуті криптографічні алгоритми RSA та системи на еліптичних кривих демонструють різні підходи до використання математичних моделей для забезпечення безпеки даних. Алгоритм RSA базується на складності факторизації великих чисел і залишається широко використовуваним завдяки своїй надійності та перевірності часом. Криптографія на еліптичних кривих представляє більш сучасний підхід, що забезпечує вищу ефективність при менших розмірах ключів.

Важливість математичного моделювання в криптографії продовжує зростати у зв'язку з розвитком нових загроз кібербезпеці та появою квантових комп'ютерів, які потенційно можуть зламати існуючі криптосистеми. Це стимулює розробку нових математичних моделей та криптографічних алгоритмів, стійких до квантових атак. Постквантова криптографія, що активно розвивається сьогодні, також базується на складних математичних структурах, таких як решітки, коди та багатовимірні поліноми.

Подальший розвиток математичного моделювання в криптографії спрямований на створення більш ефективних та надійних систем захисту інформації, адаптованих до викликів цифрової епохи. Україна активно впроваджує національні стандарти криптографічного захисту, що базуються на сучасних математичних моделях, забезпечуючи інформаційну безпеку держави та її громадян у цифровому просторі.

## Література (References)

1. Щур Н.О., Покотило О.А. Основи криптології: навч. посібник. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. 188 с.
2. Касянчук М.М., Якименко І.З. Опорний конспект лекцій з дисципліни «Криптографія». Тернопіль: Західноукраїнський національний університет, 2019. 132 с.
3. Щур Н., Покотило О., Байлюк Є. Криптографія на еліптичних кривих та її практичне застосування. // Кібербезпека: освіта, наука, техніка, 2023, том 1, № 21. С. 48–64.
4. Ус В.С. Захист даних за допомогою криптографічного алгоритму RSA: дипломна робота бакалавра. Західноукраїнський національний університет, 2023. – 124 с.
5. Потокова модифікація алгоритму RSA для шифрування зображень. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. 2024. № 638. С. 171–179.

# Аналіз даних за допомогою методів регресійного аналізу

Аллен Укачукву та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

allen.ukachukvu@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Анотація.** У роботі розглянуто розгляд теоретичних основ та порівняльний аналіз ключових методів побудови регресійних моделей, а також визначення критеріїв їх якості з посиланням на фундаментальні праці в галузі інформаційних технологій. Проведено аналіз методів регресійного моделювання, який дозволяє зробити висновки, що регресійний аналіз залишається фундаментальним інструментом дослідження даних, який поєднує в собі математичну строгість та практичну цінність інтерпретації результатів.

**Ключові слова:** Інформаційні технології, Регресійний аналіз, Великі обсяги інформації.

## Data Analysis Using Regression Analysis Methods

Allen Ukachukvu and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

allen.ukachukvu@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua

**Abstract.** The paper considers the theoretical foundations and comparative analysis of key methods for constructing regression models, as well as determining the criteria for their quality with reference to fundamental works in the field of information technology. An analysis of regression modeling methods was conducted, which allows us to conclude that regression analysis remains a fundamental tool for data research, combining mathematical rigor and practical value in interpreting results.

**Keywords:** Information technology, Regression analysis, Big Data.

## 1 Вступ

В епоху цифрової трансформації та стрімкого накопичення великих обсягів інформації (Big Data) перед науковцями та аналітиками постає ключове завдання – не просто збирати дані, а й витягувати з них корисні знання. Прийняття ефективних управлінських рішень в економіці, техніці, соціології та медицині сьогодні неможливе без застосування методів математичного моделювання. Серед широкого спектра інструментів статистики та машинного навчання центральне місце посідає регресійний аналіз.

Регресійний аналіз – це набір статистичних методів для дослідження впливу однієї або кількох незалежних змінних на залежну змінну. На відміну від кореляційного аналізу, який лише констатує силу зв'язку, регресійний аналіз дозволяє побудувати математичну функцію цього зв'язку, що відкриває можливості для прогнозування майбутніх значень та інтерполяції даних.

Метою цієї роботи є розгляд теоретичних основ та порівняльний аналіз ключових методів побудови регресійних моделей, а також визначення критеріїв їх якості з посиланням на фундаментальні праці в галузі інформаційних технологій.

В основі більшості регресійних моделей лежить припущення про існування залежності, яку можна описати аналітично. У загальному вигляді модель регресії записується як:

$$Y=f(X)+\epsilon,$$

де  $Y$  – залежна змінна,  $X$  – вектор незалежних змінних,  $f(X)$  – функція регресії, а  $\epsilon$  – випадкова похибка, яка відображає вплив неврахованих факторів та помилок вимірювання.

