

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

У 2-х томах

Том 2

Матеріали XXII Міжнародної
науково-практичної конференції
молодих вчених і студентів
м. Київ, 22–25 квітня 2025 року



Київ – 2025

УДК 620.9(062)+621.311(062)

С91

Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XXII Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 22–25 квіт. 2025 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2025. – Т. 2. – 284 с.

ISBN 978-966-990-152-1 (Заг.)

ISBN 978-966-990-154-5 (Т. 2)

Подано тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» за такими напрямками: автоматизація теплоенергетичних процесів, аспекти розвитку інженерії програмного забезпечення в енергетиці, комп'ютерний еколого-економічний моніторинг та геометричне моделювання процесів і систем, інформаційні технології та комп'ютерне моделювання.

Головний редактор

Є.М. Письменний, д-р техн. наук, проф.

Заступник головного редактора

Я.Є. Трокоз, завідувач Науково-дослідної (експериментальної) лабораторії процесів в енергетичному обладнанні

Редакційна колегія:

О.Ю. Черноусенко, д-р техн. наук, проф.

Н.М. Аушева, д-р техн. наук, проф.

О.В. Коваль, д-р техн. наук, проф.

В.О. Туз, д-р техн. наук, проф.

В.А. Волощук, д-р техн. наук, проф.

В.В. Середа, канд. техн. наук, доц.

П.П. Меренгер, ст. викл.

Н.А. Буяк, канд. техн. наук, доц.

П.В. Новіков, канд. техн. наук, доц.

А.А. Демчишин, канд. техн. наук, доц.

І.А. Остапенко, асист.

Д.О. Федоров, асист.

Т.Б. Бібік, канд. техн. наук, ст. викл.

М.В. Воробйов, канд. техн. наук, доц.

Н.В. Федорова, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар

О.В. Авдєєва

*Друкується в авторській редакції за рішенням Вченої ради Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(протокол № 10 від 31 березня 2025 р.)*

ISBN 978-966-990-152-1 (Заг.)

ISBN 978-966-990-154-5 (Т. 2)

© Автори тез доповідей, 2025

© КПІ ім. Ігоря Сікорського (НН ІАТЕ), 2025

СЕКЦІЯ № 7

**Автоматизація
теплоенергетичних
процесів**

¹ Мол. вчений Веремчук О.Ю.

¹ Доц., к.т.н. Степанець О.В.

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=Kq9ce50AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ЕНЕРГІЇ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасних реаліях стану української енергетики критично важливим стає оптимальне використання наявних потужностей протягом доби. За час повномасштабного вторгнення генерація електроенергії в Україні зменшилась на 18 ГВт [1]. За винятком 6 ГВт ЗАЕС решта втрачених потужностей складають електростанції, якими значно простіше маневрувати (ГЕС, ТЕС). Незважаючи на це, в нічний період часу або в сонячні дні спостерігається надлишок електроенергії за рахунок роботи атомних електростанцій або великої продуктивності сонячних електростанцій. У той же час, завдяки українському бізнесу, в країні з'явилися значні потужності акумуляторних ємностей різних типів, за допомогою яких можна суттєво оптимізувати витрати підприємств на електроенергію, одночасно збалансувавши енергосистему в цілому, і значно зменшивши використання маневрових потужностей. Стабільно високий попит на електроенергію та необхідність підвищення енергоефективності будівель і підприємств зумовлюють актуальність використання акумуляторних систем. Однак ефективне керування акумуляторами стикається з низкою проблем: нестабільність генерації відновлюваної енергії, динамічні тарифи, зміни у споживанні та необхідність зменшення втрат при заряді/розряді батарей. Оптимізація їх роботи може зменшити витрати на енергію та підвищити стабільність мережі. Оскільки традиційні методи керування не завжди враховують нелінійні та стохастичні аспекти системи, доцільно дослідити можливості машинного навчання для оптимізації роботи систем з акумуляторами.

Аналіз останніх досліджень

Багато дослідників приділяють в останні роки увагу перспективності використання різноманітних інтелектуальних стратегій для оптимізації роботи енергосистем на локальних об'єктах різного призначення. У дослідженні [2] запропонована розширена система управління енергією, оптимізованою для зниження витрат. Система динамічно балансує надходження енергії від електричної мережі, фотоелектричних систем і акумуляторних батарей, одночасно впливаючи на роботу інженерних систем ОВіК. В основі стратегії управління лежить модельно-прогнозуюче керування обладнанням, інтегроване з поточними даними про ціни на електроенергію, погодні умови та моделі споживання. Робота [3] показала, що використання нейронних мереж для оптимізації теплових навантажень у будівлях дозволяє знизити споживання електроенергії під час пікових годин. Тут навчена методами ШІ модель застосована до задачі оптимізації для визначення оптимального планування керування навантаженнями будівлі. У роботі [4] розглядається застосування Deep Q-Network (DQN) у поєднанні з моделями обладнання для акумуляції енергії для розумних будівель. За свідченням авторів, коректне застосування цієї технології дозволило зменшити витрати на близько 7 %.

Таким чином, варто розглядати як перспективні сучасні методи оптимізації в реальному часі та з прогностичними властивостями на основі технологій машинного навчання та штучного інтелекту.

Формулювання мети. Метою роботи є оцінка перспектив та викликів застосування методів машинного навчання для оптимізаційних стратегій керування процесами

накопичення електроенергії в періоди її надлишку і максимально ефективного залучення акумуляторів в період її дефіциту для різних класів будівельних об'єктів.

Основна частина

У дослідженні розглядаються 3 класи будівель різного призначення та з різними цілями енергоефективності. Для них розробляються стратегії керування з урахуванням різних вимог до систем автоматизації: житлова будівля котеджного типу, цех малого виробничого підприємства, приватна сонячна електростанція.

Для житлової будівлі головна мета – максимально допустима енергонезалежність. Об'єкт обладнано сонячними панелями із загальною потужністю 20 кВт, акумуляторними батареями 40 кВт та 3 м³ ємністю для накопичування теплової енергії. Рішення має прогнозувати витрати теплової та електричної енергії на кілька днів наперед, розподіляти надлишкову електроенергію від сонячних панелей між ємністю з водою та акумуляторними батареями, та, відповідно до прогнозу, добирати необхідну кількість енергії в період дії «нічного тарифу».

Мале підприємство, яке значно залежить від наявності енергії для виробничих потреб, потребує зменшення витрат на енергоносії та гарантування (або, як мінімум, прогнозування) неперервності виробництва. Підприємство виробляє кемпінгові розпалювачі. Для виробництва розпалювачів у великій кількості використовується віск, який, для нанесення на деревину, необхідно перевести і підтримувати у рідкому стані, для чого потрібні відчутні затрати енергії. Для відновлення рентабельності виробництва після підвищення цін на електроенергію та забезпечення безперервності виробничого циклу незалежно від впливу регулятора на стан енергосистеми здійснена модернізація: встановлені ємності води загальним об'ємом 100 м³ та сонячні панелі потужністю до 120 кВт. Система автоматизації в функціональності машинного навчання має прогнозувати витрати та генерацію електроенергії на тиждень вперед. Оскільки це промислове підприємство, для нього діють гнучкі тарифи на електроенергію. Модель, відповідно до прогнозів, має добирати необхідну кількість енергії в години найнижчого тарифу та заборонити її споживання в години, коли її ціна робить виробництво нерентабельним.

Сонячна електростанція функціонує з комерційною метою: згенерувати або купити електроенергію в періоди її найнижчої ціни та віддати назад в мережу в періоди найвищої ціни. Загальна потужність – 6 МВт, на об'єкті встановлені великі акумулятори потужністю 2 МВт. Побічний позитивний ефект роботи цього класу об'єктів з акумулюючими можливостями – додаткові маневрові потужності загальної енергосистеми. Роль сучасної автоматизації полягає в максимізації можливого економічного ефекту. Система має динамічно розраховувати необхідність або накопичення енергії в акумулятори або її продаж в мережу. Також, у разі мінімальної кількості сонячної енергії, потрібно прогнозувати кількість вільного простору в акумуляторах, за максимально вигідного тарифу заповнювати його з мережі і відповідно віддавати її в мережу в періоди максимальних цін.

У загальному вигляді цільова функція оптимізації для цих класів об'єктів може бути представлена у вигляді (1), що дозволяє мінімізувати сумарні витрати за весь період T , при чому динаміка використання акумуляторів використовується як квадратичний штраф на зміну параметрів для уникнення осциляцій:

$$\min J = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (C_t \cdot P_{i,t}^{in} - R_t \cdot P_{i,t}^{out}) + \lambda \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M (\Delta Q_{j,t}^2), \quad (1)$$

де C_t – тариф на електроенергію в момент часу t , R_t – ставка викупу електроенергії мережею, $P_{i,t}^{in}$ – потужність, взята з мережі в момент часу t , $P_{i,t}^{out}$ – потужність, продана в мережу, Q_t – рівень заряду акумулятора, T – період часу для пошуку оптимуму, N – кількість зовнішніх джерел енергії, M – кількість акумуляторів енергії, λ – коефіцієнт регуляризації для зменшення коливань заряду/розряду акумулятора.

Незважаючи на різні кінцеві цілі кожного з об'єктів, набір вхідних даних може бути уніфіковано: це погодні умови (температура повітря, хмарність, положення сонця, опади, чистота повітря, напрямок та сила вітру та ін.), час доби, день тижня, місяця, року, ціна на електроенергію для промислових споживачів, інформація про можливі відключення електроенергії, швидкість накопичення електроенергії та її віддача, споживання електроенергії та її генерація. Ці дані дозволяють сформувати адекватну модель поведінки об'єкта.

Для реалізації подібних задач розгортається програмно-технічна інфраструктура, яка функціонує за принципами IoT та використовує технології Industry 4.0. Все вимірювальне обладнання підключене до граничних пристроїв, які здійснюють первинну обробку даних та із заданою періодичністю відправляють їх на хмарну платформу, де здійснюється накопичення даних і розгорнуті засоби машинного навчання потрібних моделей.

Висновки. Використання методів машинного навчання для оптимізації роботи локальних енергосистем в будівлях різного призначення з гетерогенністю джерел енергії акумулюючими ресурсами може забезпечити значне зниження енергоспоживання та операційних витрат. Разом з тим, є ряд проблем, які потрібно вирішувати на шляху мультиплікованого використання запропонованого підходу: залежність від якості даних, обчислювальні ресурси для навчання моделей, питання інтеграції з існуючими системами, врахування цілей оптимізації. Поєднання машинного навчання та традиційних оптимізаційних підходів дозволяє знайти баланс між точністю та швидкістю розрахунків. Подальші дослідження варто зосередити на покращенні точності прогнозів та інтеграції таких систем у розподілені енергетичні платформи, що сприятиме підвищенню стійкості та ефективності сучасних енергосистем.

Перелік посилань:

1. Україна у 2024 році втратила 10 ГВт енергопотужності, з яких вдалося відновити 5 ГВт – глава Міненерго. Інтерфакс-Україна. URL: https://interfax.com.ua/news/economic/1050700.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 10.03.2025).
2. Felez R., Felez J. Advanced Energy Management for Residential Buildings Optimizing Costs and Efficiency Through Thermal Energy Storage and Predictive Control. Applied Sciences. 2025. Vol. 15, no. 2. P. 880. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15020880>.
3. Energy management and demand response with intelligent learning for multi-thermal-zone buildings / Y. Gao et al. Energy. 2020. Vol. 210. P. 118411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118411>.
4. Efficient Deep Reinforcement Learning for Smart Buildings: Integrating Energy Storage Systems Through Advanced Energy Management Strategies / A. Farhana et al. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2023. Vol. 14, no. 12. DOI: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.0141257>.

¹ Мол. вчений Нікіфорович О.Є.

¹ Проф., д.т.н. Волошук В.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=Gdu5LckAAAAJ&hl=uk&oi=sra>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ENERGYPLAN – ПРОГРАМНИЙ ПАКЕТ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ «РОЗУМНИХ» ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Постановка проблеми та її актуальність. В теперішній час енергетика України стикнулася із серйозним викликом через загрози постійних ракетних обстрілів. Унаслідок російських атак знищено всі українські теплові електростанції та значну частину потужностей гідроелектростанцій. Ворог методично атакує інші об'єкти енергетичної інфраструктури України. Очевидно, що в таких умовах потрібно розробляти підходи до створення принципово нового типу енергосистем, які будуть більш збалансованими, захищеними та стійкішими в умовах воєнних ризиків.

Актуальною також залишається ініціатива України щодо підтримки зусиль ЄС, направлених на впровадження так званого Європейського зеленого курсу (The European Green Deal), загальною метою зробити Європейський континент кліматично нейтральним до 2050 року [1].

Аналіз останніх досліджень. В теперішній час пропонується широкий спектр комп'ютерних програм, які дають можливість користувачам моделювати та аналізувати енергетичні системи на національному та регіональному рівнях для розроблення різноманітних сценаріїв подальшого розвитку енергетики [2, 3, 4].

Ці пакети відрізняються між собою як задачами, що вирішуються, так і методами, які застосовуються для моделювання. Тому важливим є можливість правильного вибору найбільш підходящого інструменту дослідження енергетичної системи залежно від конкретної мети та завдань.

В теперішніх та прогнозованих умовах розроблення сценаріїв розвитку енергосистем в Україні доцільно розглядати із акцентом на технології розосередженої генерації із широким залученням відновлюваних джерел енергії. При цьому, важливо, щоб програма, за допомогою якої такі сценарії розробляються, мала можливість проводити послідовний і порівняльний аналіз всіх розглянутих варіантів, включаючи і базовий для порівняння. Також важливим є можливість реалізації аналізу потенційно перспективних системи, які радикально відрізняються від існуючих як технічно, так і організаційно. Крім того, бажано, щоб в програмі була передбачена можливість оцінювання економічної та екологічної ефективності запропонованих рішень. Більше того, якщо в сценаріях передбачено широке впровадження технології відновлюваної енергетики, то програма, яка при цьому використовується, повинна бути здатною врахувати переривчастість та нестабільність цих технологій.

Формулювання мети. Метою роботи є аналіз програмного пакету Energy-Plus щодо його можливостей із вирішення задач аналізу та створення енергосистем, які характеризуються розосередженістю, широким залученням технологій відновлюваної енергетики та можливістю мати тісний взаємозв'язок між різними складовими енергосистем (систем електрозабезпечення, тепло- та холодозабезпечення, газопостачання, транспорт, тощо).

Основна частина

Програма EnergyPLAN була створена у 1999 році і до теперішнього часу вона весь час удосконалюється та до неї додаються нові розширення. В програмі EnergyPLAN передбачено моделювання енергетичних систем за принципом вхід/вихід. Вона є

детермінованою і призначена для визначення оптимальних структур енергетичних систем та стратегій їх експлуатації шляхом погодинного моделювання протягом одного року.

Основною метою EnergyPLAN є допомога у розробці національних стратегій енергетичного планування на основі техніко-економічного аналізу різних варіантів вибору.

Основним керівним принципом розробки та використання EnergyPLAN є встановлення альтернатив.

Програма передбачає врахування наступних особливостей [5]:

- аналіз технологічних змін, які необхідні для переходу на 100 % відновлювану енергетику;
- прозоре та послідовне порівняння декількох альтернативних варіантів переходу;
- сценарії, розроблені та проаналізовані в EnergyPLAN, не повинні обмежуватися існуючими інституційними та ринковими рамками.

Крім того, що програма є моделюючою основою для стратегій енергетичного переходу, вона також часто застосовується в аналізі, що охоплює роль певних технологій або технологічних систем.

Загалом, структура вхідних даних EnergyPLAN відображає такі аспекти енергетичної системи:

- потреби в енергії (тепло, електроенергія, транспорт тощо);
- технології для виробництва енергії (вітрогенератори, електростанції, котли тощо), включаючи установки для перетворення енергії, такі як електролізери, біогазові та газифікаційні установки, а також установки для гідрогенізації;
- моделювання роботи кожної станції і системи, включаючи технічні обмеження, такі як пропускна здатність, тощо;
- витрати на паливо, обмін електроенергією та газом, податки, змінні та постійні операційні витрати й інвестиції.

Результатом реалізації EnergyPLAN є енергетичні баланси та річне виробництво, споживання палива, імпорт/експорт електроенергії та загальні витрати, включаючи доходи від обміну електроенергією. Результати можуть бути представлені також і з часовим кроком 1 година.

На рис. 1 наведена загальна структура виконання розрахунків в пакеті EnergyPLAN. Як показано на рис. 1, початкові обчислення виконуються під час введення даних. Наприклад, якщо введено потужність вітрогенераторів і вибрано файл погодинного розподілу вітру з бібліотеки, то EnergyPLAN одночасно розраховує річне і погодинне виробництво електроенергії вітрогенераторами.

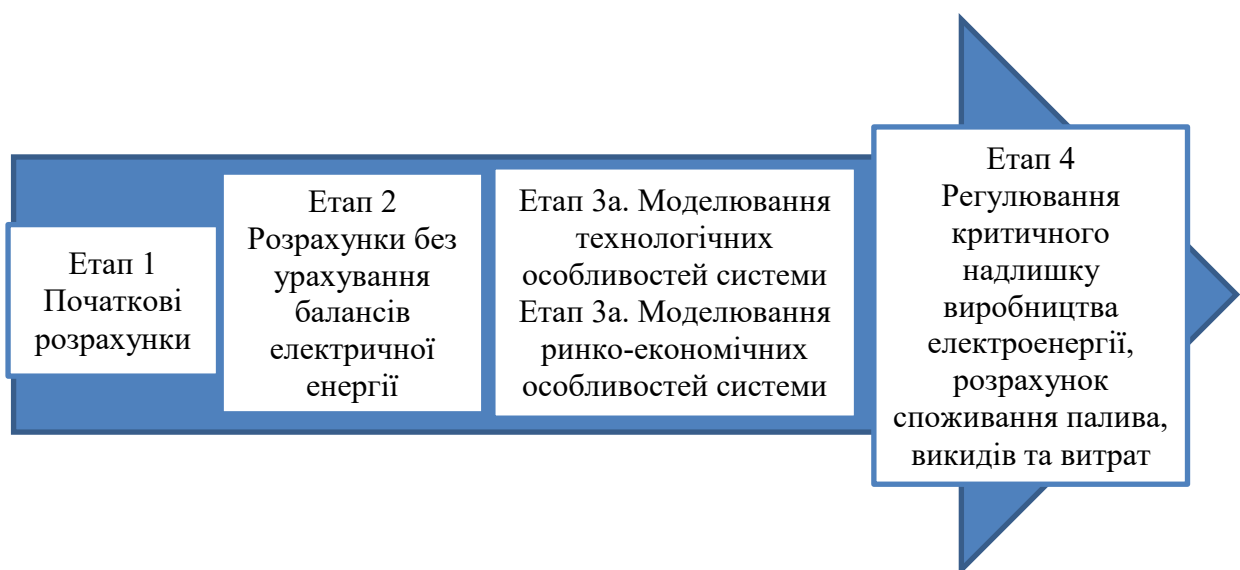


Рисунок 1 – Загальна структура розрахунку енергетичної системи в пакеті EnergyPLAN

Після цього (Етап 2 на рис. 1), EnergyPLAN виконує ряд початкових розрахунків, які не пов'язані з балансуванням електроенергії, зокрема розрахунки із визначення кількості тепла, що генерується промисловістю, погодинний попит на тепло в трьох типах систем централізованого тепlopостачання та погодинний негнучкий попит на електроенергію.

На основі заданої користувачем стратегії моделювання, EnergyPLAN розділяє розрахунки на:

- технічне моделювання (Етап 3А на рис. 1), де визначається рішення з найменшим споживанням палива;
- ринково-економічне моделювання (Етап 3В на рис. 1), де розраховуються наслідки роботи кожного блоку на ринку електроенергії з метою оптимізації бізнес-економічного прибутку.

Обидві стратегії моделювання в EnergyPLAN завершуються обчисленням соціально-економічних наслідків функціонування системи (загальні витрати на енергосистему та зовнішні викиди двоокису вуглецю). Оскільки весь процес розрахунку займає лише кілька секунд, обидві стратегії моделювання стратегії можна легко виконати і порівняти між собою.

Висновки. Програма EnergyPLAN є підходящим інструментом для розроблення принципово нових типів енергосистем, які характеризуються роззосередженістю, широким залученням відновлюваних джерел енергії та можливістю конвертувати і передавати енергоносії від одних підсистем до інших, що суттєво покращує гнучкість, адаптивність та стійкість енергосистеми до загроз в умовах війни.

У порівнянні з іншими програмами із розроблення сценаріїв, основними перевагами EnergyPLAN є можливість моделювання системи в цілому з урахуванням взаємозв'язку між усіма можливими секторами енергетики та агрегування окремих технологій у репрезентативні одиниці. Це зменшує вимоги до даних, забезпечує можливість швидкого моделювання сценарію, визначеного користувачем, передбачає прозорість розробки сценаріїв з часовим кроком моделювання одна година та з урахуванням сезонних коливань.

EnergyPLAN постійно розвивається та удосконалюється.

Перелік посилань:

1. Aszódi A.; Biró B.; Adorján L.; Dobos Á.C.; Illés G.; Tóth N.K.; Zagyi D.; Zsiborás Z.T. Comparative Analysis of National Energy Strategies of 19 European Countries in Light of the Green Deal's Objectives. *Energy Conversion and Management*: X 2021, 12, 100136, doi:10.1016/j.ecmx.2021.100136
2. Dagoumas A.S.; Koltsaklis N.E. Review of Models for Integrating Renewable Energy in the Generation Expansion Planning. *Applied Energy* 2019, 242, 1573–1587, doi:10.1016/j.apenergy.2019.03.194.
3. Oberle S.; Elstrand R. Are Open Access Models Able to Assess Today's Energy Scenarios? *Energy Strategy Reviews* 2019, 26, 100396, doi:10.1016/j.esr.2019.100396.
4. Connolly D.; Lund H.; Mathiesen B.V.; Leahy M. A Review of Computer Tools for Analysing the Integration of Renewable Energy into Various Energy Systems. *Applied Energy* 2010, 87, 1059–1082, doi:10.1016/j.apenergy.2009.09.026
5. Lund H. Renewable energy systems - a smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions. second ed. Academic Press; 2014.

¹ Мол. вчений Новіков П.В.; ¹ Мол. вчений Захарченко А.С.

¹ Проф., д.т.н. Волошук В.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=Gdu5LckAAAAJ&hl=uk&oi=sra>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

Постановка проблеми та її актуальність. Одним із досягнень сучасної опалювальної техніки є використання конденсаційної технології для підвищення ефективності опалювальних котлів. Ефективна робота конденсаційного котла має місце лише при застосуванні низькотемпературних (низькоексергетичних) систем теплозабезпечення (СТ) будинків із відповідними теплотехнічними характеристиками. Результати напрацювань, отриманих вітчизняними та зарубіжними вченими, доводять перспективність розвитку низькотемпературних (низькоексергетичних) СТ будівель.

Формулювання мети. Метою НДДКР №0123U104476 є розроблення інтелектуальної низькотемпературної системи теплозабезпечення будівель на базі конденсаційної модульної котельні, розроблення її режимних характеристик та програмно-апаратного комплексу для підвищення енергетичної, економічної та екологічної ефективності на основі контролю, моніторингу і діагностики такої системи та застосування сучасних інтернет-технологій.

Для цього було вирішено наступні завдання:

- розроблено математичні та комп'ютерні моделі СТ будівлі на базі модульної конденсаційної котельні з можливістю пошуку та оцінювання рішень для підвищення ефективності такої системи;
- сформовано критерії оцінювання ефективності СТ;
- розроблено програмне забезпечення ПЛК для виконання функцій погодозалежного регулювання каскадною системою модулів МН120к;
- розроблено програмні засоби візуалізації отриманої і проаналізованої інформації для реалізації людино-машинного інтерфейсу;
- створено дослідний зразок інтелектуальної низькотемпературної СТ у вигляді експериментального стенда;
- розроблено програмне забезпечення «Цифрового двійника» запропонованої технологічної схеми СТ;
- розроблено рекомендації з оптимізації режимних характеристик інтелектуальної низькотемпературної СТ;
- розроблено експлуатаційну документацію, регламент технічного обслуговування інтелектуальної низькотемпературної СТ;
- проведено експериментальне визначення теплотехнічних характеристик дослідного зразка інтелектуальної низькотемпературної СТ.

Основна частина. Розроблена математична модель динамічних режимів конденсаційного котла була реалізована в пакеті Matlab. Спочатку було створено m-файли, де було прописано конструктивні характеристики досліджуваного котла, характеристики палива та продуктів згорання. Потім в середовищі Simulink була створена комп'ютерна модель для дослідження динамічних характеристик котла. Структурно модель складається із окремих блоків, кожен із яких представляє моделі таких складових: частини теплообмінника сухої камери, що включає 5 спіралей, в межах яких вода догрівається до фінальної температури; частини теплообмінника, що включає 2 спіралі, в межах яких

нагрівається частина зворотної води, що надходить в котел; теплообмінник камери конденсації, що включає в себе також 2 спіралі, в межах яких також нагрівається частина зворотної води, що надходить в котел.

Створення інтелектуальної СТ виконано на основі технології «цифрового» двійника [1, 2]. Цифровий двійник у цьому застосуванні є інтегрованою платформою [3, 4], яка поєднує фізичну систему конденсаційного котла з її віртуальною моделлю для моніторингу, прогнозування та оптимізації роботи.

В розробленому програмному забезпеченні використовується модульна архітектура, що дає можливість використовувати окремі блоки на основі даних, згенерованих іншим блоком, збережених раніше, або заданих користувачем. Контроль над перебігом розрахунків і аналізом здійснює координатор, який має інформацію про властивості кожного програмного модуля, має можливість відслідковувати успішне виконання завдань, зберігати їх до бази даних, компонує їх з даними інших розрахунків для забезпечення найбільш повного та зрозумілого опису станів об'єкта, та керувати потоками даних, що генеруються протягом роботи.

Одним із ключових компонентів є використання Python як середовища для виконання складних математичних розрахунків, що дозволяє підвищити точність моделювання та забезпечити підтримку розширених функцій прогнозного аналізу. Python забезпечує виконання ресурсомістких математичних операцій, серед яких: розв'язання диференціальних рівнянь, які описують поведінку котла, зокрема теплопередачу та горіння; аналіз історичних даних, переданих через Node-RED, для створення моделей прогнозування; розрахунок оптимальних режимів роботи котла, наприклад, мінімізацію витрат палива за умови досягнення заданих температур теплоносія.

Python інтегрується з Node-RED через вузли або API, що дозволяє поєднати точні математичні розрахунки з потоковою обробкою даних. Python виконує розрахункові завдання, використовуючи вхідні дані, отримані через Node-RED, і повертає результати для подальшої інтеграції з іншими компонентами.

Висновки. На прикладі реального об'єкта, із застосуванням розроблених моделей, досліджено теплотехнічні характеристики системи теплозабезпечення на базі модульної конденсаційної котельні у різних режимах та показано, зокрема, що найбільше зростання ККД котла (на 6,6 %) має місце у випадку переходу на низькотемпературні системи опалення. Перехід на переривчастий обігрів знаходиться на другому місці щодо можливостей підвищення ККД котла (до 3,5 %). Утеплення будинку також забезпечує підвищення ККД котла, але менше ніж два попередні рішення (до 2,7 %). Аналіз можливих рішень з підвищення ефективності досліджуваної системи в комплексі показав, що зниження температурного графіка системи опалення шляхом збільшення площі нагріву або застосування більш ефективних опалювальних приладів, перехід на переривчастий обігрів, а також додаткове утеплення будівлі дає можливість підвищити середньосезонний ККД конденсаційного котла на 8,8 %.

Перелік посилань:

1. Rasheed A.; San O.; Kvamsdal T. Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective. *IEEE Access* 2020, 8, 21980–22012, doi:10.1109/ACCESS.2020.2970143.
2. Boyes H.; Watson T. Digital Twins: An Analysis Framework and Open Issues. *Computers in Industry* 2022, 143, 103763, doi:10.1016/j.compind.2022.103763.
3. Yu W.; Patros P.; Young B.; Klinac E.; Walmsley T.G. Energy Digital Twin Technology for Industrial Energy Management: Classification, Challenges and Future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022, 161, 112407, doi:10.1016/j.rser.2022.112407.
4. Steinmetz C.; Schroeder G.N.; Binotto A.; Panikkar S.; Papenfuß B.; Schmidt C.; Rettberg A.; Pereira C.E. Digital Twins Modeling and Simulation with Node-RED and Carla. *IFAC-PapersOnLine* 2022, 55, 97–102, doi:10.1016/j.ifacol.2022.09.190.

¹ Аспірант 1 курсу Зінченко Д.Д.

¹ Доц., к.т.н. Маріяш Ю.І.

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=7H2DiesAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОРПУСУ СМАРТФОНА ЗА ПРИНЦИПОМ РОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ

Постановка проблеми та її актуальність. Підтримання температури корпусу смартфона в допустимих межах має вирішальне значення для забезпечення комфорту, безпеки та надійності пристрою. Дослідження свідчать про те, що перегрів може призводити до дискомфорту, болю та негативних емоцій користувачів [1] з ефектом, що зберігається до години після використання [2]. Крім того, температура корпусу, вища за 45 °С, що виникає під час звичних завдань, таких як ігри або відеодзвінки, викликає дискомфорт у більш ніж 75 % опитаних [3]. Це свідчить про те, що навіть у рамках повсякденного використання перегрів залишається критичним фактором, який безпосередньо впливає на суб'єктивний досвід користувача.

Також, тривалий перегрів окремих компонентів смартфона, таких як дисплей та акумулятор, може привести до погіршення експлуатаційних характеристик таких компонентів, навіть до втрати роботоспроможності [4]. Це робить регулювання температури не лише питанням комфорту, але й ключовим технічним викликом для продовження строку експлуатації пристрою.

Мета. Метою дослідження є підвищення ефективності регулювання температури корпусу смартфона, забезпечуючи максимально можливий рівень продуктивності при збереженні температури на комфортному для користувача рівні.

Основна частина. У сучасних смартфонах регулювання температури корпусу здійснюється за допомогою позиційного регулятора з зоною нечутливості. Наприклад, в системі керування досліджуваної експериментальної платформи – смартфона ZTE Nubia Redmagic 7S Pro, тактова частота високопродуктивних кластерів центрального процесора «Big» та «Prime» обмежується 2,227 ГГц та 1,881 ГГц відповідно, при досягненні корпусом температури у 46 °С, з подальшим скасуванням обмежень при зменшенні температури до 44 °С. Такий підхід регулювання не лише дозволяє температурі підніматись вище за рівень дискомфорту, а й спричиняє різке зменшення тактової частоти ядер процесора, що призводить до різкого падіння продуктивності системи.

У дослідженні [5] запропоновано каскадну систему регулювання температури корпусу. Оскільки підвищення температури корпусу є результатом накопиченням тепла, що виділяється внутрішніми компонентами, система складається з (рис. 1):

- коригуючого регулятора температури корпусу, що визначає уставку температури переходу системи на кристалі,
- стабілізуючого регулятора температури переходу, що визначає обмеження струму, який споживає система на кристалі.

На фінальному етапі алгоритм обчислює максимально допустиму тактову частоту процесора, яка відповідає встановленим обмеженням струму.

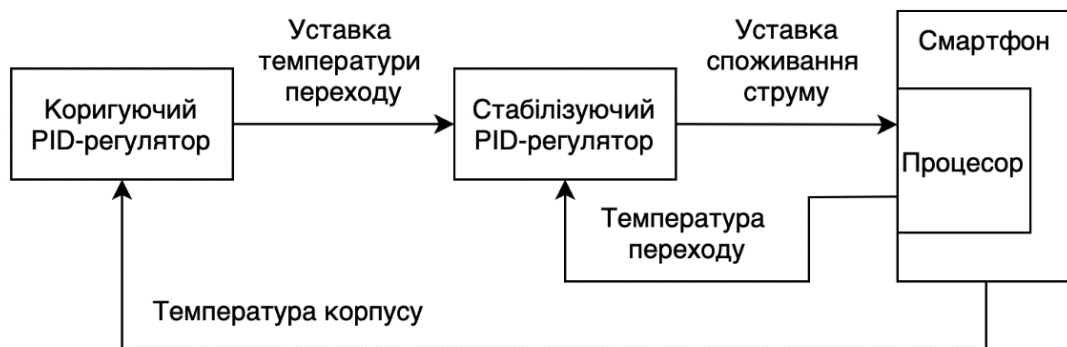


Рисунок 1 – Каскадна система регулювання температури корпусу

Запропонований підхід може бути застосований і в смартфонах з гетерогенними процесорами, шляхом встановлення єдиної уставки температури переходу для всіх кластерів. Однак, така конфігурація передбачає рівномірне зменшення тепловиділення, а отже і рівномірне обмеження продуктивності, незалежно від несиметричності обчислювального навантаження.

Одним із підходів до розв'язання цієї проблеми є використання технології ARM Intelligent Power Allocation (IPA) – інтелектуального розподілу потужності, що використовується для максимізації обчислювальної продуктивності при наявних температурних обмеженнях [6]. Цей підхід передбачає заміну внутрішнього контуру регулювання температури переходу на алгоритм розподілу потужності.

Запропонована архітектура передбачає наявність зовнішнього регулятора, який визначає загальну потужність P_{free} , доступну до використання множиною внутрішніх пристроїв – кластерами центрального процесора. В свою чергу, доступна потужність кожного окремого кластеру, $P_{alloc,i}$ визначається як добуток загальної потужності й відношення поточного споживання кластеру $P_{meas,i}$ до суми споживань усіх кластерів центрального процесора (1):

$$P_{alloc,i} = P_{free} * \frac{P_{meas,i}}{\sum_{i=0}^n P_{meas,i}}. \quad (1)$$

Цей підхід забезпечує збалансований розподіл потужності між кластерами, що еквівалентно розподілу обчислювальної здатності та потенціалу до нагрівання, на основі «запиту продуктивності» – поточного енергоспоживання кластеру.

Висновки. Традиційне регулювання температури смартфонів за допомогою позиційного регулятора може призводити до різкого зниження продуктивності через однорідне обмеження тактової частоти. Запропонована каскадна система, що включає інтелектуальний розподіл потужності між кластерами за допомогою ARM IPA, дозволяє ефективно управляти тепловиділенням, зберігаючи оптимальну продуктивність та комфортну температуру корпусу. Однак, дана технологія не враховує нелінійності динаміки зміни температури корпусу при зміні потужності внутрішніх пристроїв, що потребує подальших досліджень.

Перелік посилань:

1. Does heat matter in phone usage? Antecedents and consequences of mobile thermal satisfaction / A. Zhang et al. *Cross-Cultural design. culture and society* / ed. by P.-L. P. Rau. Cham, 2019. P. 421–431.

2. The influence of smartphones' operation modes on the superficial temperature distribution in the human auricle region / J. Bauer et al. *Journal of thermal analysis and calorimetry*. 2018. Vol. 133, no. 1. P. 559–569. URL: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7047-8>

3. Fire in your hands: understanding thermal behavior of smartphones / S. Kang et al. *The 25th annual international conference on mobile computing and networking*. New York, NY, USA, 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3300061.3300128>.
4. Kim K.M., Jeong Y., Bang I.C. Thermal analysis of lithium ion battery-equipped smartphone explosions. *Engineering science and technology, an international journal*. 2018. Vol. 22. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.12.008>.
5. Chetoui S., Reda S. CasCon: cascaded thermal and electrical current throttling for mobile devices. *IEEE embedded systems letters*. 2021. pp. 3–6. URL: <https://doi.org/10.1109/LES.2021.3079707>.
6. Wang X. Intelligent power allocation: maximize performance in the thermal envelope. ARM Limited, 2017.

¹ Аспірант 1 курсу Кучинська К.А.

¹ Доц., к.т.н. Новіков П.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=58PUgu8AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ MATLAB/SIMULINK З ЗАСОБАМИ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

Постановка проблеми та її актуальність. З розвитком Industry 4.0 та промислового інтернету речей (ІоТ) системи автоматизованого керування стають все складніше: з'явилися такі технології як цифрові двійники та нові види регуляторів (нейронні, адаптивні, предиктивні), що дозволяють підвищити точність, ефективність і гнучкість керування. Нерідко у таких системах використовують й методи машинного навчання. Впровадження машинного навчання, аналізу великих даних та хмарних обчислень відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів, прогнозування несправностей та зменшення витрат. Проте для впровадження цих технологій стає замало класичних ПЛК. Потреба накопичувати і обробляти великі об'єми даних вимагає значних обчислювальних потужностей та поєднання різних методик. Для ефективної реалізації сучасних систем автоматизованого керування необхідна зручна інтеграція програмних середовищ, які дозволяють моделювати складні процеси та тестувати алгоритми керування. Найкраще для цього підходить імітаційне моделювання – це метод використання моделей реальної або уявної системи чи процесу для кращого розуміння або прогнозування їх поведінки шляхом створення фізичної, математичної або іншої аналогової моделі [1].

Аналіз останніх досліджень. Існує багато пакетів для моделювання різних об'єктів. Серед найпопулярніших – MATLAB/Simulink. Він широко використовується в автоматичному управлінні, аерокосмічній техніці, автомобільній промисловості, біомедичній інженерії, обробці мови та зображень, а також в обчислювальній техніці [2]. Основною перевагою MATLAB/Simulink є наявність великої бібліотеки готових блоків, що дозволяє швидко та ефективно створювати складні моделі й проводити симуляції без необхідності розробляти кожен елемент самостійно, та підтримка моделювання у реальному часі. Однак у сфері машинного навчання та обробки великих обсягів даних мова програмування Python є беззаперечним лідером. Завдяки великій кількості відкритих бібліотек, гнучкості та можливостям інтеграції з іншими платформами, Python стає дедалі популярнішим для моделювання та розробки рішень, особливо в галузях, де необхідна обробка великих масивів даних та застосування сучасних технологій, таких як машинне навчання та штучний інтелект. Зокрема, поєднання MATLAB/Simulink та Python забезпечують широкі можливості для розробки, імітаційного моделювання та оптимізації систем автоматизованого керування. Вони дозволяють створювати цифрові двійники технологічних процесів, реалізовувати алгоритми машинного навчання та перевіряти їх ефективність у віртуальному середовищі перед впровадженням у реальне виробництво.

Формулювання мети. Існує кілька варіантів комунікації між середовищами MATLAB/Simulink та Python, зокрема використання протоколу OPC UA для обміну даними, застосування протоколу для обміну даними між паралельними інтерфейсами Message Passing Interface (MPI), обмін даними через базу даних або файли, такі як .csv або .txt. Але у них є недоліки, зокрема складність налаштування, затримки в передачі даних і обмеження у швидкості взаємодії між середовищами. Найбільш зручним для використання є MATLAB Engine API – це інтерфейс, що дозволяє віддалено запускати MATLAB з іншого програмного середовища, зокрема з Python, C та C++ [3].

Основна частина. Технологія MATLAB Engine API для Python дозволяє реалізувати полігон імітаційного моделювання автоматизованої системи керування, де модель об'єкта керування знаходиться у середовищі MATLAB/Simulink, а алгоритм керування реалізовано на мові програмування Python у середовищі розробки (Рис. 1). При такій архітектурі імітаційного полігону в середовище MATLAB/Simulink надходить сигнал керування U з алгоритму керування на Python, а з середовища MATLAB надходить значення регульованого параметру Y до контролера.

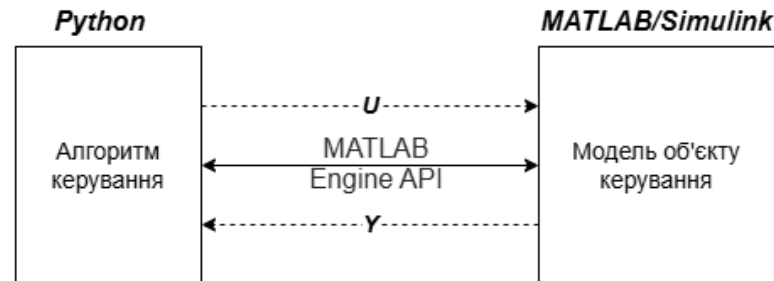


Рисунок 1 – Схема полігону імітаційного моделювання

Для використання MATLAB Engine API у середовищі мови програмування Python необхідно встановити бібліотеку *matlabengine* [4]. Для коректної роботи рішення необхідно аби усі файли, що використовуються у моделі MATLAB Simulink, були розміщені у папці з Python скриптом. Для комунікації з моделлю у MATLAB Simulink необхідно написати програму на мові Python для запуску моделі. Код для запуску MATLAB та завантаження моделі Simulink:

```
1. import matlab.engine
2. # Запуск середовища MATLAB
3. eng = matlab.engine.start_matlab()
4. model_name = 'назва моделі Simulink'
5. # Завантаження моделі Simulink
6. eng.eval("model = '{}';".format(model_name), nargout=0)
7. eng.eval("load_system(model)", nargout=0)
```

Також можна реалізувати функціонал для керування моделлю: налаштування кроку та часу моделювання, ініціалізація параметрів моделі, встановлення сигналу керування, зчитування результатів моделювання та моделювання одного кроку у часі.

Для встановлення і отримання кроку моделювання та часу моделювання використовується однакове рішення, яке відрізняється лише назвою параметру, який встановлюється через MATLAB Engine API, для кроку моделювання це FixedStep, а для часу моделювання – StopTime. Код для встановлення кроку або часу моделювання:

```
1. # назва параметру для налаштування: 'FixedStep' або 'StopTime'
2. parameter = 'FixedStep'
3. # час кроку моделювання у секундах
4. time = 0.1
5. eng.set_param(str(model_name), parameter, str(time), nargout=0)
6. # отримання часу моделювання
7. stop_time = float(eng.get_param(f'{self.model_name}',
    'StopTime'))
```

Ініціалізація моделі можлива лише після задання кроку моделювання та часу моделювання та має вигляд:

```
1. # Ініціалізація моделі, завантаження змінних та запуск
   моделювання
2. initial_conditionals = 'назва m-файлу у MATLAB з початковими
   умовами'
3. eng.eval(f"file={initial_conditionals};", nargout=0)
4. eng.eval("run(file);", nargout=0)
5. eng.set_param(model_name, 'SimulationCommand', 'start',
    'SimulationCommand', 'pause', nargout=0)
```

Для передачі сигналу керування або інших параметрів моделі застосовується код:

1. # U: сигнал керування у відповідних величинах
2. U = 1
3. eng.set_param(f'{model_name}/U', 'value', str(U), nargout=0)

Для моделювання системи на один крок вперед необхідно надіслати відповідну команду до середовища MATLAB:

1. # моделювання системи на один крок вперед
2. eng.set_param(model_name, 'SimulationCommand', 'step', nargout=0)

Для отримання результатів моделювання вчитати поточні значення часу моделювання, сигналу керування U та регульованого параметра Y з простору Workspace середовища MATLAB. Функція для отримання результатів моделювання:

1. def get_out(self) -> tuple[float, float, float, float, float]:
2. """ Отримання результатів моделювання для поточного кроку
3. Return:
4. значення регульованого параметра Y
5. сигнал керування на поточному кроці
6. поточний час моделювання у секундах
7. """
8. return round(float(self.eng.eval('out.Y(end)')), 2),
round(float(self.eng.eval('out.U(end)')), 2),
round(float(self.eng.eval('out.tout(end)')), 2)

Також після використання необхідно зупинити моделювання та закрити середовища MATLAB, це можна зробити за допомогою коду:

1. # Зупинка моделі та закриття середовища MATLAB
2. eng.set_param(model_name, 'SimulationCommand', 'stop', nargout=0)
3. eng.quit()

Висновки. Таким чином, із розвитком Industry 4.0 та промислового інтернету речей (IIoT) імітаційне моделювання стає невід'ємною складовою сучасних автоматизованих систем керування. Традиційні методи вже не можуть повною мірою відповідати зростаючим вимогам до точності, ефективності та адаптивності, тому використання MATLAB/Simulink у поєднанні з Python дозволяє створювати складні цифрові двійники, забезпечувати та тестувати інтеграцію передових методів керування. Завдяки MATLAB Engine API для Python реалізується ефективний підхід до імітаційного моделювання, що забезпечує зручний обмін даними між середовищами та відкриває нові можливості для оптимізації процесів автоматизованого керування. У результаті інтеграція цих інструментів дозволяє створювати більш гнучкі, інтелектуальні та адаптивні системи керування, що відповідають сучасним викликам промислової автоматизації.

Перелік посилань:

1. Rodič B. Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. Organizacija. 2017. Vol. 50. URL: <https://doi.org/10.1515/orga-2017-0017>.
2. Xue D., Chen Y. System simulation techniques with MATLAB and simulink. Wiley, 2013. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=6d7iAAAAQBAJ>.
3. Документація на Matlab Engine API. Call MATLAB from Python. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab-engine-for-python.html> (дата звернення: 28.02.2025).
4. Встановлення Matlab Engine API. Install MATLAB Engine API for Python. URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_external/install-the-matlab-engine-for-python.html (дата звернення: 28.02.2025).

¹ Аспірант 2 курсу Геращенко О.О.

¹ Доц., к.т.н. Новіков П.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=58PUgu8AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

СПОСІБ РОЗРОБКИ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ SCADA-ДАНИХ ТА МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Великі промислові підприємства мають складні системи теплопостачання, що включають котельні, тепlopункти, системи гарячого водопостачання, вентиляції та кондиціонування. Ефективне управління цими системами потребує значних витрат енергоресурсів, а також складної координації між різними технологічними процесами. Оптимізація режимів роботи обладнання є ключовим завданням для зниження експлуатаційних витрат і підвищення загальної ефективності.

Враховуючи, що такі комплексні системи зазвичай також мають SCADA-систему, яка містить як історичні, так і поточні дані, актуальним та можливим є створення цифрового двійника теплової системи підприємства, який дозволить би аналізувати поточні режими роботи, прогнозувати ефективність різних стратегій керування та тестувати нові методи без ризику впливу на реальну систему.

Аналіз останніх досліджень. Хоча концепція цифрових двійників активно розвивається, більшість існуючих підходів стикаються багатьма викликами, зокрема проблеми управління даними та технічні проблеми зі збором, синтезом та обробкою даних. Більшість існуючих підходів орієнтовані на моделювання виробничих процесів, що включають повний комплекс сенсорного моніторингу. Унікальність запропонованого підходу полягає у використанні лише SCADA-даних, без додаткових витрат на інфраструктуру збору даних, у поєднанні з методами машинного навчання та штучного інтелекту.

Формулювання мети. Метою роботи є розробка цифрового двійника (ЦД) теплової системи підприємства на основі SCADA-даних, який дозволить аналізувати ефективність поточних режимів роботи обладнання, знаходити оптимальні параметри керування та тестувати альтернативні режими з урахуванням історичних даних про експлуатацію за допомогою машинного навчання (МН) та штучного інтелекту (ШІ).

Основна частина. Теплоенергетичне господарство фармацевтичного підприємства складається з трьох етапів підготовки робочого теплоносія.

Перший етап – це джерело тепла, котельня. На цьому етапі проходить генерація пари, що передається до тепlopункту, що є наступним етапом. Котельня має свою локальну SCADA систему.

Другий етап це тепlopункт, у який пара надходить у паро-водяний теплообмінник, нагріваючи воду для споживачів – системи гарячого водопостачання (ГВП) та систем вентиляції та кондиціонування (СВтаК) приміщень, в тому числі й чистих приміщень. Для контролю температури теплоносної води використовується клапан скиду конденсату, який збирається у накопичувальну конденсаційну ємність, що в свою чергу може використовуватися як живлення для ГВП. За подачу теплоносної води на гілки СВтаК відповідає насосна група з частотними перетворювачами. Тепlopункт має свою систему SCADA, що фіксує значення температур, рівнів води, відкриття клапанів та тиску тощо.

Останній етап системи це самі системи СВтаК, що використовують гарячу воду для контролю мікроклімату за допомогою її нагріву та охолодження калориферами, підтримка вологості відбувається зволожувачами або процесом осушення та донагріву. Кожна система

СВтаК теж має свою SCADA систему, що фіксує значення температур на вулиці, в приміщенні та до/після калориферів, вологість приміщень та вулиці, а також значення тиску приміщень тощо.

На рис. 1 показана схема теплоенергетичного господарства.



Рисунок 1 – схема теплоенергетичного господарства

Цифровий двійник – це віртуальна копія фізичної системи. Ключовою перевагою ЦД перед традиційними системами моніторингу та контролю є їх здатність використовувати МН та ШІ. Ці алгоритми не тільки забезпечують підтримку прийняття рішень на основі зібраних даних, але й сприяють двосторонньому обміну інформацією між реальною системою і цифровою копією [1, 2].

Використання методів МН є важливим аспектом побудови ЦД. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних про продуктивність HVAC підвищило точність виявлення несправностей, що посприяло загальній ефективності та надійності системи [3].

Одним зі способів аналізу великих даних (big data) є використання відкритих платформ аналітики, наприклад, KNIME [4]. Маючи дані про температуру, вологість, швидкість вентиляторів, стан клапанів тощо, системи аналітики за допомогою аналізу числових рядів можуть надавати інформацію щодо сезонних коливань та денних циклів, що в свою чергу позитивно впливає на прогнозування майбутніх даних.

На базі KNIME для аналізу залежності температур на вході та виході з приміщення з активною СВтаК було використано два алгоритми: лінійну регресію (linear regression) та випадковий ліс (random forest). Вхідні дані містять значення температур за місяць роботи системи, період дискретизації 5 хвилин.

Алгоритми порівнювалися за двома критеріями:

- RMSE (Root Mean Squared Error) – показує середню похибку між фактичними та прогнозованими значеннями.
- R^2 (коефіцієнт детермінації) – статистичний показник, що використовується в статистичних моделях як міра залежності варіації залежної змінної від варіації незалежних змінних, що чисельно показує, яка частина варіації залежної змінної пояснена моделлю. Відображає, яка частка варіації в залежній змінній пояснюється

незалежними змінними. Значення: 1: ідеальна модель. 0: модель не пояснює варіацію. <0: модель гірша за просте середнє значення.

Результати порівняння алгоритмів наведені у табл. 1.

Таблиця 1 - результати порівняння алгоритмів

Назва алгоритму	RMSE	R ²	Час виконання
Лінійна регресія	0,46	0,9	0,0020 s
Випадковий ліс	0,28	0,92	0,1077 s

За результатами видно, що середня похибка лінійної регресії та випадкового лісу становить відповідно 0,46 °C та 0,28 °C. Моделі пояснюють від 90 % до 96 % варіацій даних, що підтверджує їх високу точність.

Висновки. У результаті аналізу можливостей використання SCADA-даних для створення цифрового двійника системи теплопостачання фармацевтичного підприємства було визначено ключові аспекти та перспективи застосування методів машинного навчання. Запропонований підхід дозволяє підвищити ефективність управління технологічними процесами без додаткових витрат на інфраструктуру збору даних. Випробувані моделі (лінійна регресія, випадковий ліс) продемонстрували високу точність прогнозування температури на вході та виході системи вентиляції. Таким чином, застосування цифрового двійника на основі SCADA-даних дає можливість не лише покращити контроль за системою теплопостачання, а й впровадити адаптивні механізми управління, що сприяє загальному підвищенню енергоефективності та надійності технологічного процесу.