## 2 Методи регресійного аналізу

Найпоширенішим та базовим методом оцінювання невідомих параметрів моделі є метод найменших квадратів (МНК). Його сутність полягає в мінімізації суми квадратів відхилень між спостережуваними значеннями та значеннями, передбаченими моделлю.

Як зазначається у класичній праці Дрейпера та Сміта «Прикладний регресійний аналіз» [1], для того щоб оцінки МНК були найкращими лінійними незміщеними оцінками (BLUE – Best Linear Unbiased Estimators), повинні виконуватися умови теореми Гаусса-Маркова:

1. Математичне сподівання випадкових похибок дорівнює нулю.
2. Дисперсія похибок є сталою для всіх спостережень (відсутність гетероскедастичності).
3. Відсутність автокореляції між похибками.

Порушення цих умов вимагає застосування більш складних методів, таких як зважений МНК або узагальнений метод найменших квадратів.

У рамках дослідження доцільно виокремити два основні підходи залежно від кількості факторів та характеру зв'язку. Проста лінійна регресія розглядає зв'язок між двома змінними і описується рівнянням прямої:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i,$$

де  $\beta_0$  – вільний член (intercept), а  $\beta_1$  – коефіцієнт нахилу, що показує, на скільки одиниць зміниться  $Y$  при зміні  $X$  на одну одиницю. Цей метод є ідеальним для початкового розвідувального аналізу даних та візуалізації трендів.

Однак зачасти у реальних системах на результуючий показник впливає не лише один фактор. Наприклад, ціна нерухомості залежить від площі, району, поверху та року забудови. Тут застосовується множинна лінійна регресія. Вона дозволяє оцінити «чистий» вплив кожного фактора, фіксуючи значення інших на незмінному рівні.

Дослідники Хасті, Тібширані та Фрідман у своїй роботі «Елементи статистичного навчання» [2] наголошують, що основною проблемою множинної регресії є мультиколінеарність — явище, коли незалежні змінні сильно корелюють між собою. Це призводить до нестійкості оцінок коефіцієнтів та ускладнює їх інтерпретацію. Для виявлення мультиколінеарності використовують фактор інфляції дисперсії. Якщо вона перевищує порогове значення, яке зазвичай 5 або 10, необхідно виключати корельовані змінні або використовувати методи для регуляції.

Якщо аналіз діаграми розсіювання показує, що зв'язок між змінними не є лінійним (наприклад, має форму параболи або експоненти), застосування лінійних моделей призведе до значних похибок прогнозування. У таких випадках, як рекомендують Джеймс та Віттен [3], використовують методи адаптації: поліноміальну регресію або логарифмування змінних.

Поліноміальна регресія являє собою додавання до моделі змінних у степені. Це дозволяє моделювати вигини у даних, залишаючись у рамках лінійних методів оцінювання коефіцієнтів.

Логарифмування змінних у свою чергу дозволяє лінеаризувати експоненціальні залежності, зводячи складну задачу до простішої лінійної форми.

Аналіз залишків також є невід'ємною частиною перевірки. Якщо в залишках простежується закономірність, наприклад, вони зростають зі збільшенням  $X$ , то це свідчить про те, що модель не врахувала якусь важливу залежність, і її специфікацію потрібно змінювати.

Побудова рівняння регресії є лише половиною задачі. Критично важливим етапом є верифікація моделі. Для цього використовують F-критерій Фішера та t-критерій Стюдента.

F-критерій Фішера дозволяє перевірити статистичну значущість рівняння регресії в цілому. Він тестує нульову гіпотезу про те, що всі коефіцієнти регресії одночасно дорівнюють нулю.

t-критерій Стюдента використовується для оцінки значущості кожного окремого коефіцієнта  $\beta$ . Якщо p-значення для коефіцієнта менше обраного рівня значущості (зазвичай 0.05), то змінна вважається значущою для моделі.

## **Висновки**

Проведений аналіз методів регресійного моделювання дозволяє зробити висновки, що регресійний аналіз залишається фундаментальним інструментом дослідження даних, який поєднує в собі математичну строгість та практичну цінність інтерпретації результатів. Проста лінійна регресія є базовим методом, ефективним для виявлення загальних тенденцій, проте її застосування обмежене у випадках складних багатофакторних систем. У свою чергу множинна регресія надає більш точні результати, але вимагає ретельної попередньої обробки даних, зокрема перевірки на мультиколінеарність та гетероскедастичність. Використання метрик якості та аналіз залишків є обов'язковими етапами моделювання для уникнення хибних висновків.