Перелік посилань:

1. Fang X., Misra S., Xue G., Yang D. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey // IEEE. URL: Panajotovic B., Jankovic M., Odadzic B. ICT and smart grid // IEEE. URL: <https://doi.org/10.1109/ICTSmartGrid> (дата звернення 03.03.2025).
2. Panajotovic B., Jankovic M., Odadzic B. ICT and smart grid // IEEE. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6112018> (дата звернення 03.03.2025).
3. Islam M. M., Shofiullah S., Sumi S. S., Shamim C. A. H. Optimizing HVAC Efficiency and Reliability: A Review of Management Strategies for Commercial and Industrial Buildings. October 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/385197821_OPTIMIZING_HVAC_EFFICIENCY_A_ND_RELIABILITY_A_REVIEW_OF_MANAGEMENT_STRATEGIES_FOR_COMMERCIAL_AND_INDUSTRIAL_BUILDINGS (дата звернення 03.03.2025).
4. Seo D., Huh T., Kim M., Hwang J., Jung D. Prediction of Air Pressure Change Inside the Chamber of an Oscillating Water Column–Wave Energy Converter Using Machine-Learning in Big Data Platform // Energies. 2021. Vol. 14, № 11. P. 2982. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/11/2982> (дата звернення 03.03.2025).

¹ Аспірант 2 курсу Здольник М.О.

¹ Доц., к.т.н. Степанець О.В.

<https://scholar.google.com/citations?user=Kq9ce50AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АІ-АГЕНТИ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Постановка проблеми та її актуальність. Традиційні системи автоматичного керування, такі як пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори, широко використовуються у теплоенергетичних процесах, але мають обмеження в адаптивності до нелінійних умов, збурень і змінних параметрів [1]. АІ-агенти – це інтелектуальні програмні системи, які використовують штучний інтелект для автономного вирішення задач, таких як аналіз даних, прийняття рішень і управління обладнанням у реальному часі без значного втручання людини. Вони пропонують нові можливості для підвищення ефективності, надійності та гнучкості в промисловій автоматизації, зокрема в енергетиці. Актуальність теми полягає в потребі інноваційних підходів для оптимізації роботи та забезпечення стійкості теплоенергетичних систем в складних і динамічних умовах функціонування.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження Фогель-Гойзер та ін. (2020) [2] демонструє, що мультиагентні системи (MAS) є перспективним підходом для розподіленого контролю в промисловості в рамках Industry 4.0, забезпечуючи модульність, гнучкість і адаптивність, але демонструють слабке впровадження через високі витрати та відсутність стандартів. Мареїк і Макфарлейн (2005) [3] аналізують бар'єри для впровадження агентних технологій, такі як складність інтеграції, масштабованість і потреба в навчанні інженерів, але вказують на потенціал для реального часу, планування та управління ланцюжками постачання. Ньєвас та ін. (2024) [4] досліджують переваги навчання з підкріпленням (RL) для автономного контролю в Industry 4.0, зокрема в енергетичних системах, але підкреслюють виклики, як-от розрив між симуляцією та реальністю, безпеку та інтерпретованість. Лі (2021) [5] описує застосування штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж і нечіткої логіки, для інтелектуального контролю в автоматизації, що можна адаптувати для АІ-агентів у теплоенергетиці, підвищуючи рівень автоматизації та знижуючи витрати. Нечітка логіка використовується для моделювання невизначеності та імітації людського мислення в системах управління, але її класифікація як ШІ може варіюватися залежно від контексту.

Формулювання мети. Метою дослідження є оцінка потенціалу АІ-агентів для підвищення ефективності автоматизації теплоенергетичних процесів, аналіз їхніх переваг і ключових перешкод для впровадження в реальних умовах, а також стан розробити нейронної мережі (наприклад, LSTM) як інтелектуального агента для заміни традиційних ПІД-регуляторів.

Основна частина. АІ-агент – це інтелектуальна програмна система, створена на основі штучного інтелекту, яка здатна автономно аналізувати дані з датчиків (наприклад, температуру, тиск, збурення) теплоенергетичного об'єкта, приймати рішення про керування виконавчими механізмами і адаптуватися до змін у реальному часі без значного втручання людини. АІ-агенти використовують передові технології, такі як рекурентні нейронні мережі (наприклад, LSTM), навчання з підкріпленням (RL) або нечітку логіку, щоб імітувати людське мислення, прогнозувати поведінку системи та оптимізувати її роботу. У контексті теплоенергетики вони можуть стабілізувати процеси, знижувати енергоспоживання та підвищувати надійність, аналізуючи історичні дані та реагуючи на нелінійні умови чи збурення.

Наразі проводиться робота над створенням АІ-агента на базі рекурентної нейронної

мережі (LSTM) для моделювання теплоенергетичного об'єкта з метою заміни традиційного ПІД-регулятора. Проєктування AI-агента включає:

- розробку моделі – використання програмного забезпечення (наприклад, TensorFlow.js) для створення LSTM-мережі, яка аналізує послідовності даних (уставки, вихідні значення, збурення) з теплоенергетичного об'єкта. Мережа моделюється як Марківський процес прийняття рішень (MDP), де стани, дії та нагороди визначаються на основі динаміки системи;
- реалізацію – AI-агент фізично реалізується як складова частина програмного контролера (наприклад, на промисловому ПК чи РАС), який взаємодіє з датчиками й виконавчими механізмами. Фактично це програмно-апаратний модуль зі спеціальною програмною прошивкою, який інтегрується в існуючу систему автоматизації;
- функціонування – AI-агент аналізує дані в реальному часі, приймає рішення про керуючий сигнал для стабілізації системи, адаптуючись до нелінійних умов і збурень без централізованого втручання. Він використовує навчання з підкріпленням чи інші алгоритми ШІ для визначення керуючої дії, що сприятиме також оптимізації енергоспоживання або іншому критерію високого порядку.

Попередній аналіз показує, що AI-агенти мають потенціал для підвищення адаптивності до нелінійних умов і збурень, що підтверджується теоретичними дослідженнями [2, 4, 5]. Очікувані переваги AI-агентів порівняно з традиційними технологіями керування включають їхню автономність і гнучкість у адаптації до змін у теплоенергетичних процесах без централізованого втручання [2], швидку реакцію на збурення для стабілізації систем у реальному часі [3], а також використання інтелектуальних алгоритмів, таких як нейронні мережі та нечітка логіка, для підвищення точності та надійності керування [4, 5].

Виклики, які постають при використанні описаного підходу, включають високу потребу в даних, складність моделювання стохастичних процесів прийняття рішень, таких як Марківські процеси (MDP), безпеку впровадження, розрив між симуляцією та реальними умовами, а також потребу в стандартизації та зрілості технологій [3, 4]. Перспективним є поєднання AI-агентів із традиційними системами для створення гібридних рішень.

Висновки. AI-агенти мають значний потенціал для трансформації автоматизації теплоенергетичних процесів, підвищуючи їхню ефективність і адаптивність. Однак їхнє широке впровадження потребує вирішення технічних, економічних і стандартизаційних бар'єрів. Подальші дослідження мають зосередитися на створенні гібридних систем, удосконаленні симуляційних моделей і забезпеченні надійної експлуатації.

Перелік посилань:

1. Åström K. J., Hägglund T. Advanced PID Control. ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2005. 461 p.
2. Multi-agent systems to enable Industry 4.0 / B. Vogel-Heuser et al. at – Automatisierungstechnik. 2020. Vol. 68, no. 6. P. 445–458. URL: <https://doi.org/10.1515/auto-2020-0004>
3. Marik V., McFarlane D. Industrial Adoption of Agent-Based Technologies. IEEE Intelligent Systems. 2005. Vol. 20, no. 1. P. 27–35. URL: <https://doi.org/10.1109/mis.2005.11>
4. Reinforcement Learning for Autonomous Process Control in Industry 4.0: Advantages and Challenges / N. Nievas et al. Applied Artificial Intelligence. 2024. Vol. 38, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1080/08839514.2024.2383101>
5. Li Q. Application of Artificial Intelligence in Industrial Automation Control System. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 647. P. 012043. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/647/1/012043>

¹ Аспірант 2 курсу Сельоткін В.О.

¹ Доц., д.т.н. Волощук В.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=Gdu5LckAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЗИЦІЙ І ТИПУ КОМПОНЕНТІВ ДРУКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЛАТ МЕТОДАМИ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ І КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасному виробництві електроніки друковані плати (PCB) містять безліч дрібних і схожих за зовнішнім виглядом компонентів, що ускладнює їхню автоматичну інспекцію та класифікацію. Традиційні методи часто стикаються з проблемами через варіації освітлення, високу щільність компонентів та невеликі різниці між моделями. Використання сучасних методів глибокого навчання, таких як YOLO, у поєднанні з методами аналізу кольорових гістограм для вимірювання схожості, є актуальним напрямком для підвищення точності та ефективності автоматичної інспекції PCB.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження демонструють успішне застосування алгоритмів глибокого навчання (YOLO, Faster R-CNN, SSD) для виявлення компонентів на PCB, що дозволяє досягти високої точності та швидкості. Поряд із цим, існують роботи, які використовують традиційні методи комп'ютерного зору, наприклад, аналіз кольорових гістограм для порівняння компонентів. Хоча класичні підходи мають переваги в простоті та обчислювальній ефективності, вони часто виявляють обмежену стійкість до змін освітлення та інших умов. Комбінація глибокого навчання з традиційними методами створює перспективний підхід, який дозволяє компенсувати слабкі сторони кожного з них та забезпечити більш надійну інспекцію.

Формулювання мети. Метою дослідження є розробка системи автоматичної інспекції PCB, яка поєднує використання моделі YOLO для виявлення компонентів з аналізом їх схожості за допомогою кольорових гістограм. Завдання включають оптимізацію алгоритму для забезпечення високої точності та швидкодії в реальному часі, а також оцінку ефективності методів кольорових гістограм у розрізненні компонентів, що належать до однієї категорії, для подальшої ідентифікації конкретних моделей.

Основна частина. Методи глибокого навчання зробили революцію в перевірці друкованих плат, забезпечивши точне й автоматизоване виявлення об'єктів компонентів і дефектів. Сучасні детектори, такі як YOLO (You Only Look Once), Faster R-CNN і SSD (Single Shot MultiBox Detector), були адаптовані до зображень друкованих плат. Двоступеневі детектори, такі як Faster R-CNN, забезпечують високу точність, але ціною швидкості, тоді як одноступінчасті моделі, такі як YOLO та SSD, досягають продуктивності в реальному часі з дещо нижчою точністю [1].

Двоступеневі детектори, такі як Faster R-CNN, також успішно застосовуються, часто в сценаріях, що вимагають надзвичайно високої точності виявлення дрібних або тонких елементів. Faster R-CNN із основою ResNet50 і мережею піраміди функцій (FPN) для виявлення поверхневих дефектів друкованої плати. Завдяки об'єднанню глибоких функцій у різних масштабах їхній метод досяг успіху у пошуку невеликих дефектів, які традиційні AOI можуть пропустити. Крім того, автори інтегрували керований прив'язок RPN і модулі ShuffleNet для вдосконалення пропозицій, зробивши підхід більш стійким до шуму [2]. Моделі на базі YOLO популярні завдяки своїй швидкості та успішно використовуються для виявлення відсутніх компонентів, несумісності та дефектів пайки на зображеннях друкованої плати. Faster R-CNN і подібні моделі, хоча й повільніші, забезпечують

прискорення виявлення надзвичайно малих і малопомітних компонентів. Традиційні методи комп'ютерного зору для ідентифікації компонентів друкованої плати та виявлення дефектів покладаються на створені вручну функції або зіставлення шаблонів, а не на вивчені представлення. Детектори ключових точок, такі як SIFT і SURF, використовувалися для розпізнавання компонентів друкованої плати шляхом зіставлення характеристик між відомим зображенням компонента та платою, що перевіряється [3]. Гістограма орієнтованих градієнтів (HOG) у поєднанні з класифікатором SVM була досліджена для класифікації областей компонентів. Хоча цей підхід був дуже успішним у загальному виявленні об'єктів, його застосування до компонентів друкованої плати зіткнулося з проблемами через різний зовнішній вигляд і крихітні розміри деталей на платах високої щільності [4].

У даному дослідженні розроблено алгоритм автоматичної визначення компонентів друкованих плат, що базується на використанні моделі YOLO11 для швидкого визначення позицій компонентів на платі та їх попередньої класифікації за основними категоріями, після чого подальше уточнення типу компонента здійснюється за допомогою аналізу кольорових гістограм.

На першому етапі алгоритм застосовує модель YOLO11, оптимізовану для виявлення компонентів на основі попереднього навчання на спеціалізованому наборі даних. Модель не лише локалізує об'єкти на зображенні, але й виконує первинну класифікацію на основні класи, що є критично важливим для подальшого процесу розпізнавання. Для оцінки ефективності детекції використовуються стандартні метрики, такі як середнє значення точності (mAP), precision та recall, що дозволяє визначити якість локалізації компонентів навіть у випадку їх високої щільності на платі. Отримані результати зображені в таблиці 1 і на рисунку 1.

Таблиця 1

box_loss	cls_loss	Precision, %	Recall, %	F1-score, %
2,031	2,326	0,9565	0,88	0,9167

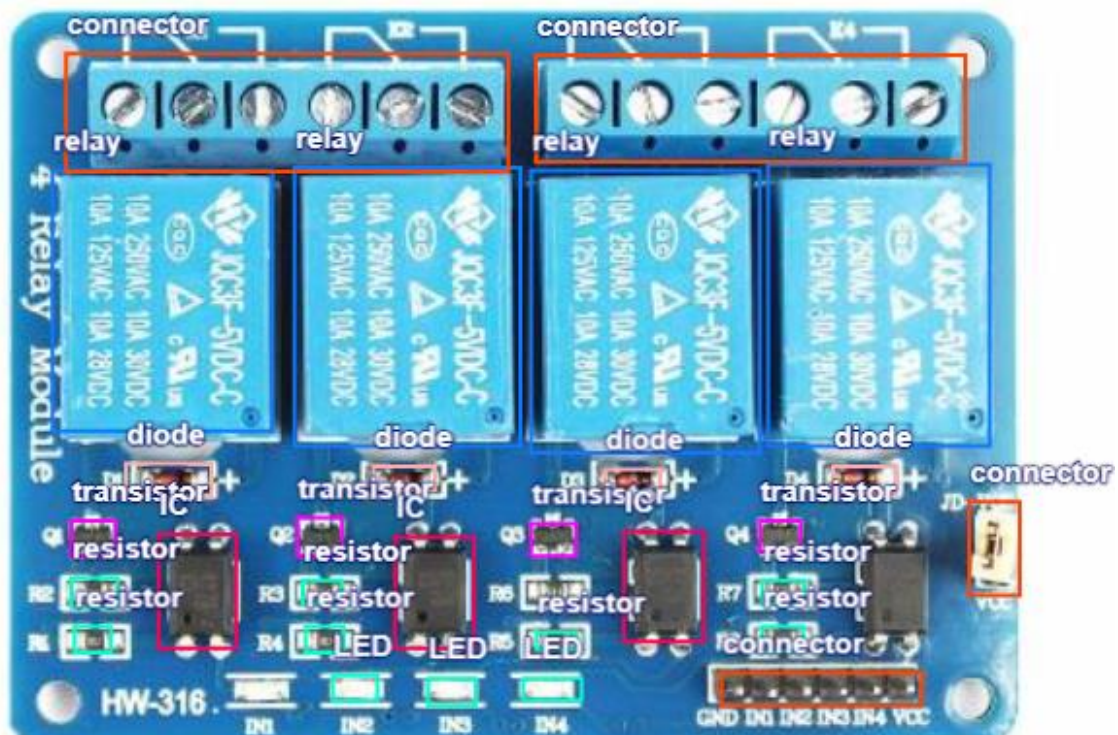


Рисунок 1 – Приклад знаходження об'єктів на тестувальному наборі даних

Після виявлення та попередньої класифікації кожен компонент обрізається з основного зображення, після чого здійснюється розрахунок його кольорової гістограми. Обчислені гістограми порівнюються із відповідними зразками з бази за допомогою кореляції. Такий підхід дозволяє уточнити класифікацію, визначаючи точну модель компонента навіть у випадках, коли попередня класифікація за основними класами виявляє неоднозначність через схожість візуальних характеристик. Результати розрахунку кореляції для блоків, зображено на рисунку 2.

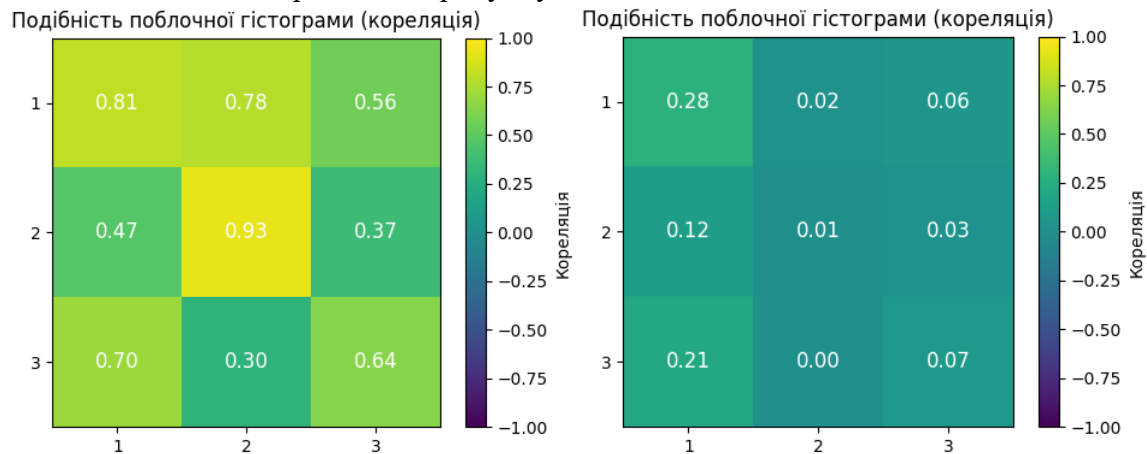


Рисунок 2 – Приклад результатів співставлення кольорових гістограм

Висновки

Висока швидкодія моделі та обчислювальна ефективність аналізу кольорових гістограм забезпечують можливість застосування запропонованого алгоритму в режимі реального часу, що є критично важливим для промислових систем автоматичної інспекції. Результати експерименту дозволять не лише продемонструвати переваги комбінованого підходу порівняно з окремими методами, а й визначити напрямки для подальшої оптимізації, зокрема інтеграцію додаткових ознак, що можуть покращити стабільність роботи системи в умовах змінних параметрів освітлення та високої щільності компонентів.

Перелік посилань:

1. Shen M., Liu Y., Chen J. Defect detection of printed circuit board assembly based on YOLOv5. *Sci Rep* 14, 19287 (2024). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70176-1>
2. Hu B., Wang J. Detection of PCB Surface Defects With Improved Faster-RCNN and Feature Pyramid Network. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 108335–108345. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3001349>
3. PCB defect detection based on PSO-optimized threshold segmentation and SURF features / Y. Chang et al. *Signal, Image and Video Processing*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1007/s11760-024-03075-7>
4. PCB Component Detection Using Computer Vision for Hardware Assurance / W. Zhao et al. *Big Data and Cognitive Computing*. 2022. Vol. 6, no. 2. P. 39. URL: <https://doi.org/10.3390/bdcc6020039>

¹ Аспірант 3 курсу Темчур В.С.

¹ Доц., к.т.н. Баган Т.Г.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=THGfTTsAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРЕДИКТИВНА ДІАГНОСТИКА НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ПІДХОДУ CNN-LSTM

Постановка проблеми та її актуальність. Системи моніторингу стану електродвигунів відіграють ключову роль у промисловості, оскільки відмова двигуна може призвести до значних фінансових втрат та аварійних ситуацій. Одним із найбільш ефективних підходів до виявлення несправностей є аналіз вібраційних сигналів, оскільки такі сигнали містять критичну інформацію про механічний стан двигуна. Проте класичні методи аналізу, засновані на спектральних перетвореннях (наприклад, швидке перетворення Фур'є, хвильовий аналіз), мають низку обмежень: вони вимагають значних обчислювальних ресурсів, потребують експертного налаштування та не завжди можуть ефективно обробляти складні нелінійні сигнали.

З розвитком методів глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN) та рекурентних мереж (RNN), з'явилася можливість автоматизувати процес обробки вібраційних сигналів. Проте використання CNN і RNN/LSTM поодиночі має певні недоліки. CNN добре витягують локальні особливості сигналу, але не враховують його часовий контекст, тоді як LSTM аналізує часові залежності, але неефективно обробляє просторові особливості. Це створює необхідність у розробці гібридних підходів, що поєднують сильні сторони обох архітектур для досягнення більшої точності та універсальності в діагностиці несправностей електродвигунів.

Аналіз останніх досліджень. Попередні дослідження в області інтелектуальної діагностики несправностей електродвигунів фокусувалися на застосуванні різних алгоритмів машинного та глибокого навчання. Ранні роботи використовували традиційні методи, такі як SVM та k-NN, які демонстрували непогані результати на малих вибірках, але мали труднощі з узагальненням на великих промислових даних [1]. З появою більш потужних обчислювальних методів дослідники почали активно застосовувати глибокі нейромережі.

Один із підходів передбачає використання 1D-CNN для автоматичного витягування характеристик із вібраційного сигналу. Наприклад, у [2] автори використовували компактну адаптивну 1D-CNN, яка показала високу точність у класифікації дефектів підшипників. Подібні методи дають змогу уникнути ручного відбору ознак, проте їх недоліком є недостатня ефективність у випадку динамічних змін у сигналі.

Інший підхід – застосування LSTM, що добре працює із часовими рядами. Наприклад, у [3] запропоновано модель, яка аналізує часові залежності у вібраційних даних і досягає високої точності. Однак LSTM не може ефективно працювати із просторовими патернами сигналу, що може обмежувати її продуктивність.

Таким чином, залишається відкритим питання розробки ефективної гібридної моделі, що дозволить усунути недоліки кожного підходу окремо та забезпечить високу точність діагностики в умовах промислових даних.

Формулювання мети. Метою цього дослідження є розробка гібридної нейромережевої архітектури на основі CNN та LSTM для предиктивної діагностики несправностей електродвигунів шляхом аналізу вібраційного сигналу без попередньої обробки у частотній області. Основна ідея полягає у поєднанні переваг CNN (витягування локальних ознак сигналу) та LSTM (аналіз часових

залежностей) для досягнення більш високої точності та стійкості діагностики у порівнянні з традиційними методами.

Основна частина. У даному дослідженні запропоновано використання гібридної архітектури нейронної мережі, що поєднує згорткову нейромережу (CNN) та рекурентну нейромережу довгої короткочасної пам'яті (LSTM).

Згорткова нейромережа використовується для автоматичного виділення характерних особливостей вібраційного сигналу. Завдяки застосуванню 1D-CNN вдається виявити локальні патерни, такі як періодичні удари або зміни амплітуди, що характерні для різних типів несправностей електродвигунів. Основна операція у CNN – згортка, вихід згорткового шару [4] визначається за формулою:

$$v_{ij}^x = g(b_{ij} + \sum_m \sum_{p=0}^{P_i-1} W_{im}^p v_{(i-1)m}^{x-p}), \quad (1)$$

де m – індексує карту об'єктів у попередньому шарі, з'єднану з поточною картою об'єктів W_{im}^p – вага позиції p на карті об'єктів; P_i – ширина ядра в сторону спектрального виміру; b_{ij} – зміщення карти об'єктів j в шарі i ; g – функція активації.

Мережа LSTM забезпечує аналіз часових залежностей у сигналі. Це дозволяє відстежувати зміни динаміки вібраційних характеристик у часі та визначати, чи є певні зміни короткочасними або довготривалими, що особливо важливо для раннього виявлення дефектів. Кожен блок LSTM складається з трьох воріт, а саме вхідних воріт, воріт забуття і вихідних воріт [5]. Ворота – це спосіб необов'язково пропускати інформацію, вони складаються з сигмоїдальної функції активації, яка виводить числа від нуля до одиниці:

$$\sigma(t) = \frac{1}{1+e^{-t}}. \quad (2)$$

Значення нуль означає, що нічого не проходить, а значення один означає, що все проходить через ворота. Ворота характеризуються наступними рівняннями:

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i), \quad (3)$$

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f), \quad (4)$$

$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o), \quad (5)$$

де i_t – вхідні ворота; f_t – ворота забуття; o_t вихідні ворота; σ – сигмоїдальна функція активації; W_x – вага відповідних воріт(x); h_{t-1} – вихід попереднього блоку на кроці часу $t-1$; x_t – вхід на поточному кроці часу; b_x – зміщення для відповідних воріт(x).

Вектор стану комірки (C_t) і вихідний вектор LSTM (h_t) можна описати наступними рівняннями:

$$C'_t = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c), \quad (6)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * C'_t, \quad (7)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t), \quad (8)$$

де C'_t – вектор-кандидат для вектора стану комірки; $\tanh$ – функція активації гіперболічного тангенса; $*$ – добуток Адамара.

Запропонована модель поєднує CNN і LSTM. Вхідні дані сегментуються та нормалізуються перед подачею в мережу. CNN складається з 2 згорткових шарів (Conv1D) з 64 та 128 фільтрами, за якими слідує шар нормалізації (BatchNormalization) і об'єднання (MaxPooling). LSTM-мережа містить 50 нейронів у прихованому шарі. На виході використовується повнозв'язний шар із Softmax для класифікації. Для навчання та тестування використовувалися дані з наборів IMS Dataset і CWRU Dataset.

Висновки. У роботі запропоновано гібридну CNN-LSTM архітектуру для діагностики несправностей електродвигунів за вібраційними сигналами. Об'єднання CNN та LSTM дозволяє ефективно вилучати просторові та часові ознаки, підвищуючи точність класифікації.