## **Література (References)**

1. N. Draper, H. Smith. Applied Regression Analysis. – John Wiley & Sons, 1998. – 716 p.
2. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. – Springer, 2009. – 745 p.
3. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R. – Springer, 2013. – 426 p.

## Огляд методів визначення позитивності матриць

Дмитро Войтков та Наталія Назарова

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166,  
Україна

`dmytro.voitkov@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua`

**Анотація.** У роботі розглянуто методи визначення позитивності матриць, які є основою теорії матриць, яка відіграє ключову роль у розв'язанні задач в інформаційних технологіях. Проведено огляд методів визначення позитивності матриць, який висвітлює кілька ключових підходів, кожен з яких має свої переваги та застосування залежно від конкретних властивостей матриці.

**Ключові слова:** Інформаційні технології, Ітераційний метод, Квадратична форма.

## Overview of Methods for Determining Matrix Positivity

Dmytro Voitkov and Nataliia Nazarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

`dmytro.voitkov@nure.ua, nataliia.nazarova@nure.ua`

**Abstract.** The paper considers methods for determining the positivity of matrices, which form the basis of matrix theory, which plays a key role in solving problems in information technology. A review of methods for determining the positivity of matrices is presented, highlighting several key approaches, each of which has its own advantages and applications depending on the specific properties of the matrix.

**Keywords:** Information technology, Iterative method, Quadratic form.

## 1 Вступ

Лінійна алгебра є фундаментом сучасного математичного моделювання, а теорія матриць відіграє ключову роль у розв'язанні задач в інженерії, економіці, фізиці та інформаційних технологіях. Серед різноманітних властивостей матриць особливе місце займає поняття знакової визначеності, зокрема додатної визначеності (позитивності) матриці.

## 2 Методи визначення позитивності матриць

### 2.1 Критерій Сильвестра

Закон інерції Сильвестра стверджує, що для будь-якої симетричної матриці  $A$  існує така обернена матриця  $S$ , що  $S = D$ , де  $D$  — діагональна матриця, яка має лише елементи  $0, +1$  і  $-1$  вздовж діагоналі.

Критерій Сильвестра стверджує, що ермітова матриця  $M$  є позитивно визначеною тоді і тільки тоді, коли всі наступні матриці мають позитивний визначник: верхній лівий кут  $1$  на  $1$   $M$ , верхній лівий кут  $2$  на  $2$   $M$ , верхній лівий кут  $3$  на  $3$   $M$ , сама  $M$ . Ермітова матриця  $M$  є негативно визначеною тоді і тільки тоді, коли всі старші головні мінори негативні.

Рівняння Сильвестра має унікальний розв'язок для  $X$  саме тоді, коли немає спільних власних значень  $A$  і  $-B$ . У більш загальному вигляді рівняння  $AX + XB = C$  розглядається як рівняння обмежених операторів у банаховому просторі.

Цей метод є ідеальним для матриць малої розмірності (наприклад,  $2 \times 2$  або  $3 \times 3$ ), оскільки дозволяє швидко отримати результат аналітично. Проте, зі зростанням розмірності матриці, обчислювальна складність методу стрімко зростає, оскільки необхідно рахувати детермінанти все більшого порядку.

### 2.2 Метод власних значень

Відомо, що вектори  $x$  називають власними векторами матриці  $A$ , а коефіцієнти пропорційності  $\lambda$  — її власними значеннями, якщо виконується рівність:

$$Ax = \lambda x, \quad (1)$$

тобто після множення матриці  $A$  на власний вектор  $x$  маємо новий вектор  $y = Ax$ , який відрізняється від вектора  $x$  тільки своєю довжиною (модулем), зберігаючи напрямок (орієнтацію) у багатовимірному просторі.

Вираз (1) зазвичай переписується у вигляді тотожності:

$$(A - \lambda E)x = 0, \quad (2)$$

з якої при  $x \neq 0$  робиться висновок, що матриця  $B = (A - \lambda E)$  є виродженою матрицею. Звідси виводиться відома формула для обчислення власних значень матриці  $A$  (характеристичне рівняння):

$$\det(A - \lambda E) = P(\lambda) = 0. \quad (3)$$

Таким чином, будь яка матриця  $A$  не може мати нульовий власний вектор  $x_i$ , але може мати нульове власне значення  $\lambda_i = 0$ . Тоді згідно (2) сама матриця  $A$  повинна бути виродженою, і як слідство її не можна обернути.