Експериментальні випробування на вибірках IMS Dataset та CWRU Dataset підтвердили високу ефективність запропонованого підходу, демонструючи точність 97,5 % і 96,2 % відповідно. Запропонований метод може бути використаний для автоматизованого моніторингу стану електродвигунів, підвищуючи надійність та безперебійність роботи промислового обладнання.

Перелік посилань:

1. Mao W., Feng W., Liang X. (2019) A novel deep output kernel learning method for bearing fault structural diagnosis. *Mechanical Systems and Signal Processing* 117:293-318.
2. Eren L., Ince T., Kiranyaz S. (2018) A Generic Intelligent Bearing Fault Diagnosis System Using Compact Adaptive 1D CNN Classifier. *Journal of Signal Processing Systems*.
3. Zhang Y., Hao X., Liu Y. (2019) Simplifying Long Short-Term Memory for Fast Training and Time Series Prediction. *Journal of Physics: Conference Series* 1213:042039.
4. Chen Y., Jiang H., Li C., Jia X., Ghamisi P. (2016) Deep Feature Extraction and Classification of Hyperspectral Images Based on Convolutional Neural Networks, vol. 54.
5. Zhang Y., Hao X., Liu Y. (2019) Simplifying Long Short-Term Memory for Fast Training and Time Series Prediction. *Journal of Physics: Conference Series* 1213:042039.

¹ Магістрант 1 курсу Арєф'єва А.О.

¹ Ст.викл. Поліщук І.А.

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&authuser=2&user=2CLzdFgAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

Декарбонізація теплопостачання будівель та промисловості є важливим завданням у контексті переходу до сталих енергетичних систем. Великомасштабні теплові насоси можуть відігравати ключову роль у цьому процесі за умови їх ефективною та надійною роботи. Проте забезпечення енергоефективності таких систем вимагає оптимального вибору робочих точок керування (set points), які зазвичай визначаються під час введення обладнання в експлуатацію. З часом ці налаштування можуть втрачати свою ефективність через зміну зовнішніх умов та деградацію компонентів [1].

Сучасні цифрові технології, зокрема цифрові двійники, відкривають нові можливості для моніторингу та оптимізації роботи обладнання в реальному часі. Цифрові двійники дозволяють створювати віртуальні копії фізичних систем, що адаптуються до змінних умов експлуатації та можуть бути використані для підвищення енергоефективності теплових насосів. Однак їх застосування в цій сфері залишається обмеженим. Дослідження, що стосуються використання цифрових двійників у теплових насосах, є поодинокими, що свідчить про необхідність подальшого вивчення цього підходу.

Останні дослідження у сфері цифрових двійників теплових насосів демонструють значний прогрес у підвищенні точності прогнозування їхньої роботи. Дослідження підтверджує ефективність цифрових двійників у реальному часі для оптимізації енергоспоживання та покращення експлуатаційних характеристик систем опалення. Використання таких методів відкриває нові можливості для підвищення ефективності та надійності теплових насосів у житлових і комерційних будівлях [2]. Технологія цифрового двійника інтегрує інформаційні технології та цифрові моделі, що переходять від теоретичних досліджень до практичного застосування. Цифровий двійник застосовується в складних системах, таких як енергомережі та системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, для управління станом, прогнозування несправностей та інтелектуального контролю [3].

Обране дослідження спрямоване на оцінку потенціалу цифрових двійників для оптимізації робочих точок великомасштабних теплових насосів у режимі реального часу. Зокрема, метою є розробка та аналіз цифрових двійників для двох комерційних теплових насосів, що використовуються в системах централізованого теплопостачання, з акцентом на підвищення їх енергоефективності та стійкості до відмов.

У рамках даного дослідження було обрано дві демонстраційні установки, розташовані в Данії. Вони використовують різні джерела тепла та мають відмінні конструктивні особливості, що дозволяє оцінити ефективність різних підходів до роботи теплових насосів.

Установка І працює на морській воді, а Установка ІІ – на промислових надлишкових теплових ресурсах. Номінальні потужності опалення становлять 1 МВт і 2 МВт відповідно.

Установка І має каскадну теплову помпу з паровим компресійним циклом на нижньому рівні та аміачним на верхньому. Установка ІІ – двоступінчасту аміачну систему з поршневым компресором на кожному етапі.

Установка II схильна до забруднення випарника, що знижує ефективність. Очищення випарника здійснюється за допомогою системи очищення на місці, що зменшує деградацію продуктивності.

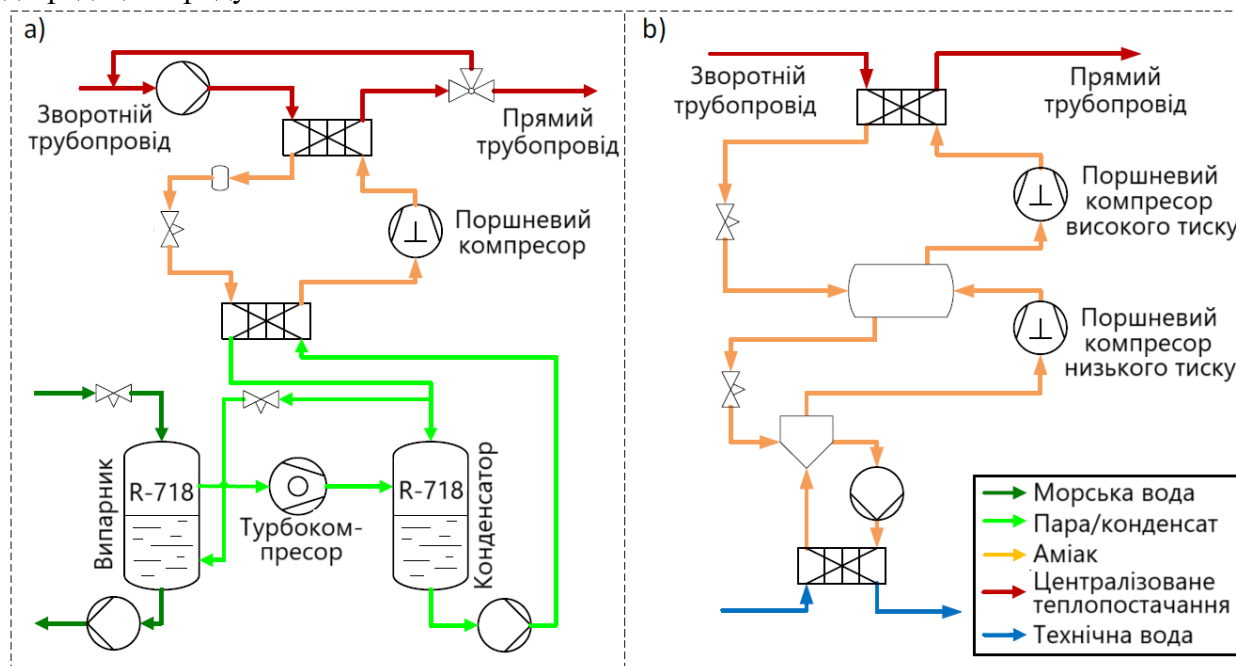


Рисунок 1 – Схема Установки 1 (а) та Установки 2 (б) [1]

Оптимізація точки налаштування в реальному часі.

Приклад оптимізації точки налаштування в Установці I показано на рисунку 2. Модель симуляції спочатку показала ККД 3,35 при швидкості компресора 87 % протягом перших трьох годин. Після першої оптимізації (о 09:00) швидкість була знижена до 83 %, що збільшило ККД до 3,40 (на 1,5 %). Подальші оптимізації не призвели до змін, оскільки оптимальні значення були досягнуті після першої корекції. Оптимізація проводилася лише за ККД, але можна було б врахувати й інші змінні, наприклад, теплове навантаження насоса. Запропонована цифрова платформа може оцінювати гіпотетичні сценарії і допомагати операторам тестувати точки налаштування для точних оцінок ефективності системи.

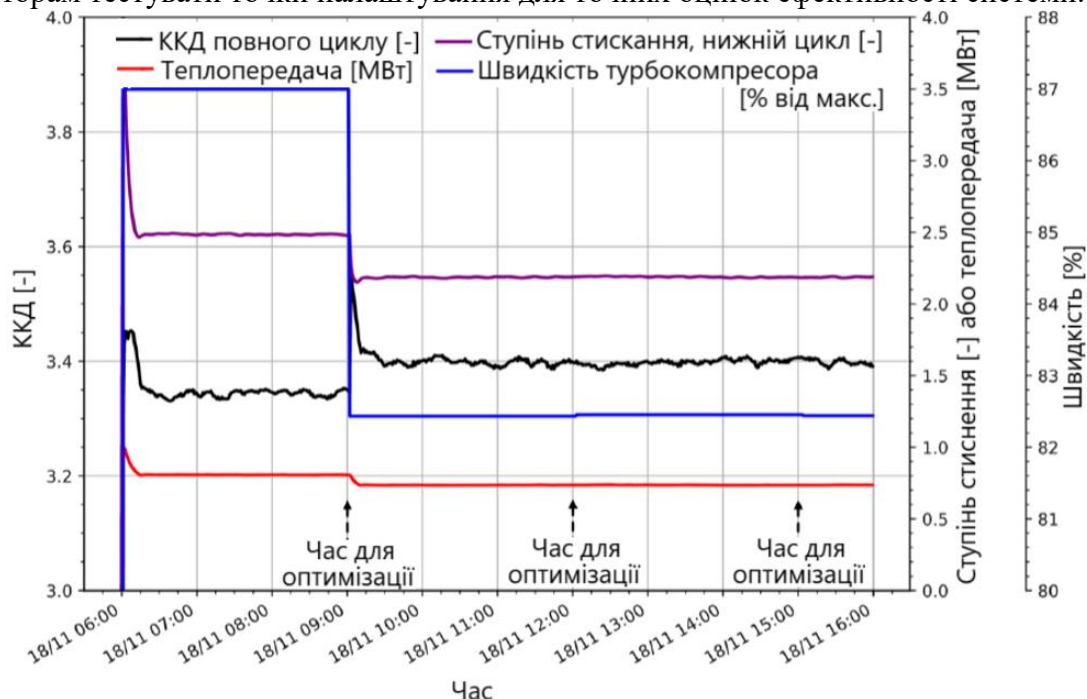


Рисунок 2 – Оптимізація точки налаштування в реальному часі у Установці I [1]

Оптимізація точки налаштування при погіршенні ефективності

Рисунок 3 показує порівняння оптимальних проміжних точок тиску, отриманих з різних моделей: геометричного середнього, фіксованої, адаптивної та сурогатної. Оптимальні точки тиску призвели до збільшення ККД на 0,2 % до 1,3 %, зокрема при низьких теплових потужностях. Фіксована модель переоцінювала покращення ККД і зниження потужності, особливо в періоди високих потужностей. Адаптивна та сурогатна моделі дали схожі оцінки, але сурогатна модель дозволяє отримувати результати швидше, оскільки не потребує оптимізації. Результати підкреслюють важливість врахування забруднення при оптимізації.

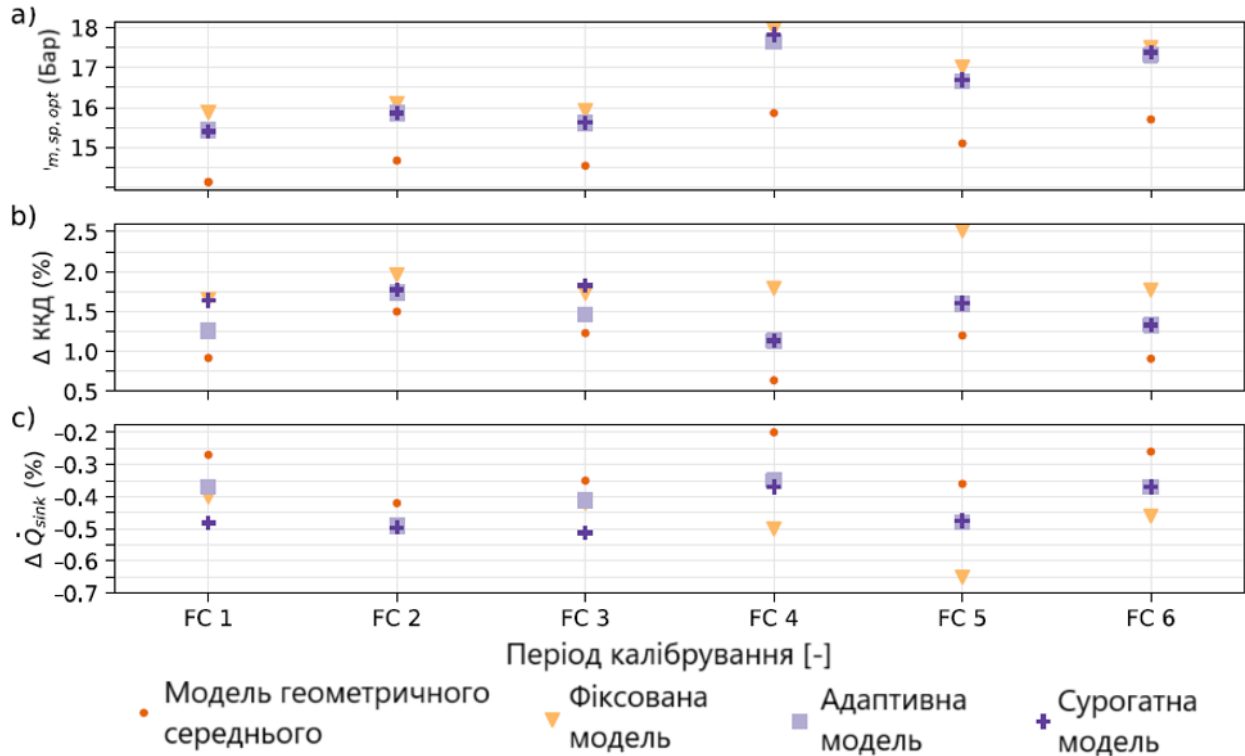


Рисунок 3 – Оптимізація точки налаштування в Установці II (FC (Fuel Cycle) – повний цикл) [1]

Перша структура оптимізувала робочі точки температури на виході в реальному часі в каскадній системі теплових насосів. Друга структура визначала оптимальні робочі точки середнього тиску для двоступінчастої системи теплових насосів, враховуючи різні рівні забруднення. Результати продемонстрували потенціал підвищення енергетичної ефективності теплових насосів великого масштабу шляхом розширення запропонованих структур за допомогою технології цифрових двійників. Важливо визначити відповідні рівні складності моделей та кілька цілей оптимізації для оптимальної інтеграції цих структур в існуючі системи управління тепловими насосами.

Перелік посилань:

1. Aguilera J.J., Poulsen J.L., Enhancing Energy Efficiency in Large-Scale Heat Pumps Using Digital Twins for Set Point Optimization, vol. 9. 2024.
2. Lv R., Yuan Z., A high-fidelity digital twin predictive modeling of air-source heat pump using FCPM-SBLS algorithm, vol. 87. 2024.
3. Zhang K., Wu Q., Li H., Zhang R., Li J., Jiang F., Liu L., Intelligent Optimal Control Strategy of Heat Pump System Based on Digital Twins, vol. 34. 2022.

¹ Магістрант 1 курсу Васянович В.М.

¹ Доц., к.т.н. Батюк С.Г.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=cWaZ5o4AAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТРЕНАЖЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ І ПРОГРАМНО-ЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

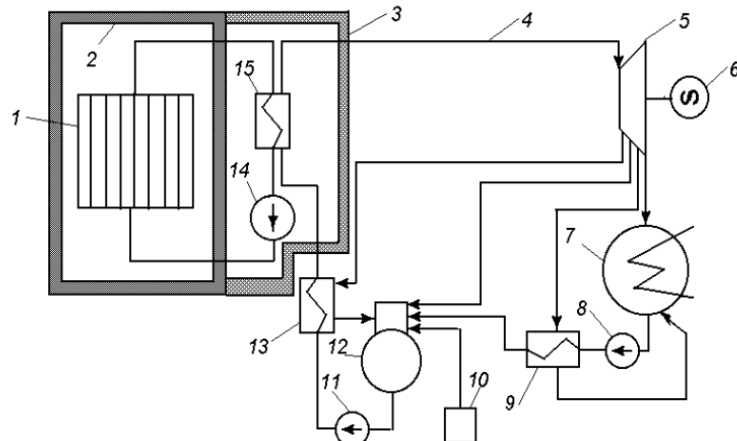
Постановка проблеми. Необхідність тестувань і випробувань систем автоматичного регулювання (САР) і програмно-логічного управління (СПЛУ) є важливим етапом розробки автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Особливу вагу це тестування має для САР і СПЛУ атомних електростанцій (АЕС), де найважливішим пріоритетом є ядра безпека.

Аналіз проблеми. В тестуванні (випробуванні) САР і СПЛУ виділяють імітаційне моделювання (функціональне і структурне) [1] і тренажерне (завжди структурне) моделювання. Функціональне імітаційне моделювання (ФІМ) – це програмне моделювання функцій САР і СПЛУ в системі комп’ютерної математики (СКМ). Мета ФІМ – аналіз якості перехідних процесів в САР для сигнальних збурень і синтез САР, малочутливої до параметричних збурень (добовий, сезонний і віковий дрейфи параметрів технологічного об’єкту управління – ТОУ). Структурне імітаційне моделювання (СІМ) – це програмне моделювання структури автоматизованого технологічного комплексу (АТК) ТОУ (АТК ТОУ = ТОУ + АСУ) і взаємодії між ТОУ (модель ТОУ в СКМ), програмованим логічним контролером (софтПЛК) і системою людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) у складі програмно-технічного комплексу (ПТК) АСУ. Мета СІМ – розробка функціональності ПТК АСУ. Структурне тренажерне моделювання (СТМ), як і СІМ, – це програмно-технічне моделювання структури АТК ТОУ і взаємодії між ТОУ, ПЛК і ЛМІ-системою. Мета СТМ – тренінг експлуатаційного і обслуговуючого персоналу ПТК АСУ в штатних і нештатних ситуаціях функціонування ТОУ. Три відмінності між СІМ і СТМ: 1) СІМ – інструмент розробки САР, СТМ – інструмент тренінгу персоналу; 2) модель ТОУ в СТМ суттєво більш детальна і адекватна реальному ТОУ (не апроксимаційна); 3) СІМ використовує три різні програмні продукти (СКМ, софтПЛК і ЛМІ-систему), а СТМ – це спеціалізований ПТК (програмно-технічний аналог АТК ТОУ).

Постановка завдання. Метою дослідження є 1) розробка полігону СІМ з використанням СКМ Matlab Simulink, софтПЛК CoDeSys і HMI/SCADA-системи WebStudio; 2) робота на полігоні СТМ з використанням реального тренажеру АТК енергоблоку АЕС; 3) порівняльний аналіз полігонів СІМ і СТМ і висновок про ефективність вказаних полігонів в розробці АСУ і в експлуатації АСУ. Дослідити: 1) САР теплового навантаження; 2) САР живлення в барабанному і прямотечійному парогенераторах; 3) САР підігрівачів низького і високого тиску; 4) САР деаератору; 5) СПЛУ захистів і блокувань енергоблоку АЕС. Порядок дослідження: 1) зняти перехідні характеристики ОУ і порівняти перехідні процеси в САР з розрахованими параметрами ПІ-регуляторів в ФІМ/СІМ і в СТМ; сигнальні збурення – зі сторони регулюючого органу (РО) і за навантаженням (змінною завдання); 2) дослідити чутливість САР в ФІМ/СІМ і в СТМ до параметричних збурень; основне параметричне збурення – зміна коефіцієнту передачі РО. В якості апроксимованої моделі ОУ використовувати послідовне з’єднання ланки транспортного запізнення і аперіодичної ланки 1-го порядку (для статичного ОУ) або інтегральної ланки (астатичний ОУ). Для розрахунків регуляторів використовувати експрес-методи.

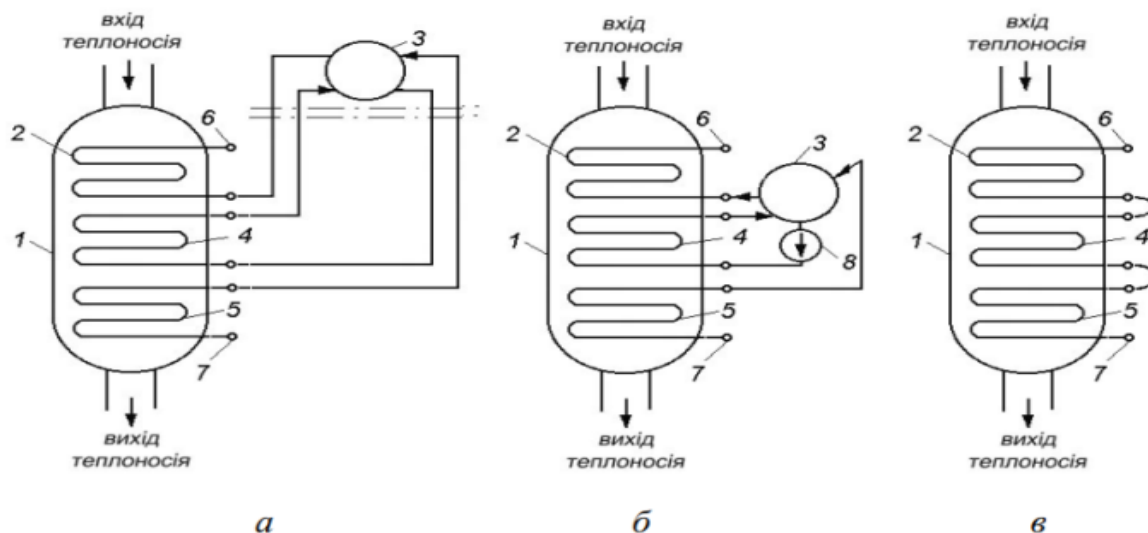
Дослідження і аналітика. Наведені теплова схема енергоблоку двоконтурної АЕС, теплові схеми барабанного і прямотечійного парогенераторів енергоблоків двоконтурної АЕС і схема функціональна САР потужності енергоблоку двоконтурної АЕС.

На рис. 1 наведена теплова схема енергоблоку двоконтурної АЕС. Двоконтурні схеми ЕБ з ядерними реакторами – основні для АЕС. В двоконтурних схемах ЕБ АЕС використовуються водо-водяні ядерні реактори ВВЕР і їх зарубіжні аналоги – реактори з водою під тиском PWR (pressurized water reactors).



- 1 – ядерний реактор; 2 – біологічний захист реактора; 3 – біологічний захист парогенератора; 4 – головний паропровід; 5 – парова турбіна; 6 – електрогенератор; 7 – конденсатор; 8 – конденсатний насос; 9 – система підігрівачів низького тиску; 10 – установка для підготовки додаткової живильної води; 11 – живильний насос; 12 – деаератор; 13 – система підігрівачів високого тиску; 14 – насос першого контуру; 15 – парогенератор.

Рисунок 1 – Теплова схема енергоблоку двоконтурної АЕС



- (а) – парогенератор з багаторазовою природною циркуляцією; (б) – парогенератор з багаторазовою примусовою циркуляцією; прямотечійна (в) прямотечійний парогенератор.

- 1 – корпус парогенератора; 2 – пароперегрівник; 3 – барабан сепарації; 4 – випарник; 5 – економайзер; 6 – вихід перегрітої пари; 7 – вхід живильної води; 8 – насос примусової циркуляції.

Рисунок 2 – Теплові схеми парогенераторів двоконтурної АЕС

Парогенератори на АЕС використовуються для охолодження води 1-го контуру та виробництва пари. В парогенераторі з багаторазовою примусовою циркуляцією рух робочої

[illegible]

Рисунок 3 – Схема функціональна САР потужності енергоблоку двоконтурної АЕС

Результати і висновки. Здійснити порівняльний аналіз полігонів СІМ і СТМ і зробити висновок про ефективність вказаних полігонів в розробці АСУ і в експлуатації АСУ можна буде тільки після завершення досліджень на полігоні СТМ. Автори сподіваються, що проведені дослідження підтвердять: 1) ефективність СІМ і тотожність результатам СТМ, відповідно, і можливість використовувати полігон СІМ замість полігону СТМ для обслуговуючого персоналу (для експлуатаційного персоналу основним, безумовно, залишається полігон СТМ); 2) ефективність апроксимації перехідної характеристики послідовним з'єднанням ланки транспортного запізнення і аперіодичної ланки 1-го порядку або інтегруючої ланки; 3) ефективність експрес-методів для розрахунку ПІ-регуляторів таких САР, які забезпечують аперіодичні перехідні процеси в САР для сигнальних збурень (зі сторони РО і за навантаженням) і, відповідно, малочутливість САР до параметричного збурення зміною коефіцієнту передачі РО.

1. Батюк С.Г. Імітаційне моделювання і цифровий твінінг енергетичних кібер-фізичних систем (кібер-енергетичних систем) // Досягнення України та країн ЄС у сфері інновацій і винахідництва в галузі техніки : колективна монографія. С. 44-109. Рига, Латвія: Izdevniecība “Baltija Publishing”, 2022. 544 с. 65 с.

¹ Магістрант 1 курсу Гуменюк В.Ю.

¹ Ст.викл. Поліщук І.А.

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&authuser=2&user=2CLzdFgAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТИ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

Згідно з прогнозами ЕІА, глобальне споживання енергії зросте на 50 % до 2050 року, що разом з поточними технологіями виробництва енергії з невідновлюваних джерел спричиняє понад 70 % глобальних викидів парникових газів. Це викликає необхідність пошуку ефективних способів роботи енергетичної галузі для зменшення негативних впливів змін вартості палива, погодних умов, циклів роботи електростанцій, незапланованих відключень тощо. Існуючі рішення мають інкрементальний характер, тому нові технології та підходи є необхідними для трансформації енергетичного сектору та підвищення енергоефективності в різних сферах, зокрема через використання цифрових двійників для електростанцій, що покращують гнучку експлуатацію та прискорюють трансформацію енергетичних систем [1].