Якщо визначник (3) розкрити відносно значень  $\lambda$ , то отримаємо так зване характеристичне рівняння матриці  $A$  у вигляді полінома  $n$ -ступеня  $P(\lambda)$  відносно власних значень. Розв'язок цього рівняння визначає множину всіх власних значень матриці, при цьому існує багато методів обчислення коефіцієнтів поліному  $P(\lambda)$  без розкриття самого визначника (3). Однак, в контексті нашого дослідження головним є наступний критерій: матриця  $A$  є позитивно визначеною тоді і тільки тоді, коли всі знайдені корені  $\lambda$  (власні значення) є строго додатними ( $\lambda_i > 0$ ).

### 2.3 Метод Лагранжа

Метод Лагранжа – метод послідовного виділення в квадратичній формі повних квадратів.

При реалізації цього методу можливі два випадки:

А) існує хоча б один з коефіцієнтів її а відмінний від нуля. Нехай цим коефіцієнтом є  $a_{11}$ , тоді перетворюємо квадратичну форму наступним чином:

$$\begin{aligned} Q_{1,2}(x_2, \dots, x_n) &= (a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + \dots + 2a_{1n}x_1x_n) + Q_1(x_2, \dots, x_n) = \\ &= \frac{1}{a_{11}}(a_{11}x_1^2 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n)^2 - \frac{1}{a_{11}}(a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n)^2 + Q_1(x_2, \dots, x_n) = \\ &= \frac{1}{a_{11}}y_1^2 + Q_2(x_2, \dots, x_n), \end{aligned}$$

де  $y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n$ ,  $Q_{1,2}(x_2, \dots, x_n)$  - квадратичні форми від  $n-1$  змінної. Далі процедура виділення повного квадрату і заміни змінних продовжується до тих пір, поки не отримаємо квадратичну форму в канонічному вигляді.

Б) Всі коефіцієнти  $a_{ii} = 0$  (квадратична форма вироджена), але є недиагональний коефіцієнт  $a_{ij} \neq 0$ . Нехай  $a_{12} \neq 0$  тоді заміна  $x_1 = y_1 - y_2, x_2 = y_1 - y_2, x_3 = y_3, \dots, x_n = y_n$  дозволяє звести цей випадок до випадку А).

Метод Лагранжа є зручним інструментом, коли необхідно не просто перевірити знако-визначеність, а й знайти сам вигляд канонічного базису. Цей алгоритм часто використовується в навчальних цілях та в аналітичній геометрії для класифікації поверхонь другого порядку.

### 2.4 Метод Якобі

Алгоритм власних значень є ітераційний метод обчислення власних значень і власних векторів дійсної симетричної матриці – процес, відомий як діагоналізація. Метод Якобі є ітераційним методом для визначення власних значень і власних векторів симетричної матриці. Розв'язок гарантований для всіх дійсних симетричних матриць. Він заснований на рядах обертань, які називаються Якобі або заданими обертаннями.

Тепер ми представляємо метод Якобі. Припустимо, що задано лінійну систему з  $n$  рівнянь із  $n$  змінними  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , матриця коефіцієнтів якої має ранг  $n$ .

Підставте початкове наближення для  $x_1, x_2, \dots, x_n$  у праву частину, щоб отримати нові значення для  $x_1, x_2, \dots, x_n$  у лівій частині.

Квадратна матриця  $B$  розміру  $n \times n$  вважається симетричною тоді і тільки тоді, коли  $BT = B$ . Квадратна матриця  $B$  розміру  $n \times n$  вважається симетричною тоді і тільки тоді, коли  $BT = -B$ .

У цьому методі для кожного діагонального елемента заповнюється приблизне значення. Поки він не зійдеться, процес повторюється. Цей алгоритм спочатку був названий процесом перетворення Якобі діагоналізації матриці. Метод Якобі також відомий як метод одночасного зміщення.

Матриця симетрична якщо матриця залишається незмінною при гортанні по її діагоналі (коли матриця дорівнює її транспонуванню).

## Висновки

Огляд методів визначення позитивності матриць висвітлює кілька ключових підходів, кожен з яких має свої переваги та застосування залежно від конкретних властивостей матриці. Вибір конкретного методу залежить від поставленої задачі, розміру матриці та необхідної точності результату.

## Література (References)

1. Positive definite matrices and Sylvester's criterion / Gilbert, George T. // The American Mathematical Monthly, Mathematical Association of America, 1991, № 98 (1): 44—46, doi:10.2307/2324036, ISSN 0002-9890, JSTOR 2324036.
2. Метод обчислення власних векторів матриці, що базується на зширеному методі діагональної модифікації / Петренко О.О. // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка № 53. – С. 203-208.
3. Квадратичні форми // Вища математика в прикладах і задачах / Клепко В.Ю., Голець В.Л.. — 2-ге видання. — К. : Центр учбової літератури, 2009. — С. 63. — 594 с.
4. Методи обчислень: Комп'ютерний практикум: навч. посіб. для студ. спец. 113 «Прикладна математика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І.В. Стьопочкіна. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 30 с.

# Web-System for Travel Route and Points of Interest Review and Rating

Oleksandr Petrykov <sup>[0009-0002-8913-1164]</sup>, Vitaliy Lyapota <sup>[0000-0001-5166-6388]</sup>,  
Oleksii Nazarov <sup>[0000-0001-8682-5000]</sup>

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

oleksandr.petrykov@nure.ua, vitaliy.lyapota@nure.ua,  
oleksii.nazarov1@nure.ua

**Abstract.** Design and conceptual structure of a web-based system for reviews and ratings of tourist routes and points of interest are presents. The system is aimed at improving travel planning by combining structured route management with a transparent evaluation mechanism. The proposed platform enables users to assess both individual locations and complete travel routes, thus supporting more informed decision-making. System objectives, functional and non-functional requirements, database organization and practical value are describes/

**Keywords:** tourist routes, review system, rating mechanism, travel planning, web application, information system.

## 1 Introduction

Modern travel planning has become highly dependent on digital platforms. Travelers no longer rely only on travel agencies or printed guides; instead, they search online for real experiences, ratings, and practical recommendations from other people. However, most existing platforms focus mainly on hotels, restaurants, or individual attractions. There is significantly less structured information about complete tourist routes that combine multiple points of interest into one organized travel experience.

The purpose of this project is to design and describe a system for reviews and ratings of tourist routes and points of interest that supports effective travel planning. The system will allow users not only to evaluate individual locations but also to assess entire routes based on real experiences. This approach provides a more complete understanding of travel quality, convenience, and overall impression.

The project aims to create a user-friendly and reliable platform that improves the decision-making process for travelers [1].

## **2 Component analysis and recommendations**

### **2.1 Separation of Route Management and Review Processing**

In the proposed system, it is essential to conceptually separate route management operations from review and rating processing. Tourist routes and points of interest represent relatively stable structured data, whereas reviews and ratings constitute dynamically growing user-generated content. These two categories differ in terms of update frequency, processing logic, and system load characteristics. Route descriptions and metadata are updated occasionally and require consistency control, while reviews may be added continuously and in large volumes. By separating these functional domains at the architectural level, it becomes possible to optimize storage strategies, caching mechanisms, and query execution plans independently. Such separation improves maintainability and reduces the performance impact of intensive review submissions on core route data retrieval operations [2, 3].

In addition, it is necessary to consider the possible risks associated with falsified information in user-generated content. Many publications have addressed this issue, including [4].

### **2.2 Structured Data Modeling and Relational Integrity**

The effectiveness of the system largely depends on the correctness of its data model. Tourist routes must be logically connected with multiple points of interest through well-defined relational links, ensuring ordered representation and referential integrity. Each review must be associated with a specific user and a clearly identified route or point of interest. The use of relational database principles, including normalization and foreign key constraints, minimizes redundancy and prevents logical inconsistencies. Proper indexing of frequently queried attributes such as location, category, and aggregated rating significantly enhances search performance. A structured schema design not only guarantees data consistency but also facilitates future system scalability and analytical processing [5, 6].

### **2.3 Efficient Aggregation of Ratings**

The rating subsystem requires particular attention due to its influence on decision-making processes. Aggregated ratings must be calculated in a manner that ensures both accuracy and computational efficiency. Instead of recalculating average values from all reviews during each query, it is advisable to maintain stored aggregate indicators that are updated incrementally when new ratings are submitted. This approach reduces database load and improves response time for search and filtering operations. Additionally, constraints that prevent multiple ratings from the same user for a single object increase the reliability of aggregated results. By storing summary metrics separately from detailed textual reviews, the system achieves faster read operations while preserving full analytical depth [7, 8].

## 2.4 Performance Optimization and Scalability Considerations

When processing data from files, there may be situations when you need to either create a new entity or update an existing one, depending on whether it already exists in the database. In such cases, it is advisable to leave this process to the database, as SQL tools support methods known as upserts that automatically determine whether to create a new entity or update an existing one.

## 3 Achieved practical results

Within the framework of the proposed system design, a conceptual model of data organization and rating aggregation mechanisms was developed. The implementation logic was structured in accordance with a layered architectural approach, ensuring separation between presentation, business logic, and data storage components. Experimental testing using simulated datasets of tourist routes and user reviews demonstrated stable system behavior under conditions of concurrent access. The aggregation of ratings was verified for correctness, and incremental update mechanisms showed improved performance compared to full recalculation strategies.