Цифрові двійники вже понад 20 років застосовуються в різних сферах, зокрема у виробництві, смарт-містах, охороні здоров'я, будівництві, автомобільній промисловості, сільському господарстві та морських перевезеннях. Вони використовуються для моніторингу в реальному часі, прогнозування продуктивності, оптимізації процесів, управління активами, діагностики та планування обслуговування. В енергетичній галузі їх впровадження поки що залишається обмеженим, проте активно досліджується можливість підвищення продуктивності, надійності та гнучкості електростанцій.

На рис. 1 показано ключові виклики енергетичної галузі та необхідність впровадження цифрових двійників для підвищення гнучкості електростанцій. Для цього необхідно оптимізувати мережу датчиків, інтегроване динамічне моделювання, технології віртуальної реальності та стратегії керування, що сприятиме цифровізації та ефективному управлінню енергосистемами.



Рисунок 1 – Завдання, що постають перед енергетичною галуззю, вдосконалення гнучкості роботи електростанцій та цифровий двійник [1]

Дане дослідження спрямоване на аналіз ефективного використання енергії та гнучкості операцій у контексті енергетичної трансформації за допомогою цифрового двійника, зокрема в умовах, коли постачання енергії з мережі не може бути постійно забезпечене. Де цифровий двійник використовується для оцінки ефективності роботи когенераційної установки, демонструючи його потенціал у підвищенні продуктивності, зменшенні енергетичних втрат і покращенні керованості процесами. У рамках даного дослідження було обрано три демонстраційні варіанти роботи когенераційної установки на цукровому заводі Wonji-Shoa в Ефіопії. За допомогою процесного симулятора ProSimPlus® був відтворений цифровий двійник установки, що дозволило здійснити аналіз енергетичних та економічних показників для порівняння продуктивності трьох можливих режимів її роботи [2].

На рисунку 2, зображено перший сценарій роботи, і це найбільш вдалий випадок, коли когенераційна установка працює одночасно на забезпечення потреб цукрового заводу та енергетичної мережі. Цей режим роботи показав найбільшу ефективність у забезпеченні стабільності постачання енергії та максимізації прибутковості, що є критично важливим для досягнення економічної та енергетичної стійкості в умовах змінюваної енергетичної ситуації. Щодо енергоефективності, було виявлено можливість зменшити втрати енергії до 9,63 МВт і потенціал для 15 % відновлення тепла через кращу інтеграцію утилізаційних потоків.

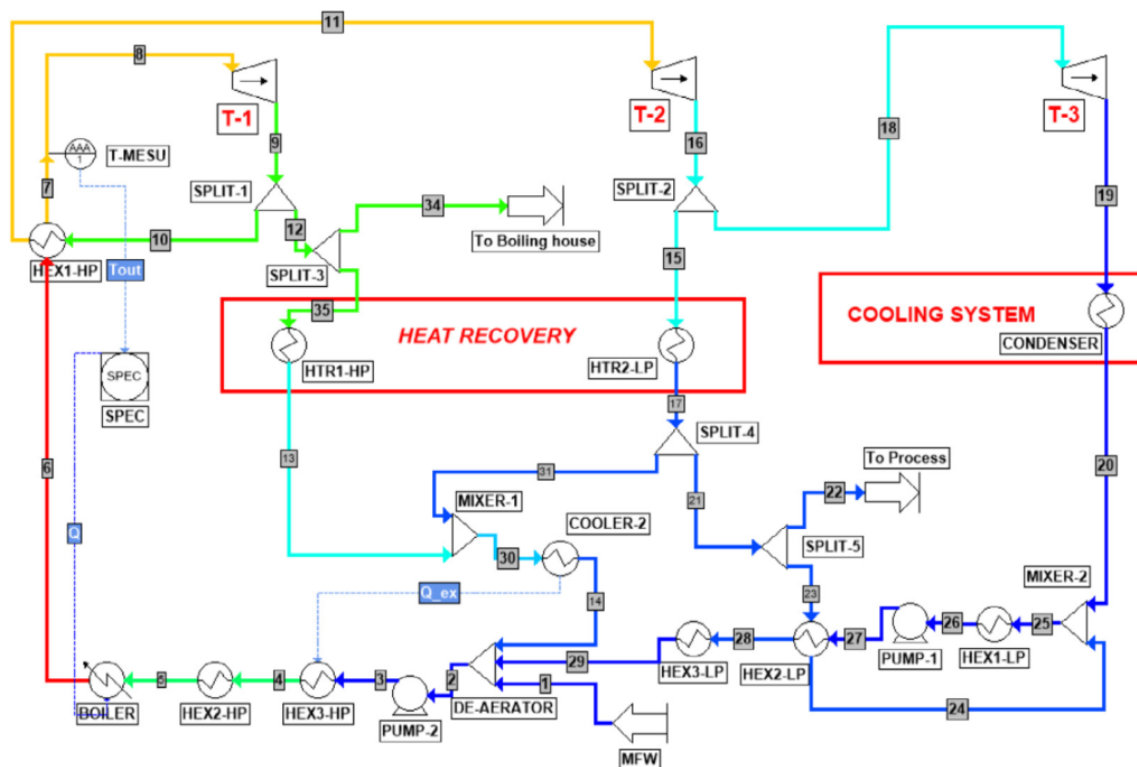


Рисунок 2 – Технологічна схема когенераційної установки Wonji-Shoa (Сценарій I) [2]

У режимі постачання енергії до мережі (Сценарій 2) установка функціонує в середньому 776 годин на рік. Оскільки завод не працює, розподіл пари на виробничий процес відсутній. У цьому випадку швидкість генерації пари залишається 130 т/год, як і в першому сценарії, однак виробництво електроенергії зменшується через відсутність споживачів на виробничій стороні.

Третій сценарій передбачає роботу когенераційної установки виключно для забезпечення виробничих потреб, коли електростанція працює, але мережа відключена через надзвичайні ситуації, такі як, відмова приймача електроенергії або знижену потребу в електроенергії в енергосистемі. У цьому режимі установка працює приблизно 89,8 годин на рік із зниженим навантаженням. Головним споживачем енергії є цукровий завод, а котел

продовжує виробляти 59 т/год пари при незмінних робочих параметрах тиску та температури. Основна відмінність цього сценарію від попередніх – відсутність відбору пари високого тиску, що впливає на загальний баланс розподілу енергії в системі.

Отже, цифрові двійники підвищують ефективність, надійність та гнучкість когенераційних установок через моніторинг, оптимізацію та управління, а зростаюча складність енергетичних систем вимагає їх інтеграції для підвищення продуктивності та зниження витрат.

Стаття [3] також аргументує доцільність застосування цифрового двійника для оптимізації роботи електростанції. Це дослідження дозволило детально проаналізувати продуктивність, виявити ключові відхилення та запропонувати оптимізаційні заходи, що призводять до економії палива, підвищення ефективності та зменшення експлуатаційних витрат.

Крім того, цифровий двійник допоміг оптимізувати роботу в режимі комбінованого виробництва електроенергії та тепла (когенерації), визначивши економічно вигідний рівень відбору пари залежно від ринкових умов. Він також дозволяє моделювати різні сценарії роботи електростанції, мінімізуючи вплив нерівномірного навантаження та збільшуючи довговічність обладнання.

Загалом, це дослідження також показує, що цифровий двійник є ефективним інструментом оптимізації когенераційних установок, що сприяє підвищенню продуктивності, економічної ефективності та гнучкості в умовах сучасного енергетичного ринку.

Перелік посилань:

1. Sleiti Ahmad & Kapat Jayanta & Vesely Ladislav. (2022). Digital twin in energy industry: Proposed robust digital twin for power plant and other complex capital-intensive large engineering systems. *Energy Reports*. 8. 3704–3726. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.02.305.
2. Sharew Shumet & Di Pretoro Alessandro & Ali Abubeker & Negny Stéphane & Montastruc Ludovic. (2024). Exploiting exergy and exergoeconomic analysis as decisional tool for cogeneration plant optimal operating mode: A sugar factory case study. *Energy Reports*. 12. 143–157. DOI: 10.1016/j.egyr.2024.05.074.
3. Xu Bin & Wang June & Wang Xinping & Liang Zhihong & Cui Liming & Liu Xiao & Ku Anthony. (2019). A case study of digital-twin-modelling analysis on power-plant-performance optimizations. *Clean Energy*. 3. 227–234. DOI: 10.1093/ce/zkz025.

¹ Магістрант 1 курсу Гуменюк М.Д.

¹ Ст.викл. Поліщук І.А.

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&authuser=2&user=2CLzdFgAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ПРЕДИКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ

Розвиток цифрових технологій спричинив появу інноваційних методів керування складними технічними об'єктами, серед яких атомні електростанції займають особливе місце. Цифрові двійники покращують точність прогнозування та забезпечують більш ефективне керування процесами. Предиктивне керування є однією з ключових методик, що дає змогу не лише аналізувати поточний стан системи, а й прогнозувати майбутні аварії.

Цифровий двійник – це віртуальна модель фізичної системи, яка створюється на основі даних реальних процесів і постійно оновлюється за допомогою отриманої інформації [1]. У сфері атомної енергетики цифрові двійники можуть використовуватися для моніторингу стану обладнання, прогнозування технічного обслуговування, виявлення потенційних аварійних ситуацій та навчання персоналу. Такі системи дозволяють операторам атомних електростанцій приймати більш обґрунтовані рішення, що сприяє підвищенню рівня безпеки. Оскільки методи предиктивного керування базуються на математичних моделях процесів, вони дозволяють передбачати поведінку системи та коригувати керуючі впливи у реальному часі [2]. Основні переваги такого підходу включають зниження ризиків виникнення аварій, підвищення ефективності виробничих процесів, зменшення витрат на обслуговування та ремонт обладнання, а також покращення стабільності роботи ядерного реактора. Інтеграція цифрових двійників у процеси атомної енергетики дозволяє зменшити вплив людського фактора на експлуатацію АЕС [2], оскільки автоматизовані системи приймають багато рішень на основі реальних даних та прогнозних моделей. Предиктивне керування є сучасною методикою управління технологічними процесами, яка базується на прогнозуванні змін параметрів системи та коригуванні керуючих дій. Використання математичних моделей, алгоритмів машинного навчання та аналізу великих даних забезпечує можливість передбачати потенційні несправності та мінімізувати їх вплив [2].

Можна виокремити три основні принципи побудови моделей предиктивного керування: статистичний метод, метод машинного навчання та метод фізичних моделей. Статистичний метод ґрунтується на аналізі історичних даних про параметри та несправності об'єкта. Даний метод достатньо простий у реалізації, вимагає низьких обчислюваних витрат та ефективний для лінійних об'єктів. Метод машинного навчання може обробляти великий об'єм даних, має практичне застосування для нелінійних об'єктів. Даний метод при належному навчанні моделі може сам приймати миттєві рішення та обробляти паралельні потоки інформації з різних частин складної системи, компонувати отримані дані в одну систему та приймати рішення, спираючись на загальний стан та прорахувавши всі можливі і неможливі відхилення. Головним мінусом даного методу є потреба у кібербезпеці навченої моделі та великий об'єм часу, який витрачається на її навчання. Ще одним методом є фізичні моделі. Даний тип спирається на математичному моделюванні фізичних процесів системи, які описуються математичними рівняннями та базуються на законах фізики. Моделювання займає доволі тривалий час, тому для систем реального часу необхідно комбінувати метод фізичних моделей та інші методи, наприклад метод машинного навчання.

Цифрові двійники являють собою цифрові копії фізичних компонентів або цілих систем, що отримують реальні дані з датчиків та оновлюються в режимі реального часу.

Завдяки цьому можна не лише спостерігати за поточним станом обладнання, а й прогнозувати його подальший розвиток, виявляти потенційні проблеми та своєчасно їх усувати. Атомна електростанція є складним технологічним об'єктом, і розробити єдиний цифровий двійник всього підприємства є надзвичайно важко. Тому для забезпечення більшої безпеки та ефективності доцільно використовувати систему, що складається з кількох цифрових двійників, створених для конкретних технічних процесів. Наприклад, можуть бути окремі цифрові двійники для турбін, насосів, системи охолодження, окремих контурів ядерного реактора. Сукупність цих двійників формуватиме загальну систему цифрового представлення АЕС.

Наявність цифрових двійників для окремих компонентів дозволяє не лише здійснювати моніторинг їхнього технічного стану, а й передбачати можливі аварійні ситуації. Для цього розробляється система предиктивного керування, основним завданням якої є сигналізація про потенційні несправності та їх запобігання. Однією з важливих функцій такого підходу є можливість оцінки працездатності енергетичного об'єкта у разі виходу з ладу певного компонента, а також визначення допустимого часу роботи системи без нього. Подібні можливості дозволяють уникнути критичних ситуацій та оптимізувати процеси технічного обслуговування. Якщо б у 1984 році на Чорнобильській АЕС існувала система цифрових двійників та предиктивного керування, то інженери могли б перевіряти свої гіпотези не на реальному реакторі, а у віртуальному середовищі. Це могло б запобігти катастрофі. Моделюючи наслідки відключення окремих компонентів, інженери могли б оцінити їхній вплив на роботу всієї станції. Впровадження предиктивного керування сприяє значному скороченню часу на ремонтні роботи. За рахунок цифрового тестування можливих змін у роботі системи перед її реальним відключенням можна зменшити час вимушеного простою реактора з 60 до 40 днів. Оскільки специфіка проведення ремонтних робіт на атомних об'єктах передбачає повну зупинку реактора, такий підхід дозволяє значно підвищити ефективність обслуговування та мінімізувати втрати виробництва.

Новітні технології малих модульних реакторів (ММР) [2] були розроблені з урахуванням концепції цифрових двійників. В даних реакторах використовується поєднання методу фізичних моделей та машинного навчання. Ці два методи доповнюються один одного – завдяки детальному моделюванню фізичних процесів системи та прискоренню обчислення завдяки машинному навчанню вдалось досягнути надійності та швидкості обробки вхідних даних. Системи цих реакторів спочатку проектуються з інтеграцією предиктивного керування, що забезпечує автоматизований контроль усіх процесів у режимі реального часу. Завдяки цілодобовому моніторингу та прогнозному аналізу ММР вважаються революційними в галузі атомної енергетики, оскільки вони дозволяють досягти безпрецедентного рівня безпеки та ефективності. Таким чином, поєднання цифрових двійників та предиктивного керування є ключем до безпечного та ефективного функціонування атомної енергетики майбутнього. Інтеграція цих технологій дозволяє знизити ризики аварій, скоротити час простою обладнання та забезпечити стабільність роботи ядерних об'єктів, що є критично важливим для енергетичної безпеки.

Перелік посилань:

1. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. URL: <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf> (date of access: 26.02.2025).
2. Kapteyn M.G., Knezevic D.J., & Willcox K.E. Toward predictive digital twins via component-based reduced-order models and interpretable machine learning. URL: <https://kiwi.odan.utexas.edu/papers/Predictive-digital-twin-interpretable-machine-learning-Kapteyn-Knezevic-Willcox.pdf> (date of access: 26.02.2025).
3. Artificial Intelligence for Accelerating Nuclear Applications, Science and Technology, IAEA. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/ART-INTweb.pdf> (date of access: 26.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Железняк К.М.

¹ Ст.викл. Штіфзон О.Й.

<https://scholar.google.com/citations?user=WB12UuMAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕГРАЦІЯ MES-СИСТЕМ У ХАРЧОВУ ПРОМИСЛОВІСТЬ НА ПРИКЛАДІ БРОВАРНІ

Основний спосіб заробітку виробничого підприємства – це виробництво та продаж продукції, що включає перетворення сировини в готові вироби шляхом використання матеріалів, енергії, обладнання та робочої сили. Ефективне управління ресурсами та виробничими процесами є критично важливим завданням, адже сучасне промислове середовище постійно змінюється, що ускладнює досягнення стабільного прибутку.

З розвитком концепцій Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 підприємства повинні бути гнучкими, адаптивними та здатними швидко реагувати на зміни ринку. Висока якість продукції, її індивідуалізація під запити клієнтів та скорочення часу виробництва стають ключовими конкурентними перевагами. Сучасне виробництво стає все більш складною та інтегрованою системою, що вимагає переходу до концепції розумної виробничої екосистеми. Це передбачає повну взаємодію між усіма рівнями управління – від фізичних пристроїв та датчиків до стратегічних бізнес-процесів. Впровадження MES-систем у таку екосистему дозволяє створити безперервний потік даних, підвищити точність прогнозування, знизити людський фактор та забезпечити гнучкість у прийнятті рішень. Таким чином, розумна виробнича екосистема сприяє підвищенню ефективності та стійкості харчової промисловості.

MES, або Manufacturing Execution System, – це програмне забезпечення, яке використовується для відстеження і контролю виробничих процесів у реальному часі. Вона забезпечує повний контроль над всіма етапами виробництва, від планування до готової продукції. Основне завдання MES – забезпечити виконання виробничого плану з мінімальними відхиленнями, а також надати оперативну інформацію для прийняття рішень [1].

Для броварні спроектована MES-система складається з наступних модулів:

1. Оперативне планування та диспетчеризація, де управління завданнями проходить на основі поточного стану обладнання та ресурсів.
2. Контроль якості та аналіз браку, де відбувається моніторинг параметрів бродіння, пастеризації, виявлення відхилень та коригування параметрів.
3. Формування завдань для систем, де відбувається саме керування технологічними параметрами.
4. Звітність та збір даних.

Впровадження MES забезпечить значні переваги у виробничому процесі. Контроль стану обладнання та сировини в реальному часі дозволить оптимізувати використання ресурсів, а автоматизація управління завданнями дозволить зменшити час простоїв, що підвищить продуктивність. Аналіз протікання процесів дозволить виявляти проблемні зони та своєчасно коригувати параметри виробництва, що допоможе знизити втрати та брак продукції (самого пива, пляшок, банок). Якість продукції також виросте через точність дотримання рецептур та параметрів. Витрати на персонал та людський фактор знизяться через оптимізацію процесів, що знизить потребу у ручному керуванні.

Для реалізації цих покращень у MES-системі будуть впроваджені наступні функції:

1. Автоматичний моніторинг параметрів бродіння із використанням датчиків та передачею даних у MES.

2. Формування завдань для ПЛК та SCADA для дозування сировини та контролю температури.

3. Аналіз відхилень у виробничих процесах для прогнозування браку.

4. Впровадження простеження виробничих партій для контролю якості та відповідності стандартам.

Стандарт ІЕС 62264 (ISA-95) [2] пропонує єдиний підхід до інтеграції MES із бізнес-системами, усуваючи проблеми несумісності та покращуючи обмін даними. Впровадження цього стандарту забезпечує:

1. Скорочення часу розробки систем.

2. Зниження витрат на автоматизацію.

3. Оптимізацію ланцюгів постачань.

4. Підвищення ефективності виробничих процесів.

Згідно з оцінками експерта Денніса Брандла з BR&L Consulting, використання стандарту ІЕС 62264 може призвести до:

1. Зменшення витрат та зусиль на інтеграцію ERP-MES/MOM до 90 %.

2. Збільшення успішних реалізацій з менш ніж 50% до понад 90 %.

3. Скорочення часу на ранніх етапах розробки MES/MOM на 75 %.

4. Підвищення продуктивності виробництва [3].

В Україні діє стандарт ДСТУ EN 62264-1:2019, що визначає вимоги до інтеграції MES у промислові підприємства. Світова практика демонструє, що застосування цього стандарту дозволяє скоротити витрати на ERP-MES інтеграцію до 90 % та підвищити ефективність виробництва [4]. Впровадження MES за принципами ІЕС 62264 сприяє створенню єдиної цифрової платформи, що покращує взаємодію між рівнями управління та підвищує конкурентоспроможність підприємства.

Перелік посилань:

1. Романовська М. Що таке MES Система: Важливість, Функції та Переваги Впровадження. URL: <https://digitap.com.ua/shho-take-mes-systema-vazhlyvist-funkcziyi-ta-perevagy-vprovadzheniya/> (дата звернення 27.02.2025).

2. Пупена О., Клименко О., Шишак А., Міркевич Р. Стандарти інтегрування систем керування підприємством та виробництвом: сучасний стан та перспективи в Україні. URL: <https://tk185.appau.org.ua/whitepapers/62264.pdf> (дата звернення 27.02.2025).

3. Dennis Brandl, Charlotta Johnson. Beyond the Pyramid: Using ISA95 for Industry 4.0 and Smart Manufacturing. URL: <https://www.isa.org/intech-home/2021/october-2021/features/beyond-the-pyramid-using-isa95-for-industry-4-0-an> (дата звернення 27.02.2025).

4. Пупена О.М., Клименко О.М., Міркевич Р.М. Принципи функціонування систем керування основним виробництвом через призму стандарту ІЕС-62264. URL: <https://tk185.appau.org.ua/62264/case-study-iec-62264/momguide/> (дата звернення 27.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Король А.С.

¹ Ст.викл. Любицький С.В.

<https://scholar.google.com/citations?user=I8v3R-oAAAAJ&hl=ru&oi=ao>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Системи вентиляції та кондиціонування повітря відіграють важливу роль у створенні комфортного мікроклімату в приміщеннях. Традиційні методи керування HVAC часто не враховують динамічні зміни навколишнього середовища, що призводить до перевитрат енергії. Використання адаптивного керування дозволяє значно підвищити ефективність роботи таких систем, регулюючи їх параметри в режимі реального часу відповідно до змін умов експлуатації.

Аналіз останніх досліджень. Один з найпоширеніших методів адаптивного керування в HVAC – модельно-орієнтоване керування (Model reference adaptive control – MRAC), яке використовується для змінного повітряного потоку (Variable Air Volume – VAV). Це дозволяє коригувати масовий потік повітря та енерговитрати, забезпечуючи оптимальні параметри роботи системи. Завдяки використанню MRAC система може динамічно адаптуватися до змін у теплових навантаженнях, викликаних зміною погодних умов, присутністю людей та роботою електрообладнання. Однак класичні підходи часто ігнорують взаємний вплив сусідніх зон, що може призводити до неефективного розподілу повітря та перевитрат енергії. Запропонована розподілена адаптивна схема керування багатозонною системою HVAC враховує теплові взаємодії між зонами, дозволяє обмін даними між локальними контролерами та використовує онлайн оцінювання параметрів. Це забезпечує більш точне регулювання температури, покращення комфорту та зниження загального енергоспоживання системи [1].

У будівлях із кількома кліматичними зонами ефективним рішенням є розподілене адаптивне керування, яке дозволяє регулювати температуру в кожній зоні окремо. Це підвищує комфорт та знижує енергоспоживання [2]. Однак класичні підходи до керування вимагають точного знання параметрів системи, що ускладнює їх застосування при змінних умовах, таких як людська активність, знос обладнання та зовнішні збурення. У цій роботі запропоновано розподілену адаптивну систему керування багатозонною системою кондиціонування, яка використовує онлайн оцінювання параметрів і обмін даними між зонами. Це дозволяє контролерам зон компенсувати вплив сусідніх приміщень і адаптуватися до невизначеностей без точного знання параметрів.

Адаптивні комфорт-моделі використовуються для динамічного регулювання температури в приміщеннях, враховуючи індивідуальні потреби користувачів. Цей підхід до комфорт-контролю (ACC) дає можливість економити енергію, не знижуючи рівень комфорту [3].

Дослідження адаптивного теплового комфорту широко проводилися для природно вентильованих будівель. Однак для розробки методів керування кондиціонованими приміщеннями потрібні подальші дослідження адаптивної комфорт-моделі. У цій роботі розглянуто розширене застосування адаптивного підходу шляхом розробки адаптивного комфорт-контролю (ACC) для систем кондиціонування повітря. Особлива увага приділена тестуванню прийнятності ACC для працівників офісних будівель [3].

Було проведено два великомасштабні польові дослідження, в яких взяли участь 807 офісних працівників, а загалом було зібрано 13 523 індивідуальні голоси щодо комфорту. Результати показують, що можливо створити статистично та практично значущі адаптивні комфорт-моделі для роботи систем охолодження кондиціонованих приміщень. Польові

дослідження надали наукові докази того, що адаптивна комфорт-модель може ефективно застосовуватися для керування системами кондиціонування без втрати комфорту користувачів. Подальші дослідження необхідні для оцінки енергетичних наслідків застосування АСС у кондиціонованих будівлях.

Формулювання мети. Метою дослідження є аналіз методів адаптивного керування вентиляцією та кондиціонуванням повітря, які дозволяють автоматично оптимізувати параметри мікроклімату на основі комплексного аналізу змінних умов середовища, поведінкових патернів користувачів та енергетичних показників для забезпечення максимального теплового комфорту при мінімальних енергетичних витратах.

Основна частина. Адаптивне прогнозувальне керування (АРС) є ефективним підходом до оптимізації роботи HVAC-систем у громадських будівлях, де умови експлуатації змінюються динамічно. Традиційні методи не завжди забезпечують рівномірний розподіл повітря та раціональне використання енергії, оскільки не враховують змінність параметрів зовнішнього середовища, теплосмність приміщень та вплив людської активності. Використання АРС дає можливість коригувати роботу системи в режимі реального часу, адаптуючись до реальних умов експлуатації, що забезпечує підвищення енергоефективності та стабільності мікроклімату в приміщеннях. Важливою перевагою такого підходу є здатність до самонавчання, що дозволяє системі поступово вдосконалювати точність регулювання та адаптуватися до змін експлуатаційних умов без потреби у постійному втручанні інженерів [6].