Search and filtering operations based on indexed attributes such as location, difficulty level, and average rating maintained acceptable response times even as the number of stored reviews increased. The separation of route metadata from dynamically updated review content reduced database load and improved overall system responsiveness. The obtained results confirm that the proposed architectural and data-processing principles are suitable for scalable tourism-oriented information systems and can support further functional expansion without significant structural modification.

## Conclusions

The proposed Travel Route and Points of Interest Review and Rating System provides a structured approach to integrating route management, user-generated feedback, and analytical rating mechanisms within a unified digital platform. By emphasizing route-based evaluation rather than isolated attraction assessment, the system offers a more comprehensive representation of travel experience.

## References

1. Petroc Taylor. *Statista Data growth worldwide 2010-2029*, <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created>, last accessed: 2025/11/22.
2. Wen, J., Lin, Z., Liu, X., Xiao, S. H., & Li, Y. *The interaction effects of online reviews, brand, and Price on Consumer Hotel Booking Decision making*. *Journal of Travel Research*, 60(4), 846–859. (2020). <https://doi.org/10.1177/0047287520912330>, last accessed: 2025/11/22.

3. Piotr Rogala, Sławomir Wawak: *Hotel improvement based on an electronic word of mouth – a process approach*. *Management*, 2025;(1):1-16. <https://doi.org/10.58691/man/200058>, last accessed: 2025/11/22.
  4. A. Khovrat, V. Kobziev, V. Volokhovskiy and O. Nazarov. *Using Classifiers Based on Large Language Models and Naïve Bayes for Domain Specific Text*, 2024 *IEEE 19th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/CSIT65290.2024.10982586.
  5. Marharyta Boiko, Myroslava Bosovska, Nadiia Vedmid, Svitlana Melnychenko and Yevheniia Stopchenko. *Digitalization: Implementation in the tourism business of Ukraine. Problems and Perspectives in Management*, 2022, № 20(4), P. 24-41. DOI: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.20\(4\).2022.03](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.20(4).2022.03), last accessed: 2025/11/22.
  6. Ravi Sethi: *Software Engineering: Basic Principles and Best Practices*. Cambridge University Press, 2023. – 360 p.
  7. Pressman, R.S., Maxim, B.R.: *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 9th edn. McGraw-Hill Education, 2020. – 671 p.
  8. Ioannis Assiouras, Antonios Giannopoulos, Eleni Mavragani & Dimitrios Buhalis: *Virtual reality facilitated travel inspiration: the role of pleasure and arousal*. *Tourism Management*, 2025, 28(23), P. 3851-3864. <https://doi.org/10.1080/13683500.2024.2406412>, last accessed: 2025/11/22.
-

# Використання неблокуючих підходів для реалізації контейнерів у високоефективних інформаційних системах

Andrii Strelchenko <sup>[0009-0009-83324353]</sup>, Artem Khovrat <sup>[0000-0002-1753-8929]</sup> and Volodymyr Kobziev <sup>[0000-0002-8303-1595]</sup>

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

andrii.strelchenko@nure.ua, artem.khovrat@nure.ua,  
volodymyr.kobziev@nure.ua

**Анотація.** Досліджується впровадження контейнерів, заснованих на структурах даних стека та черги, без блокувань у високонавантажених багатопотокових додатках для роботи в недетермінованих умовах. Використовується метод порівняльного аналізу на базі багатокритеріального підходу до прийняття рішень. Оцінка зосереджена на ключових показниках ефективності: продуктивність, стабільність та балансування навантаження, які є вирішальними для досліджуваних систем.

**Ключові слова:** балансування навантаження, оптимізація продуктивності, паралелізовані системи, стек, черги.

## 1 Вступ

Сучасні темпи цифровізації характеризуються різким зростанням інформаційного навантаження на соціальні мережі, державні застосунки, фінансові та інші соціально орієнтовані інформаційні системи [1]. Важливою характерною рисою подібних комплексних систем є їхня чутливість до надзвичайних ситуацій. Надійність і швидкість алгоритмів, які лежать в основі рішень у зазначених умовах, є критично важливими показниками успішної роботи всіх соціально значущих інституцій. Зазначена мотивація є основою для використання різних підходів до паралелізації обробки інформації. У межах чинної роботи розглядається поділ на рішення без блокування (no-lock) і з блокуванням (lock-based). Вони розрізняються за способом роботи з синхронізацією об'єктів: функцій, циклів, вказівників або цілих блоків даних – критичних секцій. Рішення з блокуванням зосереджуються на ексклюзивному володінні критичними секціями. Концепція без блокування базується на тому, щоб уникати резервування потоку виконання для обробки виключно в одному потоці, фокусуючи техніки синхронізації на атомарному доступі до інформації під час читання й запису даних у пам'ять, спільну для потоків [2]. При цьому фокус процесу розробки зміщується з планування

ефективної організації даних на організацію послідовності виконання різних частин програми в багатопотоковому контексті. Основною метою оптимізації стає прискорення процесу трансформації даних, а не якість їхньої організації. Підхід без блокування (no-lock) потенційно є більш ефективним з точки зору швидкодії.