Одним із найперспективніших методів є модельно-орієнтоване керування (MRAC), яке забезпечує динамічну адаптацію параметрів регуляторів відповідно до змінних теплових навантажень. Це дозволяє уникнути перевитрат енергії, забезпечуючи стабільний температурний режим незалежно від змін зовнішніх факторів. Особливо важливим цей підхід є для великих будівель із багатьма кліматичними зонами, де традиційні PID-регулятори не можуть ефективно враховувати взаємодію між приміщеннями. У розподілених багатозонних системах кондиціонування адаптивні алгоритми дозволяють кожному локальному контролеру враховувати вплив сусідніх зон, що покращує точність регулювання температури та зменшує загальне енергоспоживання [6].

Сучасні системи використовують методи Model Predictive Control (MPC), які дозволяють передбачати майбутні стани системи та враховувати фактори, що впливають на мікроклімат [7]. Використання MPC значно покращує стабільність роботи системи, оскільки дозволяє мінімізувати коливання температури та уникати неефективного використання ресурсів. Дослідження, проведене у великому транспортному вузлі, показало, що застосування АРС у системі з підігрівом підлоги та кондиціонерами дозволяє знизити енергоспоживання на 22,2 % порівняно з традиційним PID-контролем, а також зменшити кількість порушень температурних обмежень на 11,5 %. Крім того, використання прогнозувального регулювання дозволяє краще розподіляти навантаження між системами вентиляції та кондиціонування, що сприяє зниженню пікових навантажень на електромережу будівлі.

Для ефективного керування HVAC використовуються гібридні фізико-дані моделі, які поєднують теоретичні закономірності та реальні експлуатаційні дані. Це дозволяє точно прогнозувати зміни температурного режиму та оперативно оновлювати параметри системи відповідно до актуальних умов. [7]. Використання алгоритмів машинного навчання дає змогу автоматично адаптувати HVAC-системи до змін навколишнього середовища та поведінки користувачів, що значно підвищує їхню автономність та ефективність. Одним із перспективних напрямків є інтеграція АРС із системами розумного моніторингу, які дозволяють аналізувати дані в реальному часі та підлаштовувати роботу HVAC відповідно до фактичних умов.

Адаптивне прогнозувальне керування має широкий потенціал для застосування в громадських будівлях, таких як вокзали, аеропорти, торговельні центри, офісні комплекси та лікарні. Використання АРС у цих середовищах дозволяє значно знизити

енергоспоживання, покращити рівномірність розподілу температури та підвищити комфорт для користувачів [6]. Дослідження свідчать, що такі системи можуть скоротити енергоспоживання на 20–30 % порівняно з традиційними підходами, що не лише зменшує витрати, а й сприяє зменшенню навантаження на кліматичне обладнання. Окрім економії енергії, ці технології також сприяють зменшенню викидів CO₂, що робить їх важливим елементом у переході до екологічно чистих технологій [7].

Подальші дослідження мають зосередитися на інтеграції штучного інтелекту та машинного навчання у HVAC-системи, що дозволить ще точніше прогнозувати зміни параметрів середовища та автоматизувати процеси керування. Такі підходи зроблять вентиляційні та кондиціонерні системи ще більш ефективними та адаптивними до змінних умов експлуатації. Додатково, важливим напрямком є розробка саморегулюючих алгоритмів, що враховують не лише параметри температури, а й якість повітря, рівень вологості та інші фактори, що впливають на комфорт людей у приміщенні [6].

Висновки. Адаптивне керування системами вентиляції та кондиціонування повітря є перспективним напрямком, що дозволяє підвищити енергоефективність, покращити комфорт користувачів і зменшити викиди CO₂. Подальші дослідження мають зосередитися на інтеграції штучного інтелекту та машинного навчання в системи HVAC для підвищення їхньої автономності. Використання таких підходів, як модельно-орієнтоване, розподілене адаптивне керування та прогнозувальне регулювання, забезпечує динамічне реагування на зміни навколишнього середовища і потреби користувачів. Це дозволяє зменшити витрати енергії, покращити комфорт та знизити екологічний вплив, роблячи системи HVAC більш ефективними і адаптивними до змінних умов.

Перелік посилань:

1. D. Naidu, C. Rieger Advanced control strategies for heating, ventilation, air-conditioning, and refrigeration systems—An overview: Part I. URL: https://app.scholarai.io/paper?paper_id=DOI:10.1080/10789669.2011.540942&original_url=http%3A%2F%2Fwww.tandfonline.com%2Fdoi%2Fabs%2F10.1080%2F10789669.2011.540942 (дата звернення 14.02.2025).
2. Georgios Lymeropoulos, Petros Ioannou Building temperature regulation in a multi-zone HVAC system using distributed adaptive control URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881931686X> (дата звернення 18.02.2025).
3. Geun Young Yun, Je Hyeon Lee, Koen Steemers Extending the applicability of the adaptive comfort model to the control of air-conditioning systems URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132316301858> (дата звернення 20.02.2025).
4. Xiuming Li, Ce Zhang, Tianyi Zhao, Zongwei Han Adaptive predictive control method for improving control stability of air-conditioning terminal in public buildings URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821005454> (дата звернення 10.02.2025).
5. Nurkamilya Daurenbayeva, Lyazzat Atymtayeva, Almas Nurlanuly, Artem Bykov, Bakhytzhon Akhmetov, Gabit Shuitenov, Umut Turusbekova A Machine Learning Approach to Microclimate Monitoring and Fault Detection URL: <https://www.naturalspublishing.com/files/published/571g9h93ya9247.pdf> (дата звернення 17.02.2025).
6. Костянтин ГУК Адаптація моделей керування для систем вентиляції URL: <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/it/article/view/584> (дата звернення 22.02.2025).
7. Ruixin Lv, Zhongyuan Yuan, Bo Lei, Jiacheng Zheng and Xiujing Luo Model Predictive Control with Adaptive Building Model for Heating Using the Hybrid Air-Conditioning System in a Railway Station URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/7/1996> (дата звернення 26.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Пономаренко К.С.

¹ Асист. Захарченко А.С.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=RpOI6DoAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ КОМПРЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Вступ. Компресорні центри є ключовими елементами холодильних установок, що забезпечують циркуляцію холодоагенту та підтримку необхідних параметрів охолодження. Ефективність роботи таких систем на пряму впливає на енергоспоживання, довговічність обладнання та стабільність температурного режиму в охолоджуваних зонах.

У сучасних холодильних установках компресори працюють у паралельному режимі, а їх керування здійснюється за допомогою систем автоматизації. Традиційні методи керування, такі як гістерезисне регулювання, мають певні недоліки, зокрема високий рівень зношування обладнання через часті цикли увімкнення/вимкнення [1]. Впровадження адаптивного керування дозволяє значно покращити стабільність роботи системи та знизити енергоспоживання.

У даній роботі розглянуто математичне моделювання компресорної централі для визначення її динамічних характеристик та розробки ефективної стратегії керування. Використано підхід, що поєднує аналітичні методи та експериментальні дослідження, з метою побудови узагальненої математичної моделі.

Методологія моделювання. Моделювання роботи компресорної централі базується на рівняннях теплообміну, циркуляції холодоагенту та рівнянні стану газів. Основні математичні залежності включають:

- **Рівняння балансу маси** для холодоагенту, яке враховує вхідні та вихідні потоки через компресорний контур.
- **Енергетичне рівняння компресора**, що описує зміну ентальпії холодоагенту та споживану потужність компресора.
- **Рівняння теплопередачі в конденсаторі**, яке враховує теплообмін між холодоагентом і навколишнім середовищем.
- **Регулювання тиску в системі**, що визначається рівнянням стану газів.

Для отримання передавальної функції компресора використано метод лінеаризації рівнянь, що дозволяє спростити аналіз і застосовувати класичні методи автоматичного керування. Лінеаризація здійснюється шляхом апроксимації нелінійних залежностей поліномами першого порядку та використання середніх значень для параметрів системи.

Розроблена модель дозволяє оцінити вплив змінних параметрів на продуктивність компресорної централі та слугує основою для розробки адаптивних алгоритмів керування, що враховують змінні робочі умови.

Аналітичне виведення математичної моделі роботи компресора. Виходячи з рівняння балансу маси [2], для компресора отримуємо (1):

$$\frac{dP_{suc}}{dt} = \frac{\dot{m}_{in} - \dot{m}_{suc} + \dot{m}_{ref, const} - \dot{V}_{comp} \cdot \rho_{suc(P)}}{V_{suc} \cdot \frac{d\rho_{suc(P)}}{dP_{suc(P)}}}, \quad (1)$$

де $P_{suc(P)}$ – тиск на вході компресора, V_{suc} – об'єм всмоктувального колектора, $\rho_{suc(P)}$ – густина холодоагенту.

Швидкість зміни об'єму компресора [2] можна представити як (2):

$$\frac{dV_{comp}}{dt} = comp(t) \cdot \frac{1}{100} \cdot \eta_{vol} \cdot V_{sl}, \quad (2)$$

де $comp(t)$ – коефіцієнт продуктивності компресора, η_{vol} – об'ємний ККД компресора, V_{sl} – робочий об'єм компресора.

Для створення моделі можливо використовувати емпіричні залежності для величин, що характеризують густину холодоносія. Розглянемо варіант з використанням холодоагенту R134a [2]:

$$\rho_{suc} = (a \cdot P + b) = 4,6073P + 0,3798, \quad (3)$$

$$\frac{d\rho_{suc(P)}}{dP_{suc(P)}} = -0,0329P^3 + 0,2161P^2 - 0,4742P + 5,4812 \approx const = \Delta\rho. \quad (4)$$

Оскільки в ході експериментального дослідження було виявлено, що похідна густини за тиском практично не впливає на діаграму тиску в обраному робочому діапазоні, будемо вважати її сталою величиною.

З підстановкою цих наближень рівняння тиску приймає вигляд (5):

$$\frac{dP_{suc}}{dt} = \frac{-comp \cdot \left(\frac{1}{100}\right) \cdot \eta_{vol} \cdot V_{sl} \cdot (a \cdot P + b)}{V_{suc} \cdot \Delta\rho}. \quad (5)$$

Проведемо лінеаризацію отриманої аналітичної залежності (6).

$$\frac{d\Delta P_{suc}}{dt} = \frac{-\eta_{vol} \cdot V_{sl} \cdot (a \cdot P_0 + b)}{100 \cdot V_{suc} \cdot \Delta\rho} \Delta comp + \frac{-comp_0 \cdot \eta_{vol} \cdot V_{sl} \cdot a}{100 \cdot V_{suc} \cdot \Delta\rho} \Delta P. \quad (6)$$

Якщо записати рівняння в канонічному вигляді, можемо вивести передавальну функцію для лінеаризованої моделі (7):

$$\frac{dP_{suc}}{dt} + T \cdot \Delta P = K \cdot \Delta comp, \quad (7)$$

де T – стала часу, K – коефіцієнт підсилення. У частотній області передавальна функція набуває вигляду (8):

$$W(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об} s + 1)}, \quad (8)$$

де:

$$T_{об} = \frac{1}{T} = \frac{100 \cdot V_{suc} \cdot \Delta\rho}{comp_0 \cdot \eta_{vol} \cdot V_{sl} \cdot a}, \quad (9)$$

$$k_{об} = \frac{K}{T} = \frac{\eta_{vol} \cdot V_{sl} \cdot (a \cdot P_0 + b)}{comp_0 \cdot \eta_{vol} \cdot V_{sl} \cdot a} = \frac{P_0 + b/a}{comp_0}. \quad (10)$$

Висновки. Запропонована математична модель компресорної централі дозволяє описати її динамічну поведінку без підстановки конкретних чисел, що робить її універсальною для подальшого аналізу та налаштування систем керування. Модель може бути використана для проектування систем, тестування, розробки алгоритмів, що оптимізують енергоспоживання та продовжують термін служби обладнання.

Перелік посилань:

1. Пономаренко К.С. Автоматизована система управління системи централізованого холодопостачання супермаркету // Дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Київ, Україна: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2024. – 97 с.

2. Supermarket refrigeration system – Benchmark for hybrid system control / L.F.s. Larsen, R. Izadi-Zamanabadi, R. Wisniewski // ResearchGate, 2007. URL: https://www.researchgate.net/publication/228402667_Supermarket_refrigeration_system_-_Benchmark_for_hybrid_system_control (дата звернення: 28.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Прохоренко К.Ю.

¹ Ст.викл., к.т.н. Бунь В.П.

<https://scholar.google.com/citations?user=U9Xoun4AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СОНЯЧНИХ ІНВЕРТОРІВ

Постановка проблеми та її актуальність. Сонячна енергетика перебуває на стадії активного розвитку, де надійність сонячних інверторів стає критичним фактором ефективності всієї фотоелектричної системи. Традиційні підходи до технічного обслуговування мають суттєві обмеження: вони переважно реактивні, що унеможливорює завчасне виявлення потенційних несправностей. Сонячні інвертори зазнають постійних навантажень, включаючи температурні коливання, електричні перенапруги, механічні вібрації та поступову деградацію електронних компонентів [1].

Складність експлуатації сонячних інверторів посилюється низкою факторів: впливом зовнішніх кліматичних умов, нестабільністю електромережі, циклічними навантаженнями та швидкою еволюцією електронних компонентів. Кожен інвертор щоденно перетворює постійний струм сонячних панелей на змінний, працюючи в режимі безперервного перетворення енергії з високою динамічністю електричних процесів.

Середній термін служби інвертора становить 10–15 років, однак реальна тривалість експлуатації значною мірою залежить від якості діагностики та технічного обслуговування [2]. Економічні втрати від несвоєчасної діагностики можуть сягати десятків тисяч доларів: простої обладнання, витрати на термінові ремонти, зниження загальної ефективності сонячної електростанції. Статистика показує, що близько 35–40% передчасних відмов інверторів спричинені недостатньо раннім виявленням деградаційних процесів [3].

Аналіз останніх досліджень. Сучасний науковий та технологічний ландшафт діагностики сонячних інверторів характеризується інтенсивним впровадженням методів штучного інтелекту та машинного навчання. Дослідження провідних наукових груп демонструють перспективність використання складних алгоритмів аналізу часових рядів, передбачуваної аналітики та технік глибокого навчання [4].

Емпіричні дослідження показують, що інтелектуальні системи діагностики здатні забезпечити понад 90 % точності передбачення несправностей на ранніх стадіях [5]. Провідні світові виробники сонячного обладнання, такі як SMA, Huawei, ABB та SolarEdge, активно інвестують у розроблення власних інтелектуальних систем моніторингу. Міжнародні дослідницькі центри, зокрема Fraunhofer Institute та National Renewable Energy Laboratory (NREL), проводять фундаментальні дослідження в галузі діагностики та прогнозування стану сонячних інверторів.

Ключовою тенденцією є розробка комплексних систем, які виходять за межі простої діагностики поточного стану. Такі системи не лише оцінюють наявний стан інвертора, але й прогнозують його технічну еволюцію, передбачають потенційні відмови та динамічно оптимізують графіки технічного обслуговування. Цей підхід знаменує перехід від реактивної до превентивної парадигми управління технічними системами у відновлюваній енергетиці.

Серед перспективних напрямків досліджень – інтеграція технологій Інтернету речей (IoT), блокчейн для захисту діагностичних даних, використання квантових алгоритмів для підвищення точності прогнозування та застосування нейроморфних обчислювальних архітектур.

Формулювання мети. Метою дослідження є розробка та всебічний аналіз автоматизованої системи діагностики сонячних інверторів, яка інтегрує передові методи машинного навчання для забезпечення раннього виявлення несправностей, точного прогнозування технічного стану обладнання та інтелектуальної оптимізації процесів технічного обслуговування.

Основна частина

Запропонована автоматизована система діагностики сонячних інверторів забезпечує безперервний моніторинг та прогнозування можливих відмов, що дозволяє значно підвищити їхню надійність і зменшити експлуатаційні витрати. Вона ґрунтується на зборі великого обсягу даних про робочі параметри інверторів та їхній подальший аналіз із використанням інтелектуальних алгоритмів.

Ключовим елементом системи є мультисенсорна технологія, яка дозволяє здійснювати комплексний контроль стану обладнання. До основних параметрів, що аналізуються, належать температура силових модулів, рівень напруги та струму, частота комутації, рівень ізоляції та механічні вібрації. Завдяки широкому спектру контрольованих показників система здатна виявляти навіть незначні відхилення від норми, які можуть свідчити про початкові стадії деградації компонентів.

Зібрані дані передаються у центральний обчислювальний модуль, де вони обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання. Використання нейронних мереж дозволяє аналізувати часові ряди та визначати приховані закономірності, які можуть свідчити про наближення відмови. Методи класифікації допомагають розпізнавати різні типи несправностей, оцінювати їхню критичність і надавати відповідні рекомендації щодо подальших дій.

Система також використовує глибоке навчання для постійного вдосконалення точності прогнозування. Вона здатна адаптувати свої моделі на основі накопиченого досвіду, що дає змогу покращити якість діагностики та мінімізувати ймовірність хибних спрацювань. Самонавчання є важливою перевагою запропонованого підходу, оскільки дозволяє системі ефективно працювати в різних умовах експлуатації.

Обробка діагностичних даних здійснюється на хмарній платформі, що забезпечує централізований моніторинг роботи великої кількості інверторів. Це особливо важливо для промислових фотоелектричних станцій, де необхідно контролювати тисячі пристроїв одночасно. Хмарні технології дозволяють зберігати історичні дані, проводити їхню глибоку аналітику та формувати оптимальні графіки технічного обслуговування.

Ще однією важливою функцією системи є автоматичне коригування параметрів роботи інвертора у разі виявлення критичних відхилень. Наприклад, у разі перегріву силових модулів система може знижувати навантаження на певні компоненти, а при виявленні нестабільності напруги або струму – перемикати робочі режими для запобігання перевантаженням. Це дозволяє не лише прогнозувати несправності, а й мінімізувати їхній вплив на роботу обладнання.

Завдяки використанню передових методів діагностики та прогнозування, які наведені в таблиці 1, система значно знижує витрати на технічне обслуговування. Традиційний підхід передбачає проведення планових перевірок у фіксовані інтервали часу, що не завжди є ефективним, оскільки несправності можуть виникати несподівано між перевірками. Автоматизована система діагностики дозволяє переходити до превентивного обслуговування, коли ремонтні заходи здійснюються на основі реальних даних про стан обладнання, а не за фіксованим розкладом.

Практичне тестування системи на реальних об'єктах підтвердило її високу ефективність. Впровадження прогнозної діагностики дозволило зменшити кількість незапланованих простоїв на 35 %, що значно покращило стабільність роботи сонячних електростанцій. Витрати на обслуговування скоротилися на 25 % завдяки оптимізації ремонтних заходів і зменшенню кількості аварійних ситуацій. Крім того, ризик критичних

відмов було знижено на 40 %, що сприяло підвищенню загальної продуктивності фотоелектричних систем.

Таблиця 1 – Порівняння ефективності різних методів машинного навчання для діагностики інверторів

Метод машинного навчання	Точність виявлення несправностей (%)	Швидкість навчання	Обчислювальні вимоги	Здатність до раннього виявлення
Дерева рішень	82	Висока	Низькі	Середня
Випадковий ліс	87	Середня	Середні	Висока
Метод опорних векторів	83	Середня	Середні	Середня
Згорткові нейронні мережі	92	Низька	Високі	Висока
Рекурентні нейронні мережі	94	Низька	Високі	Дуже висока
Гібридні моделі	96	Низька	Дуже	Дуже висока

Система автоматизованої діагностики дозволяє своєчасно виявляти несправності, прогнозувати технічний стан обладнання та оптимізувати процеси технічного обслуговування. Використання машинного навчання, хмарних технологій та автоматичного коригування параметрів роботи забезпечує значні переваги у порівнянні з традиційними методами діагностики. Це відкриває широкі можливості для покращення надійності фотоелектричних систем і більш ефективного використання відновлюваної енергії.

Висновки. Автоматизовані системи діагностики сонячних інверторів представляють собою перспективний напрямок підвищення ефективності відновлюваної енергетики. Запропонована система демонструє значний потенціал для трансформації підходів до експлуатації обладнання, забезпечуючи суттєве зменшення операційних витрат, підвищення надійності та оптимізацію процесів технічного обслуговування. Подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на безперервне вдосконалення алгоритмів машинного навчання, розширення діапазону діагностичних параметрів та розроблення уніфікованих стандартів інтелектуальної діагностики сонячного обладнання.

Перелік посилань:

1. Solar Inverter Manufacturers Підтримка та обслуговування сонячних інверторів URL: <https://www.solarinvertermanufacturers.com/uk/solar-inverter-support-maintenance/> (дата звернення 02.03.2025).
2. Solar Technology Обслуговування сонячних електростанцій URL: <https://solartechnology.com.ua/services/maintenance> (дата звернення 03.03.2025).
3. Chinmay Pingulkar, Archit Joshi, Indra Reddy Mallela, Dr Satendra Pal Singh, Shalu Jain, Om Goel AI and Data Analytics for Predictive Maintenance in Solar Power Plants URL: https://www.researchgate.net/publication/388174728_AI_AND_DATA_ANALYTICS_FOR_PREDICTIVE_MAINTENANCE_IN_SOLAR_POWER_PLANTS (дата звернення 02.03.2025).
4. Mohammadreza Aghaei Fault Detection for PV Systems Using Machine Learning Techniques URL: https://www.pearl-pv-cost.eu/wp-content/uploads/2020/05/Aghei-Fault-Detection-for-Photovoltaic-Systems-using-Machine-Learning-Techniques_07072021.pdf (дата звернення 26.02.2025).
5. Sahbi Boubaker Souad Kamel Nejib Ghazouani Adel Mellit Assessment of Machine and Deep Learning Approaches for Fault Diagnosis of Photovoltaic Modules URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/6/1686> (дата звернення 26.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Юдін О.С.

¹ Ст.викл. Штіфзон О.Й.

<https://scholar.google.com/citations?user=WB12UuMAAAAJ&hl=ru&authuser=1>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ПРИМІЩЕНЬ

В останній час все більше набирають популярності технології штучного інтелекту та нейронних мереж для досліджень, проєктування та симуляції з метою вирішення широкого спектру інженерних задач. Однією з популярних нині та досить гнучких технологій є нечітка логіка – математичний метод, що дозволяє обробляти змінні та події, отримуючи кілька значень істинності з, мінімум, однієї вхідної змінної [1]. Таким чином типова для ОТ та ІТ булева логіка отримує розширення.

Зараз нечітка логіка вважається формою програмного забезпечення штучного інтелекту [2] та розцінюється, як його підмножина, що обумовлено її використанням для створення систем прийняття рішень різної складності. Її перевага полягає у спрощенні розуміння термінів та процесів оператором, що робить її особливо корисною для застосування в системах керування, «Fuzzy control systems».

Використання апарату нечіткої логіки додатково може дати перевагу в реалізації систем керування у випадках, коли виникають труднощі із побудовою моделі об'єкта та подальшими налаштуваннями. Одним із прикладів таких об'єктів може бути параметр, або параметри приміщення, для яких розробляється система управління мікрокліматом. Зазвичай системи такого типу є комплексними та складаються із систем регулювання вологості повітря в приміщенні, температури, якості самого повітря. Складність же полягає у тому, що неможливо врахувати всі можливі фактори впливу на реальний об'єкт, тому будь-яка модель ніколи не є ідеальною. При створенні систем керування ми завжди стикаємось із особливостями об'єктів у вигляді [3]:

1. Нелінійності процесів.
2. Нестационарності систем.
3. Розподіленості параметрів систем.

Якщо ж ми не маємо чіткої уяви про об'єкт керування, проте маємо розуміння та досвід керування подібними йому, ми можемо синтезувати нечіткий регулятор, який, наприклад, не буде значно гіршим за класичний ПІ-регулятор, проте і не вимагатиме знання параметрів системи для обрахунку налаштувань.

Для прикладу, можна порівняти роботу двох систем регулювання температури повітря в офісному приміщенні з використанням різних регуляторів із відомою, вже апроксимованою моделлю об'єкта у вигляді аперіодичної ланки першого порядку із транспортним запізнюванням. Відповідну схему зображено на рис. 1.

Можна побачити, що нечіткий регулятор приймає дві змінні на вхід та має одну вихідну змінну. В якості вхідних змінних виступають різниця поточної температури та уставки, а також швидкість зміни даної величини. Вихідною величиною було прийнято потужність нагрівача. Кожна зі змінних має по три функції приналежності, а регулятор має дев'ять правил, відповідно. Функції приналежності для змінної температури наведені на рисунку 2. Особливості визначення даних функцій полягали в урахуванні сигналу зворотного зв'язку. В свою чергу, на рисунку 3 наведено графіки функцій приналежності похідної сигналу розбалансу.

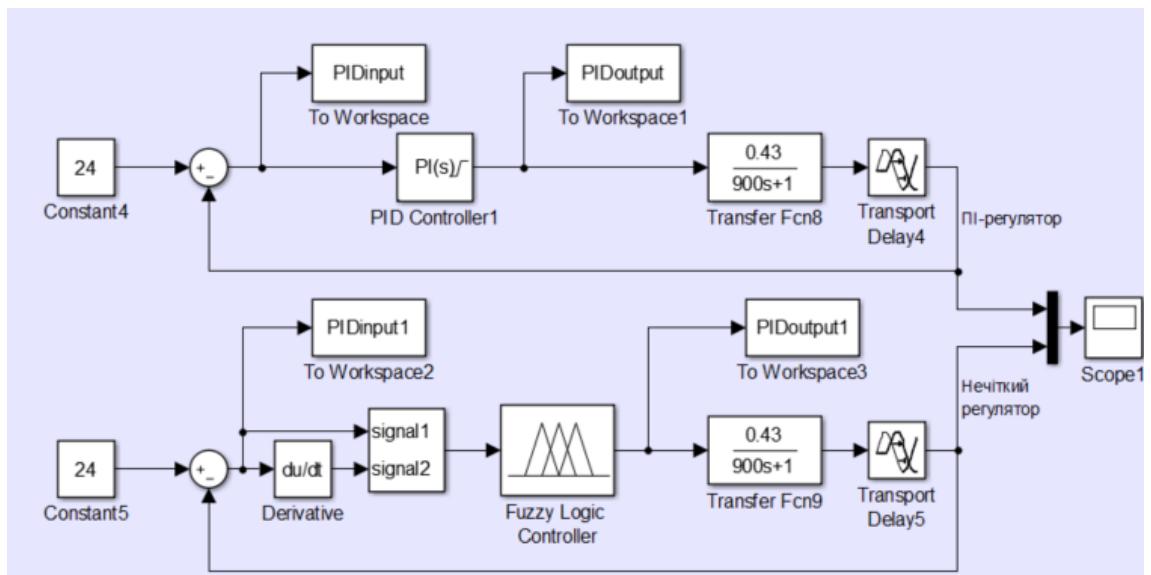


Рисунок 1 – Порівняльна модель систем в середовищі Matlab Simulink

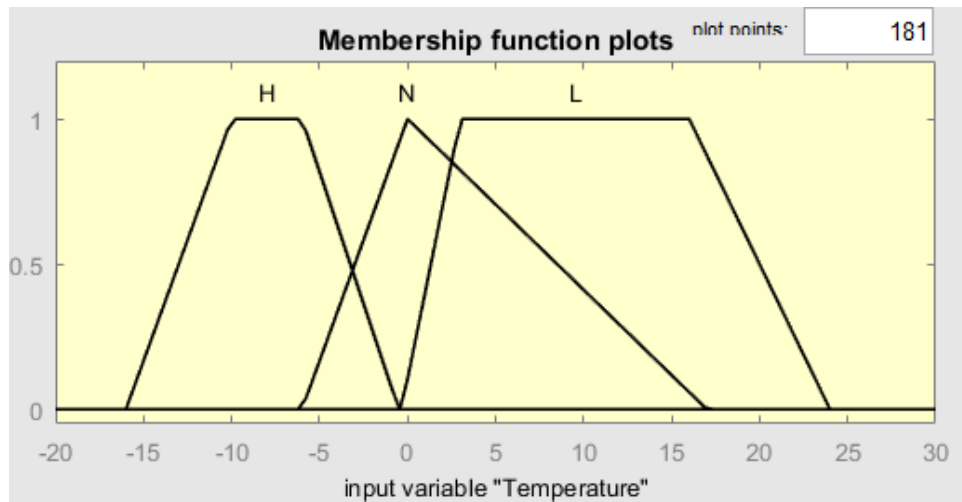


Рисунок 2 – Функції належності для температури

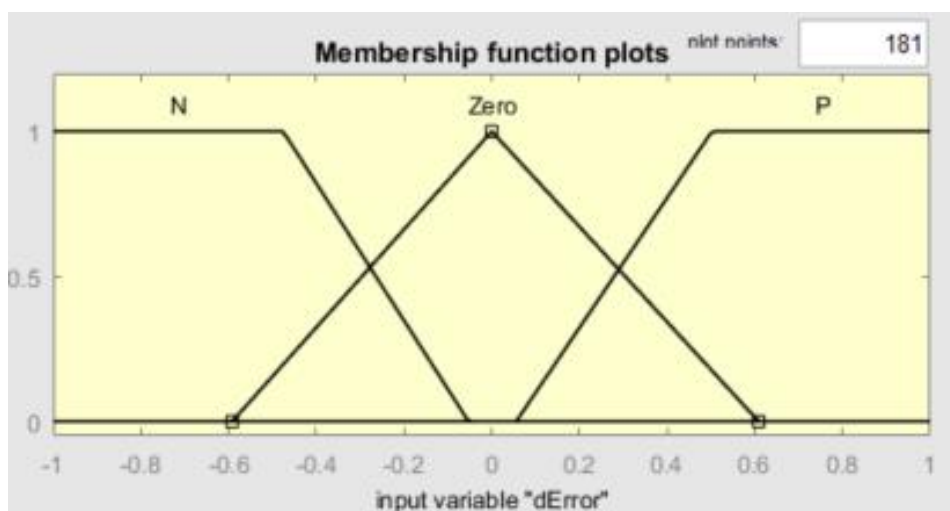


Рисунок 3 – Лінгвістична змінна похідної сигналу розбалансу

Відповідні результати симуляції наведено на рисунку 4.

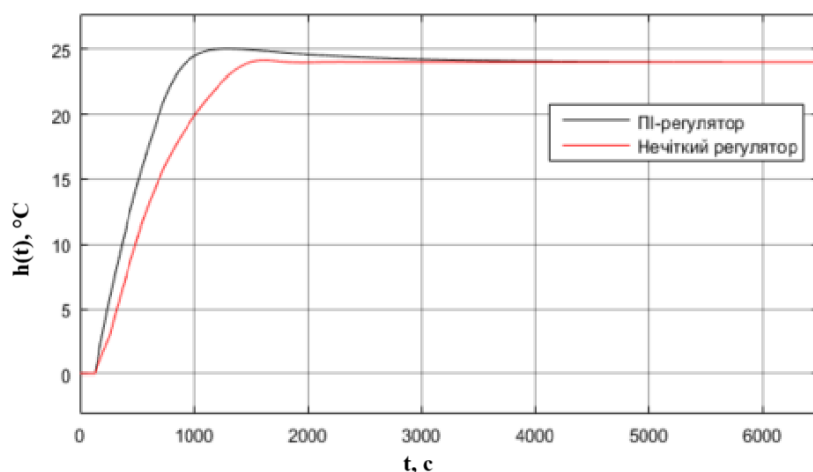


Рисунок 4 – Результати перехідних процесів для систем з нечітким та ПІ-регуляторами за каналом «завдання-вихід»

Хоча нечіткий регулятор і веде себе фактично як ПІ-регулятор, при правильних діапазонах функцій приналежності та коректних правилах можна добитись відсутності статичної похибки. З рисунку 4 вже можна побачити, що хоча для системи із нечітким регулятором перехідний процес є більш тривалим, проте динамічний викид та перерегулювання є меншими. Для більш детального порівняння у таблиці 1 було наведено прямі показники якості даних перехідних процесів.

Таблиця 1 – Прямі показники якості перехідних процесів

Показник якості	ПІ-регулятор	Нечіткий регулятор
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	1,05	0,15
Перерегулювання σ , %	4,38	0,625
Степінь затухання ψ	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$	830	1280

Отже, нечіткий регулятор, подібно до класичного ПІ-регулятора, може додатково налаштовуватись в подальшому з метою покращення певних критеріїв, та, зрештою, він у разі відсутності моделі є більш інтуїтивним та гнучким варіантом для проектування системи регулювання. Результати дослідження показали, що він може навіть перевершити ПІ-регулятор за певними показниками.

Перелік посилань:

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control. Volume 8, Issue 3, June 1965, Pages 338-353. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
2. Fuzzy logic explained [Електронний ресурс] URL: <https://www.controleng.com/artificial-intelligence-fuzzy-logic-explained/#:~:text=Fuzzy%20logic%20is%20a%20form,of%20the%20AI%20software%20toolkit> (дата звернення 03.03.2025).
3. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: Штіфзон О.Й., Новіков П.В., Бунь В.П. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.

¹ Магістрант 2 курсу Аршанський Д.І.

¹ Доц., к.т.н. Степанець О.В.

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=Kq9ce50AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КЕРУВАННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ СЕРВЕРНОЇ АПАРАТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні технології дедалі більше спираються на серверні системи, які є основою для обробки великих обсягів даних, підтримки хмарних сервісів та забезпечення вирішення складних обчислювальних задач. Такі системи складаються з численних електронних компонентів. Всі ці елементи об'єднують використання мікročіпів, які необхідно якісно охолоджувати. Неоптимальне охолодження призводить до зниження часу напруження на відмову, ефективності роботи, збільшення споживання електроенергії та інших проблем [1]. Зростання продуктивності серверів призводить до підвищення теплового навантаження, що також призводить до збільшення енергоспоживання. Однак, постійне охолодження компонентів серверної апаратури також має значне енергоспоживання, що призводить до необхідності пошуку оптимальної температури компонентів, яка б не знижувала їх ефективність та витрачала мінімум електроенергії на підтримання. Складність цих завдань полягає в нелінійній тепловій поведінці компонентів, їхній залежності від умов експлуатації та поточного навантаження, обмеженою можливістю прямого моніторингу стану кожного елемента в реальному часі [1].

Типові підходи до керування охолодженням зосереджені на стандартних сценаріях роботи обладнання і максимізації стійкості системи, через що мають низку недоліків [2], серед яких можна зазначити відсутність адаптивності до зовнішніх умов, неможливість врахування внутрішнього розподілення тепла на чіпі без встановлення додаткових давачів, необхідність постійного доналаштування з часом через зношування об'єкту керування. Для вирішення вищезазначених проблем останні дослідження фокусуються на використанні методів машинного навчання (ML) [3].

Аналіз останніх досліджень. Під час розробки системи керування охолодженням, використовуючи традиційні методи та технології, наявний ряд проблем, які можуть бути вирішені методами машинного навчання. Через нелінійність теплових процесів і складність моделювання можна використати Physics-informed neural networks (PINNs) [4], що дозволяє точно моделювати теплові процеси всередині та на поверхні чіпів, а також враховує конкретну теплопровідність та теплове розсіювання складових сервера [5]. Використовуючи Reinforcement-learning Model Predictive Control (RL-MPC) [6] можливо вирішити проблему відсутності адаптивності або врахування в моделях зовнішніх умов, таких як температура приміщення, охолоджувального теплоносія та інші [7]. Також для вирішення проблеми швидкісного та водночас якісного моделювання нелінійної теплової поведінки серверного обладнання та мікročіпів для оптимального керування використовують нейронні оператори (Neural Operators) [8], які здатні ефективно апроксимувати вирішення часткових диференціальних рівнянь теплових процесів всередині та на поверхні серверного обладнання [9, 10].

Формулювання мети. Метою даного дослідження є аналіз сучасних технологій керування тепловими процесами з використанням методів машинного навчання у вирішенні задач удосконалення керування тепловими процесами. Основним критерієм оцінки є здатність цих технологій забезпечувати точне моделювання, прогнозування та керування тепловими процесами в реальному часі, враховуючи нелінійність, обмеженість даних та вплив зовнішніх факторів.

Основна частина

На основі аналізу літературних джерел та останніх досліджень, можемо зробити припущення, що використання такої комбінації, як PINNs, Neural Operators та RL-MPC може мати синергетичне покращення ефективності контролю охолодження серверних компонентів.

Physics-Informed Neural Networks - це метод машинного навчання з учителем, який використовує нейронні мережі для прогнозування фізичного процесу за рахунок інтеграції фізичних законів конкретного процесу безпосередньо в процес навчання нейронної мережі, дозволяючи моделювати складні динамічні системи з урахуванням їхньої фізичної природи. Модифікація навчання PINNs полягає в тому, що стандартна функція втрат, яка зазвичай мінімізує різницю між передбаченими та тренувальними даними, доповнюється другою складовою – функцією втрат, що забезпечує відповідність вихідних значень мережі диференціальним рівнянням, які описують фізичні процеси. Ця додаткова функція формується шляхом обчислення часткових похідних для відповідних диференціальних рівнянь (наприклад, рівнянь теплопереносу) у наборі колокаційних точок, де мережа має задовольняти ці закони. Таким чином можливо навіть у випадку незначного або неповного набору даних дотренувати нейронну мережу на синтетичних даних та отримати систему, яка буде прогнозувати поведінку об'єкта з достатньою точністю та швидше, ніж це роблять традиційні системи моделювання.

Потенційно ефективним застосуванням PINNs в сфері контролю процесів охолодження серверних компонентів може бути передбачення теплової поведінки, що може бути частиною системи оптимізації енергоспоживання та контролю температурних режимів. Швидкість PINNs дозволяє використовувати їх в режимі виконання системи керування засобами охолодження.

Neural Operators узагальнюють поведінку фізичних систем через визначення відображень між функціональними просторами, а не конкретними дискретизованими значеннями. На відміну від традиційних нейронних мереж, які прогнозують скалярні чи векторні величини, Neural Operators моделюють оператори, що діють на функції, наприклад, розподіл температури всередині серверних компонентів. Їхня робота базується на апроксимації нелінійних функціональних залежностей за допомогою глибоких нейронних мереж, де одна підмережа кодує вхідні функції (наприклад, початкові теплові умови чи характеристики матеріалів), а інша – просторові чи часові координати. У процесі навчання мережа оптимізується для мінімізації помилки між вихідними прогнозами та цільовими функціями, отриманими з фізичних моделей чи реальних даних серверного обладнання.

Neural Operators дозволяють потенційно можуть становити ядро цифрових двійників, які враховують нелінійну теплову поведінку компонентів і здатні визначати аномалії та відхилення в тепловій поведінці компонентів для превентивного обслуговування та попередження проблем з апаратурою.

Reinforcement Learning-Based Model Predictive Control (RL-MPC) поєднує принципи передбачувального керування з механізмами навчання з підкріпленням для оптимізації керуючих дій у динамічних системах. У RL-MPC агент навчається оптимальній політиці шляхом ітераційної взаємодії із середовищем, де функція винагороди визначає бажану поведінку системи, наприклад, підтримання стабільної температури серверних компонентів при мінімальному енергоспоживанні. На відміну від класичного MPC, де модель системи відома заздалегідь, RL-MPC використовує апроксимацію динаміки через нейронні мережі або інші методи, адаптуючись до невизначеностей шляхом максимізації кумулятивної винагороди. Навчання відбувається через баланс між дослідженням (exploration) нових стратегій і використанням (exploitation) уже відомих оптимальних дій.

У контексті охолодження серверної апаратури RL-MPC дозволяє оптимізувати роботу вентиляторів або насосів рідинного охолодження залежно від поточного теплового профілю процесорів і зовнішніх умов, таких як температура в серверній кімнаті. RL-MPC

здатен навчатися оптимальним стратегіям управління, які зменшують енергоспоживання, уникаючи при цьому перегріву компонентів під час нестандартних сценаріїв, наприклад, при раптовому зростанні обчислювального навантаження.

Висновки

Сучасні технології керування тепловими процесами на основі методів машинного навчання, такі як PINNs, Neural Operators та RL-MPC, відкривають нові можливості для автоматизації теплоенергетичних систем. PINNs дозволяють ефективно моделювати нелінійні процеси з урахуванням фізичних законів та створювати нейромережі, які будуть якісно моделювати фізичну поведінку, Neural Operators забезпечують якісне узагальнення для широкого спектру умов, а RL-MPC виступає як технологія вдосконалення керування та пропонує адаптивність керування в реальному часі за рахунок врахування факторів зовнішніх умов, що робить потенційно можливим підвищення ефективності охолодження серверної апаратури та збільшення її терміну напрацювання на відмову. Водночас, наявний і ряд недоліків: PINNs потребують знання фізичних рівнянь процесів та граничних умов у загальному вигляді, Neural Operators вимагають значних обчислювальних ресурсів для тренування та повільніші від PINNs, однак пропонують вищу точність, а RL-MPC може бути чутливим до початкових умов навчання. Тим не менш, вищезазначені підходи є значним покращенням у порівнянні з традиційними методами, однак їхня імплементація потребує подолання вищезазначених викликів та правильного вибору в залежності від умов.

Перелік посилань:

1. Comprehensive review and future prospects on chip-scale thermal management: Core of data center's thermal management / Ziyong Li та ін. *Applied Thermal Engineering*. 2024. Т. 251. С. 123612. ISSN 1359-4311. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123612>.
2. Comparison of Deep Reinforcement Learning and PID Controllers for Automatic Cold Shutdown Operation / D. Lee та ін. *Energies*. 2022. Т. 15. ISSN 1996-1073. URL: <https://doi.org/10.3390/en15082834>
3. International Organization For Standardization. Machine learning (ML): All there is to know. *ISO organisation*. URL: <https://www.iso.org/artificial-intelligence/machine-learning> (дата звернення: 18.02.2025).
4. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*. 2019. Т. 378. С. 686–707. ISSN 0021-9991. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045> (дата звернення: 19.02.2025).
5. Son H., Cho H., Hwang H. J. Physics-Informed Neural Networks for Microprocessor Thermal Management Model. *IEEE Access*. 2023. Т. 11. С. 122974–122979. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3329562>
6. Reinforcement Learning for MPC: Fundamentals and Current Challenges / A. B. Kordabad та ін. *IFAC-PapersOnLine*. 2023. Т. 56. С. 5773–5780. ISSN 2405-8963. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.548>
7. Indoor Temperature Control of Radiant Ceiling Cooling System Based on Deep Reinforcement Learning Method / M. Tang та ін. *Buildings*. 2023. Т. 13. С. 2281. ISSN 2075-5309. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings13092281>.
8. Neural Operator: Learning Maps Between Function Spaces / N. Kovachki та ін. *The Journal of Machine Learning Research*. 2023. Т. 24. С. 4061–4157. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.08481>
9. DeepOHeat: Operator Learning-based Ultra-fast Thermal Simulation in 3D-IC Design / Ziyue Liu та ін. 2023. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.12949>.
10. Neural operator models for predicting physical fields in server electronic microchips doped with water-Al₂O₃ nanofluid coolant / Z.-T. Zhang та ін. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2024. Т. 55. С. 104060. ISSN 2214-157. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104060>

¹ Магістрант 2 курсу Гурський О.Т.

¹ Ст.викл., к.т.н. Некрашевич О.В.

<https://scholar.google.com/citations?user=vM8sCH4AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ АКТИВНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні тенденції у сфері енергоефективності зумовлені необхідністю зниження енергоспоживання та впливу на довкілля. Існуючі методи енергоефективності поділяються на пасивні та активні, однак останні ще не набули широкого впровадження через складність розробки та оптимізації алгоритмів керування. Оптимальне використання ресурсів у промислових і побутових системах потребує впровадження математичних моделей та алгоритмів активного контролю енергоспоживання. Попри численні дослідження у сфері енергоефективності, недостатньо вивчено вплив алгоритмів активного контролю в умовах реального часу. Актуальним є дослідження та розробка оптимізаційних методів керування, що зможуть ефективно адаптувати енергоспоживання відповідно до змінних умов експлуатації [1,2].

Аналіз останніх досліджень. Огляд літератури свідчить про значний прогрес у використанні пасивних методів енергоефективності, таких як теплоізоляція та використання енергоефективних матеріалів [2]. Водночас активні методи, засновані на комп'ютерному моделюванні та алгоритмах оптимізації, залишаються предметом досліджень. Серед перспективних напрямків варто відзначити методи прогнозування енергоспоживання та застосування машинного навчання для адаптації систем управління [3].

Формулювання мети. Метою дослідження є підвищення ефективності автоматизованої системи керування температурою будівель шляхом розробки та впровадження алгоритмів активного моніторингу та оптимізації енергоспоживання в реальному часі.

Основна частина. Активна енергоефективність передбачає динамічне управління енергоспоживанням за допомогою технічних засобів та автоматизації, на відміну від пасивних методів (конструктивних рішень). Активні системи зазвичай використовують механічні пристрої – такі як вентилятори, насоси чи теплові насоси – для перенесення та регулювання теплової енергії, тоді як пасивні підходи покладаються на природні процеси теплообміну [2]. Комбінація активних методів (алгоритми управління обладнанням, штучний інтелект, прогнозування тощо) дозволяє оптимально підтримувати комфорт при мінімальному споживанні енергії [3].

Активні алгоритми управління спрямовані на оптимальне керування інженерними системами (опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням (HVAC), освітленням тощо) в режимі реального часу для зниження витрат енергії. У традиційних системах широко застосовуються правила та розклади – наприклад, підтримання заданої температури за розкладом або PID-регулятори, які коригують вихід за відхиленням параметрів. Такі правило-орієнтовані алгоритми прості й надійні, але їх потрібно налаштовувати під кожну будівлю та умови; вони не гарантують глобального оптимуму, особливо при швидких змінах погоди чи навантаження.

Для досягнення вищої ефективності впроваджуються оптимізаційні методи керування. Зокрема, прогнозно-модельне керування (Model Predictive Control, MPC) вирішує задачу оптимізації на основі моделі будівлі при кожному кроці керування. MPC прогнозує поведінку системи (температуру, навантаження) на інтервалі вперед і обчислює такі керуючі впливи, що мінімізують споживання енергії при дотриманні комфортних умов.

Цей підхід дозволяє врахувати конфліктні цілі (наприклад, економію енергії vs. комфорт) і обмеження системи. Останніми роками MPC активно досліджується і впроваджується в будівлях завдяки доступності датчиків, контролерів і засобів зв'язку, необхідних для його реалізації.

Дослідження показують, що модельно-орієнтоване оптимальне керування здатне суттєво знизити енергоспоживання у порівнянні зі стандартним регулюванням. Наприклад, у системах опалення/охолодження будівель впровадження MPC дозволяло досягти двозначного відсоткового скорочення витрат електроенергії порівняно з типовим керуванням (порядку 10–20 % економії). Таким чином, розумні алгоритми управління, особливо на основі оптимізації, значно підвищують активну енергоефективність. Методи машинного навчання (ML) застосовуються для аналізу великих масивів даних про енергоспоживання та довкілля з метою виявлення прихованих закономірностей і покращення керування енергією. ML-моделі можуть прогнозувати попит на енергію, поведінку користувачів або оптимальні налаштування систем, перевершуючи за точністю традиційні ручні підходи. Залежно від задачі використовуються різні алгоритми машинного навчання. Штучні нейронні мережі (ANN) – багаторівневі нелінійні моделі, натхненні мозком. Вони добре апроксимують складні залежності між вхідними факторами (наприклад, температура повітря, сонячна радіація, графік роботи обладнання) і виходом (енергоспоживання). ANN є одним із найпопулярніших методів прогнозування енергоспоживання будівель, оскільки можуть навчатися на історичних даних і досягати високої точності. Метод опорних векторів (SVM) – алгоритм, ефективний для нелінійних задач з відносно невеликим обсягом навчальних даних. SVM перетворює вхідні дані у вищий вимір та шукає оптимальні гіперплощини для регресії або класифікації. Він належить до найбільш точних і стійких алгоритмів і входить у топ-10 найвпливовіших методів інтелектуального аналізу даних, часто перевершуючи інші моделі у задачах енергопрогнозування. Дерева рішень та ансамблеві методи – алгоритми на основі деревоподібних моделей (CART, Random Forest, Gradient Boosting тощо). В них дані розбиваються за правилами на вузлах дерева, що дає інтерпретовану модель залежностей. Деревні моделі гнучко пристосовуються до доступних даних і враховують нелінійні ефекти; методи на зразок випадкового лісу широко застосовувалися для прогнозування споживання енергії будівель. Статистичні прогнозні моделі – більш прості підходи, такі як багаторазова лінійна регресія, autoregressive integrated moving average (ARIMA) та інші часові ряди. Вони слугують базовим рівнем для порівняння, але часто поступаються складнішим ML-методам у точності.

Застосування машинного навчання в енергетиці вже демонструє високу ефективність. Так, моделі на основі нейронних мереж можуть прогнозувати теплове навантаження будівлі з коефіцієнтом детермінації $R^2 \sim 0.9$, тобто пояснювати ~90% варіацій споживання. Така точність прогнозу дає змогу системам керування завчасно та точно регулювати роботу обладнання, уникаючи зайвого перегріву чи охолодження приміщень. Окрім прогнозування, ML використовується і для самонавчального керування: алгоритми підкріплення (reinforcement learning) безпосередньо навчаються оптимізувати дії HVAC-систем. Огляди показують, що методи RL здатні знизити споживання енергії систем опалення і кондиціювання більш ніж на 10% за рахунок підлаштування до поведінки будівлі в реальному часі. В цілому, машинне навчання підсилює активну енергоефективність, надаючи гнучкі інструменти аналізу й управління, які покращують ефективність роботи обладнання та комфорт одночасно.

Прогнозування та моделювання є невід'ємною складовою активного енергоменеджменту, оскільки дає змогу планувати наперед і оптимізувати роботу систем до настання змін. У цій сфері використовуються як фізичні (аналітичні) моделі, так і статистичні моделі на основі даних, або їх поєднання. За підходами виділяють три категорії моделей енергоспоживання: white-box (фізично детерміновані), що точно описують теплові процеси будівлі; black-box (дані-орієнтовані), що будуються чисто на статистичних

залежностях; та grey-box (гібридні), які поєднують фізичні закономірності з емпіричними даними.

Фізичні моделі (напр. детальна симуляція EnergyPlus або спрощені R-C моделі теплопередачі) дозволяють прогнозувати поведінку будівлі при заданих умовах погоди і управління. Дані-орієнтовані моделі (напр. згадані вище ML-алгоритми – регресія, дерева, нейронні мережі) вчать на історичних даних будівлі та можуть давати точні прогнози без глибокого знання фізики процесів. Гібридні моделі намагаються використати переваги обох підходів – високу точність за наявності даних та збереження фізичного змісту. В контексті активної енергоефективності прогнозні моделі застосовуються для передбачення майбутнього попиту на енергію, погодних умов, поведінки користувачів, тощо. На основі цих прогнозів система управління може заздалегідь коригувати налаштування – наприклад, знизити температуру за годину до передбаченого потепління на вулиці або ввімкнути охолодження завчасно перед приходом мешканців, щоб уникнути пікового навантаження на кондиціонер.