## 2 Мета дослідження

Метою роботи є формулювання набору базових загальних специфік реалізації контейнерів без блокування, які можуть бути використані в будь-якій із існуючих моделей організації даних.

Виходячи з міжнародного наукового і інженерного досвіду завданнями цієї роботи є:

- визначення технічних особливостей підходу із блокуванням, які будуть об'єктом порівняльного аналізу, як найбільш поширеного рішення у соціально орієнтованих програмних застосунках на поточний час,
- узагальнення підходу без блокування для різних типів контейнерів, які найчастіше використовуються при розробці паралельних рішень,
- проведення порівняльного аналізу з використанням багатокритеріальної задачі вибору, сформованої на основі лінійної адитивної згортки.

Виконання поставлених завдань дозволить не лише перевірити ефективність запропонованого підходу, але й продемонструвати доцільність його використання в критичних реальних додатках із високим навантаженням.

## 3 Аналіз галузі

Характеристики реалізації рішень обох запропонованих підходів не залежать від обраного класу контейнерів, тому для ілюстрації розглядаються дві найпоширеніші структури даних: стек та черга. У випадку управління потоками інформації згадані структури є одними з найбільш використовуваних, іноді у модифікованих формах. Перший крок визначення цільових підходів полягає у з'ясуванні основних характеристик обраних контейнерів. Для цього використовуються мнемонічні правила, засновані на методах вставки та видалення даних. Черга (Queue) описується ідіомою "перший увійшов, перший вийшов" (FIFO) – вставлена інформація додається з одного боку та видаляється з іншого. Існує три основних реалізації черги: з послідовно зв'язаними вузлами, з динамічним масивом та змішана реалізація. Стек (Stack) – це лінійна структура даних, яка працює за принципом "останній увійшов, перший вийшов" (LIFO), де елементи додаються і видаляються з одного й того ж боку. Його розглядають як колекцію, де останній доданий елемент стає першим для доступу. Основні реалізації цієї структури включають зв'язані списки, динамічно змінювані масиви з обмеженим доступом та списки на основі "відер". Реалізації з блокуванням зосереджені на отриманні ексклюзивного доступу до критичних секцій програмного коду. Припустимо необхідно реалізувати функцію, яка збільшує глобальний лічильник у багатопотоковому

додатку. Базове рішення з блокуванням змушує інші потоки чекати доки бажаний ресурс не буде звільнений. Існує багато технік блокування для визначення критичних секцій у реалізації контейнерів, у більш загальному рішенні зазвичай використовується внутрішній механізм зберігання даних.

Ключовою концепцією програмування без блокування є використання апаратнобудованих атомарних операцій. Ці операції маніпулюють пам'яттю неподільним чином, жоден потік не зможе спостерігати їх у проміжному стані. Критична відмінність в тому, що атомарність операцій "Читання-Модифікація-Запис" (Read-Modify-Write, RMW) тісно пов'язана із самим типом даних, що гарантує безперервне виконання [3, 4]. Для реалізації цього підходу в контейнері необхідно розглянути ще одну ключову концепцію – цикли "Порівняння-і-Заміна" (Compare-And-Swap, CAS). Це рішення базується на виконанні атомарної операції CAS у циклі для багаторазових спроб виконання транзакції. Такий шаблон зазвичай включає копіювання спільної змінної у локальну пам'ять, виконання спекулятивних дій і спробу опублікувати зміни за допомогою CAS.

## 4 Експериментальні дослідження

З метою оцінки ефективності підходів відібрано два набори даних для тестування в описаних системах. Обидва набори даних поділені на навчальні та тестові вибірки у співвідношенні 80:20. Перший набір даних містить інформацію про біржові операції, зокрема статус книги заявок. Для одного тікера обсяг повідомлень за день перевищує 1000000 (тікери представляють або одну юридичну особу, або похідний портфель). Для посилення навантаження вибрано 23 тікери з індексу Dow Jones, які котируються на Нью-Йоркській фондовій біржі. Кожен запис у цьому наборі даних містить інформацію про час, ціну, обсяг та кілька текстових прапорців. Цей набір даних отримано з власних джерел. Другий набір даних складається з даних датчиків якості повітря. Набір даних містить інформацією про стан у міста Італії з початку 2000-х років (дещо менше 10000 записів), він надає інформацію про концентрацію різних хімічних сполук у повітрі. Для збільшення його розміру застосовано лінійну аугментацію даних за допомогою векторної авто регресії [5]. Для проведення експериментів використана локальна обчислювальна система під управлінням Ubuntu 22. Ця система мала 64 ГБ оперативної пам'яті, процесор із частотою 3.2 ГГц. Алгоритми реалізовані мовою програмування C++, відповідно до стандарту C++ 20, з використанням бібліотеки Standard Template Library (STL) та компілятора Intel C++ Compiler 2024. Вибір обійтися без додаткових бібліотек обумовлений необхідністю безперешкодного доступу до структури даних стеків і черг та їхньої модифікації.

В межах дослідження визначено наступні показники ефективності: продуктивність – вимірюється у секундах і має ваговий коефіцієнт 0.6; балансування навантаження – вимірюється як середньоквадратичне відхилення від рівномірного розподілу навантаження між споживачами з ваговим коефіцієнтом 0.1; стабільність – оцінюється експертами за зворотною шкалою від 0 до 10 з вагою 0.3.

Значення лінійної адитивної згортки (LAC) цих показників, як рішення багатокритеріальної задачі вибору, для підходу із блокуваннями становить 0.6895; для неблокуючого підходу – 0.706. Таким чином, обидва підходи дають схожі результати.

Рішення на основі блокувань, крім того, мають можливе порушення балансу навантаження між споживачами, особливо при застосуванні пріоритизації (у найгіршому випадку до 25%), що ще більше знижує ефективність таких систем. Розраховані значення LAC знаходяться в межах похибки, що можна пояснити вибором коефіцієнтів у задачі багатокритеріального вибору. Проте, враховуючи рекомендації експертної групи та потенціал удосконалення підходу з використанням безблокувальних технік, можна стверджувати, що така реалізація контейнерів має перспективу для соціально орієнтованих систем, які вимагають швидкого виконання завдань.

## Висновки

Теоретичним і експериментальним шляхом отримані наступні результати:

- досліджено характеристики реалізацій безблокувальних та з блокуваннями стеків і черг, а також розроблено кастомізовані версії цих рішень;
- реалізовано контейнери на основі черг і стеків із блокуваннями та без них;
- результати експериментів показали вищу ефективність безблокувальних підходів.

В той же час їхня конфігурація значною мірою залежить від узгодженості даних, їх обсягу та часу виконання наступних обчислень. Ця залежність може супроводжуватися значними витратами часу на етапі розробки.

## Література

1. Yakovlev S., Strelchenko A., Khovrat A., Kobziev V. Optimizing Lock-Free Containers for Multi-Threaded Socially Oriented Information Systems. IV International Scientific Symposium “Intelligent Solutions”. CEUR Workshop Proceedings, 2025, 4035, pp. 128–141.
2. Moreno S. P., Areias M., Rocha R. On the implementation of memory reclamation methods in a lock-free hash trie design. Jml. of Parall. and Distributed Computing, 2021. Vol. 155, pp. 1–13.
3. Assiri B. Lock-free Fill-in Queue, Int. Conf. on Computer and Inform. Sciences, 2020, pp. 1–6.
4. Ben-David N., Bletloch G., Wei Y. Lock-free locks revisited. Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming, 2022, pp. 278–293.
5. Khovrat A., Kobziev V., Nazarov A., Yakovlev S. Parallelization of the VAR Algorithm Family to Increase the Efficiency of Forecasting Market Indicators During Social Disaster. Information Technology and Implementation. CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3347, pp. 222–233.

Електронне наукове видання комбінованого використання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції здобувачів  
вищої освіти та молодих вчених

17–19 грудня 2025 року  
Івано-Франківськ, Україна

Матеріали статей опубліковані в авторській редакції

**COMPUTER SCIENCE, INFORMATION TECHNOLOGIES  
AND MANAGEMENT SYSTEMS**

Proceedings of the International Scientific Young Scientists Conference

2025, December, 17–19  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
Materials are published in author's edition

Технічний редактор к.т.н, доц. М. Л. Петришин (КНУВС)

**Видавець**

Карпатський національний університет  
імені Василя Стефаника  
76018, м. Івано-Франківськ, вул. С. Бандери, 1,  
тел. 75-13-08, e-mail: e-mail: plai.cit@cnu.edu.ua  
*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8438 від 02.09.2025*

**ISBN 978-966-640-624-1**