Особливо важливі прогнозні моделі в реалізації згаданого MPC та подібних стратегій оптимізації. Модельно-передбачувальний контроль включає внутрішню модель будівлі, яка прогнозує реакцію на керуючі дії і зовнішні впливи. Це дозволяє контролеру ефективно передбачати майбутню поведінку системи (температурні вимоги, споживання) і знаходити оптимальні дії. Точність такої моделі безпосередньо впливає на якість рішень: для досягнення максимального ефекту необхідні високостовірні прогнози теплових навантажень та споживання. Як зазначають дослідники, висока точність енергетичних прогнозів є критичною для успішної роботи MPC і забезпечення максимальних енергетичних вигод. Навпаки, модель з похибками може призвести до неоптимальних рішень. Тому сучасні дослідження зосереджені на поліпшенні якості як фізичних, так і ML-моделей для прогнозування енергії.

Ефективність прогнозних підходів проявляється у здатності систем проактивно економити енергію. Наприклад, якщо відомо наперед прогноз споживання та погоди на наступні години, система може вирівнювати навантаження: трохи охолодити будівлю заздалегідь вночі (коли електроенергія дешевша), щоб менше споживати вдень – це знижує пікове навантаження і економить кошти. Вбудовані у будівлі інтелектуальні енергетичні платформи використовують такі моделі також для участі в системі “розумних” мереж: будівля може реагувати на цінові сигнали або команди від електромережі (наприклад, зменшити споживання під час загальносистемного піку) завдяки прогнозу своїх потреб. Таким чином, прогнозні моделі підвищують гнучкість і стійкість енергосистеми будівлі, забезпечуючи сталу економію.

Висновки. Отже, використання систем активної енергоефективності може значно зменшити витрату енергоресурсів (електроенергії, газу тощо) на опалення приміщення, доповнюючи ефект більш вивчених методів пасивної енергоефективності. Моделювання впливу методів активної енергоефективності на загальну ефективність системи досліджує вплив нових рішень у сфері автоматичного керування на загальну сферу збільшення ефективності промислових та побутових систем.

Перелік посилань:

1. Zhang Y., Wang J., Li X. Active Energy Efficiency Strategies in Smart Buildings. Energies, 2023. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/9/3905> (дата звернення 04.12.2023).
2. Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. A review on buildings energy consumption information. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114003815> (дата звернення 10.02.2024).
3. Johnson M., Smith R. Machine Learning Approaches for Energy Efficiency in Buildings. Energy Reports, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792424000271> (дата звернення 10.02.2024).

¹ Бакалаврант 4 курсу Аксьонова Я.В.

¹ Доц., к.т.н. Маріяш Ю.І.

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=7H2DiesAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ КОТЛАМИ ДЛЯ КОРАБЛІВ НА ОСНОВІ ЗОБРАЖЕНЬ ПОЛУМ'Я З ВИКОРИСТАННЯМ ІМС-PID

Вступ

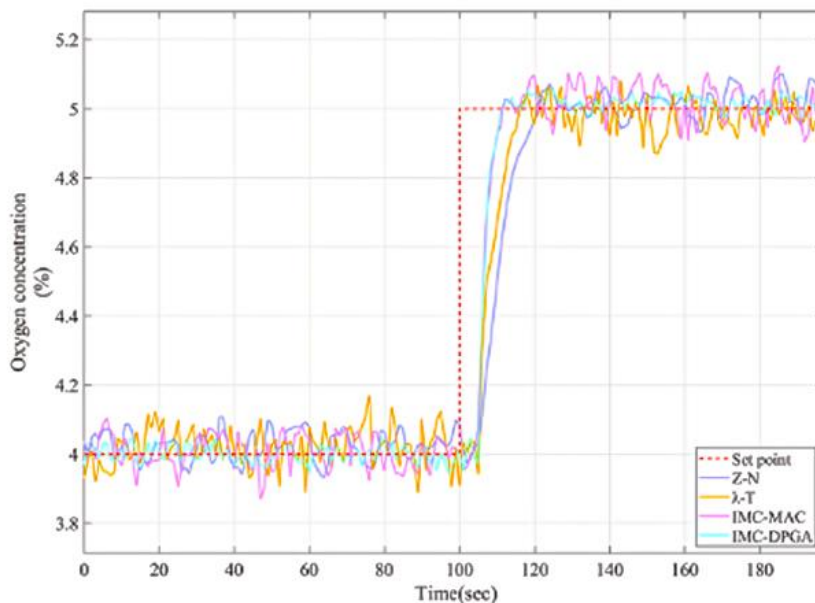
Сучасні суднові енергетичні системи потребують ефективного контролю процесів горіння для зменшення викидів забруднюючих речовин. Традиційні методи регулювання, що базуються на вимірювальних сенсорах, стикаються з обмеженнями через запізнення реакції системи. У цьому дослідженні пропонується адаптивний підхід до керування процесом горіння, заснований на аналізі зображень полум'я та використанні комбінованого ІМС-PID-регулятора з алгоритмом глибокого підкріплювального навчання [1].

Методологія

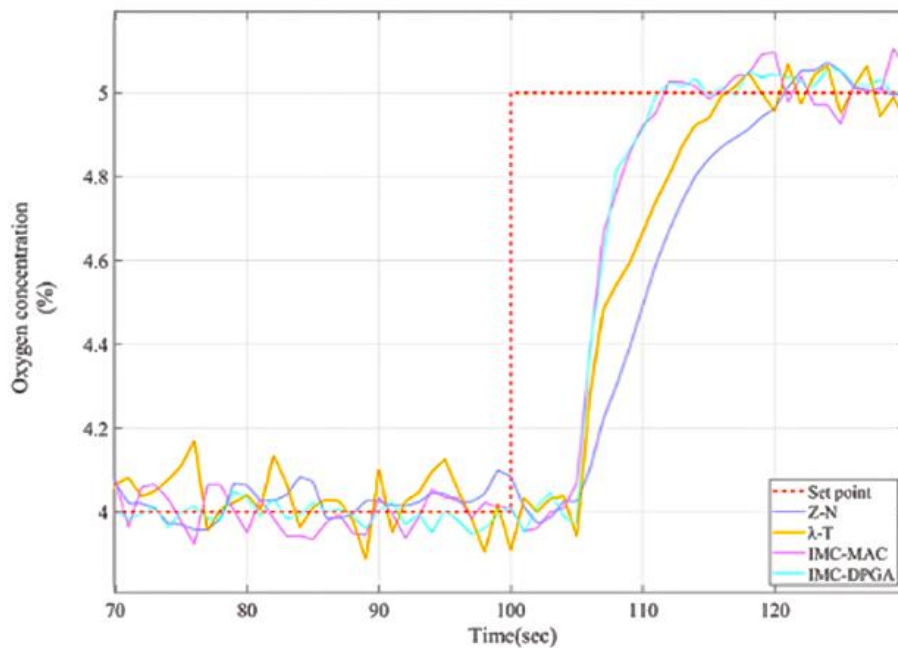
Запропонований підхід використовує зображення полум'я як основне джерело даних про стан горіння. В основі методики лежить поєднання внутрішньомодельного управління з PID-регулятором, параметри якого налаштовуються в реальному часі за допомогою DDPG [2] (метод навчання з підкріпленням, який використовує нейромережі для навчання політики вибору дій у середовищі з неперервними діями). Алгоритм навчання дозволяє контролеру адаптуватися до змінних умов експлуатації, таких як варіації температури впускного повітря та властивості палива.

Основні етапи реалізації:

- Використання насиченого екстракційного фільтра для обробки зображень полум'я та отримання спектральних характеристик горіння.
- Застосування методу підтримувальних векторних машин для прогнозування концентрації кисню.
- Інтеграція PID-регулятора в систему ІМС для стабілізації процесу горіння.
- Налаштування параметра у моделі ІМС для адаптивного керування.
- Налаштування параметра у моделі ІМС для адаптивного керування.



a)



б)

а) – часовий діапазон 0-200 с, б) – часовий діапазон 70-130 с

Рисунок 1 – Порівняння реакції різних регуляторів (ZN, L-T, IMC-MAC, IMC-DPGA) на зміну концентрації кисню у процесі горіння [3]

Результати

Запропонований підхід продемонстрував:

- Зменшення часу адаптації PID-регулятора з 1500 до 105 навчальних епізодів.
- Мінімальний рівень перерегулювання (0.0631) та низьку похибку (0.0032).
- Скорочення затримки у вимірюванні концентрації кисню, що покращило точність регулювання горіння.

Висновки

Запропонована система керування дозволяє значно покращити ефективність процесу горіння у суднових котлах, зменшуючи викиди CO_2 , NO_x і SO_2 [2]. Використання аналізу зображень полум'я та глибокого навчання забезпечує швидку адаптацію до змінних умов експлуатації, що робить цей метод перспективним для подальшого застосування у судновій промисловості.

Перелік посилань:

1. MarkWide Research. Global Marine Boilers Market: Analysis, Industry Size, Share, Research Report, Insights, COVID-19 Impact, Statistics, Trends, Growth, and Forecast 2024–2032; MarkWide Research: Torrance, CA, USA, 2024.
2. Global Marine Boilers: Performance Optimization and Emission Reduction Strategies // Journal of Marine Science and Engineering – 2024. – URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/9/1603> (дата звернення: 28.02.2025).
3. Adaptive Control of Ships' Oil-Fired Boilers Using Flame Image-Based IMC-PID and Deep Reinforcement Learning / ResearchGate. – 2024. – URL: https://www.researchgate.net/publication/383928717_Adaptive_Control_of_Ships'_Oil-Fired_Boilers_Using_Flame_Image-Based_IMC-PID_and_Deep_Reinforcement_Learning (дата звернення: 28.02.2025).

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ З ПІДКРИПЛЕННЯМ НА БАЗІ DQN В СИСТЕМАХ ОВІК

Постановка проблеми та її актуальність. Застосування машинного навчання з підкріпленням на базі DQN в системах ОВіК є актуальним напрямом досліджень, що спрямовані на підвищення енергоефективності та комфорту в будівлях. Системи ОВіК споживають до 50 % загальної енергії в будівлях, і навіть незначна оптимізація керування може призвести до економії у 15-30 % витрат на електроенергію [1]. Сучасні методи управління кліматичними системами все частіше інтегрують алгоритми штучного інтелекту, що дозволяє адаптувати параметри мікроклімату до потреб користувачів у режимі реального часу. Однак традиційні алгоритми, такі як PID-регулятори або MPC (Model Predictive Control), мають обмежені можливості адаптації до змінних умов та не враховують динамічні зміни в середовищі [2].

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження підтверджують ефективність використання алгоритмів Deep Q-Network (DQN) у керуванні системами ОВіК. Дослідження показують, що впровадження DQN дозволяє досягти на 25 % швидшого адаптивного налаштування температурного режиму в приміщеннях порівняно з традиційними методами [3]. Водночас споживання енергії може бути знижене на 15-20 % без втрати якості мікроклімату [4]. Важливим аспектом є взаємодія DQN із сенсорними мережами, що дозволяє підвищити точність контролю параметрів мікроклімату за рахунок обробки великої кількості даних у режимі реального часу [5].

Формулювання мети. Метою даної роботи є аналіз ефективності використання алгоритму DQN у системах ОВіК та його порівняння з іншими підходами машинного навчання з підкріпленням. Досліджується вплив DQN на зниження споживання енергії, покращення адаптивності системи до зовнішніх факторів та підтримання високого рівня комфорту для користувачів.

Основна частина. Алгоритм DQN є одним із методів машинного навчання з підкріпленням, що поєднує класичне Q-навчання з використанням глибоких нейронних мереж. Це дозволяє агентам ефективно приймати рішення у складних і динамічних середовищах, таких як системи ОВіК. У процесі навчання агент RL отримує інформацію від сенсорів, аналізує її та приймає рішення про зміну параметрів мікроклімату. Використання DQN дозволяє системі навчатися оптимальним стратегіям керування, враховуючи змінні зовнішні умови та індивідуальні особливості приміщень. Адаптивне керування температурою та вологістю забезпечує зниження енергоспоживання без погіршення комфорту. Автоматичне налаштування параметрів ОВіК на основі історичних даних та поточних показників сенсорів дозволяє покращити стабільність керування та мінімізувати різкі коливання температури, що особливо важливо для комерційних та промислових будівель. Нижче представлена структура такої моделі, яка аналізує вхідні параметри та прогнозує комфортність умов (рис. 1).

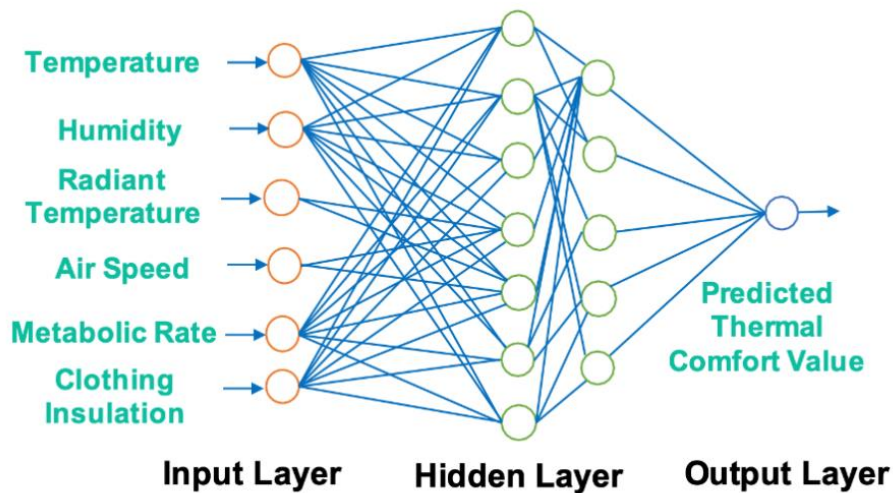


Рисунок 1 – Структура глибокої нейронної мережі для прогнозування теплого комфорту

Основні переваги використання DQN у системах ОВіК включають можливість автоматичної адаптації до змінних умов, підвищення точності прогнозування та зменшення витрат енергії. У порівнянні з традиційними підходами, такими як PID-регулятори, метод DQN дозволяє скоротити споживання енергії на 20-35 %, особливо в умовах різких змін зовнішньої температури [6]. Проте метод має і певні недоліки, такі як висока обчислювальна складність та необхідність великого обсягу навчальних даних для ефективного функціонування.

Для оцінки ефективності різних підходів навчання з підкріпленням було проведено порівняльний аналіз методів DDPG, DQN, Q-learning і SARSA. Результати дослідження показують, що DQN демонструє вищу точність у прогнозуванні теплого комфорту, що ілюструє наступний графік (рис. 2).

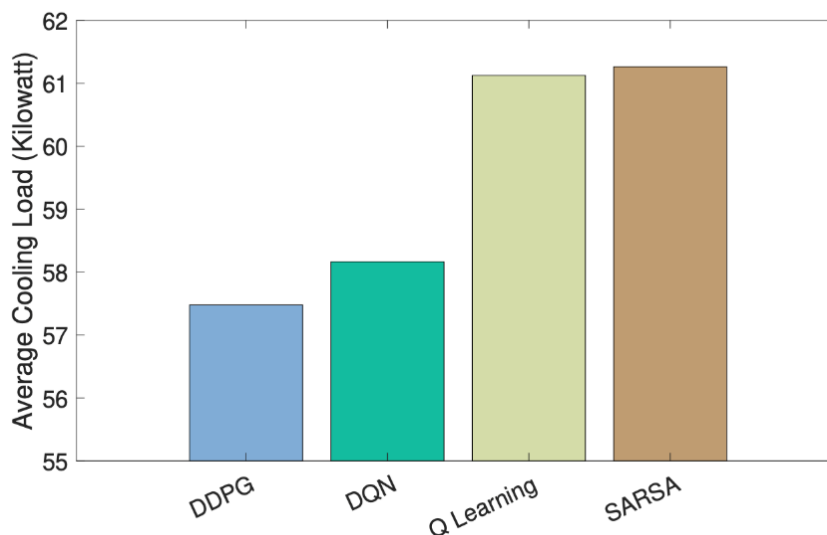


Рисунок 2 – Порівняння середніх значень теплого комфорту для різних методів навчання з підкріпленням

Висновки. Таким чином, використання DQN у системах ОВіК є перспективним напрямом розвитку, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання та покращити комфортні умови в будівлях. Запропонований підхід демонструє переваги у зниженні енергетичних витрат, зменшенні варіативності мікроклімату та покращенні адаптивності до змінних умов експлуатації. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення моделей навчання, оптимізацію алгоритмів з урахуванням реальних будівельних умов та зменшення обчислювальних витрат.

Перелік посилань:

1. Hosamo H., & Mazzetto S. (2024). Performance evaluation of machine learning models for predicting energy consumption and occupant dissatisfaction in buildings. *Buildings*, 15(1), 39. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15010039>
2. Chen Y., Ye Y., Liu J., Zhang L., Li W., & Mohtaram S. (2023). Machine Learning approach to predict building thermal load considering feature variable Dimensions: An Office building case study. *Buildings*, 13(2), 312. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13020312>
3. Gao G., Li J., & Wen Y. (2023, January 15). *Energy-Efficient thermal comfort control in smart buildings via deep reinforcement learning*. arXiv.org. <https://arxiv.org/pdf/1901.04693>
4. Tian H., Feng M., Fan H., Cao R., & Gao Q. (2023). Optimization Control strategy for a central air conditioning system based on AFUCB-DQN. *Processes*, 11(7), 2068. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11072068>
- Chen C., An J., Wang C., Duan X., Lu S., Che H., Qi M., & Yan D. (2023). Deep reinforcement Learning-Based joint optimization control of indoor temperature and relative humidity in office buildings. *Buildings*, 13(2), 438. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13020438>
5. Haiyirete X., Zhang W., & Gao Y. (2024). Evolving Trends in smart Building Research: A Scientometric analysis. *Buildings*, 14(9), 3023. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14093023>
6. Sierla S., Ihasalo H., & Vyatkin V. (2022). A review of reinforcement learning applications to control of heating, ventilation and air conditioning systems. *Energies*, 15(10), 3526. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15103526>

АВТОМАТИЗАЦІЯ АПАРАТУ ДИСТИЛЯЦІЇ З РЕКТИФІКАЦІЙНОЮ КОЛОНОЮ

Постановка проблеми та її актуальність У сучасних умовах енергетичної кризи автоматизація технологічних процесів є ключовим фактором підвищення ефективності виробництва. Дистиляція та ректифікація широко застосовуються в хімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості для розділення сумішей. Проте традиційні методи управління не завжди забезпечують необхідну точність та енергоефективність. Автоматизація дистилятора з ректифікаційною колоною дозволяє оптимізувати процеси та зменшити енергетичні витрати [1, 2].

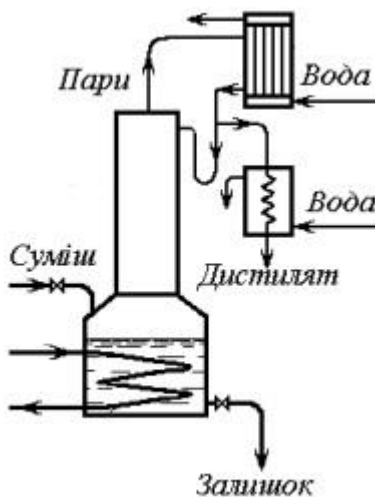


Рисунок 1 – Схеми ректифікаційних установок

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження в галузі автоматизації технологічних процесів акцентують увагу на впровадженні систем керування на базі ПЛК та SCADA-систем для забезпечення стабільності роботи ректифікаційних колон [3]. Також активно вивчаються методи оптимізації температурних режимів та зменшення енергоспоживання за допомогою адаптивного регулювання. Проте більшість існуючих систем не враховують динамічні зміни у складі сировини та коливання технологічних параметрів, що призводить до втрат енергії та погіршення якості кінцевого продукту.

Формулювання мети. Метою даного дослідження є розробка інтегрованої системи автоматизації апарату-дистилятора з ректифікаційною колоною, яка забезпечує стабільність процесу, підвищену енергоефективність та високу якість кінцевого продукту шляхом застосування сучасних методів автоматичного регулювання.

Основна частина. Для створення автоматизованої системи керування було обрано ПЛК Siemens Logo, інтегрований із SCADA-системою для забезпечення візуалізації та моніторингу процесів у реальному часі. Для підтримки стабільного температурного

профілю в ректифікаційній колоні використано адаптивні ПІД-регулятори, що дозволяють автоматично коригувати параметри залежно від змін умов роботи.

Загальний вигляд матеріального балансу ректифікаційної колоні задається формулою (1):

$$L_x + V_{x+1} = L_{x-1} + V_x, \quad (1)$$

де:

L_x – рідкий потік на x -му рівні;

V_x – паровий потік на x -му рівні.

Енергетичний баланс процесу визначається за формулою (2):

$$Q = mc_p \Delta T, \quad (2)$$

де:

Q – кількість тепла ;

m – масо потоку;

c_p – питома теплоємність;

ΔT – різниця температур.

Отримані результати. В результаті впровадження автоматизованої системи керування апаратом-дистилятора з ректифікаційною колоною вдалося значно підвищити точність регулювання температурного профілю. Завдяки використанню адаптивних ПІД-регуляторів коливання температури було зменшено до $\pm 0,5$ °С, що забезпечило стабільний тепловий режим протягом усього процесу ректифікації. Це дозволило скоротити енергоспоживання на 18 % порівняно з базовим режимом роботи без автоматизації. Такий результат досягнуто за рахунок оптимізації режимів нагріву, зменшення тепловтрат та інтеграції енергозберігаючих алгоритмів.

Таблиця 1 – Ефективність автоматизованої системи

Показники	До автоматизації	Після автоматизації
Середнє енергоспоживання, кВт	12,5	10,2
Відхилення температури, °С	$\pm 1,5$	$\pm 0,5$
Вихід чистого продукту, %	85	92

Висновки. Автоматизація апарату-дистилятора з ректифікаційною колоною дозволила досягти підвищення енергоефективності, стабільності процесу та якості кінцевого продукту. Впроваджені адаптивні регулятори забезпечують можливість швидкого реагування на зміни технологічних умов, що значно зменшує ймовірність аварійних ситуацій. Розроблена система може бути застосована в різних галузях промисловості для оптимізації процесів ректифікації.

Перелік посилань:

1. Воротнюк Д.Д. Система керування ректифікаційною колоною в процесі каталітичного крекінгу. Київ, 2021. 85с.
2. Петрук В.В., Вакулюк П.В., Бурбан А.Ф. Порожнистоволоконні мембрани та модулі для мембранно-дистиляційних процесів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування, 2010, № 679, с. 27–33.
3. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. 224 с.

¹ Бакалаврант 4 курсу Вовченко І.В.

¹ Доц., к.т.н. Бунь В.П.

<https://scholar.google.com/citations?user=U9Xoun4AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ПРОМИСЛОВOSTІ

Вступ. Штучний інтелект відіграє роль не тільки як інструмент підвищення ефективності, а й як чинник глибокої трансформації всієї виробничої екосистеми. Завдяки цифровізації процесів на основі ШІ підприємства отримують змогу проводити точну діагностику енергоспоживання, швидко виявляти неефективні ділянки та оперативно ухвалювати рішення. Це створює передумови для формування так званого адаптивного виробництва, де всі компоненти – від обладнання до персоналу – працюють у єдиній цифровій системі координат, здатній до самоаналізу та самонавчання. Крім того, використання ШІ дозволяє впроваджувати принципи превентивного управління ресурсами, що істотно знижує ризики виробничих збоїв та аварій [1]. Рішення, які ґрунтуються на аналізі великих обсягів даних у режимі реального часу, дають змогу не лише прогнозувати можливі витрати, а й мінімізувати втрати, пов'язані з простоем обладнання чи порушенням технологічного циклу.

Значення ШІ для енергозбереження. Використання штучного інтелекту на заводах і фабриках допомагає краще керувати електроенергією. Розумні системи можуть аналізувати великі обсяги даних і знаходити, де витрачається зайва енергія. Наприклад, аналізуючи роботу промислових компресорів або систем вентиляції, ШІ може виявити непотрібні режими або простої, які збільшують споживання. На основі зібраної інформації системи пропонують конкретні дії щодо оптимізації, такі як переналаштування обладнання або зміна графіків роботи. Завдяки цьому підприємства можуть зменшити витрати на електроенергію без шкоди для продуктивності. Також такі системи допомагають розумно розподіляти навантаження на електромережу, особливо в періоди пікового навантаження, коли всі споживають багато електрики. Це дає можливість використовувати енергію з відновлюваних джерел, таких як сонячні батареї та вітряки, більш вигідно та ефективно, мінімізуючи залежність від традиційних джерел енергії використання штучного інтелекту на заводах і фабриках допомагає краще керувати електроенергією. Розумні системи можуть аналізувати великі обсяги даних і знаходити, де витрачається зайва енергія. Вони пропонують способи, як зробити виробництво більш ефективним. Завдяки цьому підприємства можуть зменшити витрати на електроенергію, не знижуючи продуктивність. Також такі системи допомагають розумно розподіляти навантаження на електромережу, особливо в періоди, коли всі споживають багато електрики. Це дає можливість використовувати енергію з відновлюваних джерел, таких як сонячні батареї та вітряки, більш вигідно та ефективно [2].

Основні параметри використання ШІ:

1. Аналіз та передбачення енерговитрат. Завдяки обробці історичних показників ШІ-системи прогнозують динаміку споживання ресурсів. Наприклад, у металургії або хімічній промисловості, де енерговитрати дуже високі, системи ШІ дозволяють точно планувати бюджети, виявляючи найбільш енергоємні етапи виробничих циклів та пропонуючи способи зниження втрат.

2. Налаштування роботи техніки – інтелектуальні алгоритми автоматично підбирають оптимальні налаштування для обладнання, уникаючи непродуктивних режимів

роботи. Наприклад, в автоматизованих лініях розливу ШІ може адаптувати параметри насосів, двигунів і датчиків для зменшення енерговитрат на кожному етапі.

3. Інтелектуальні енергосистеми – адаптивні мережі електропостачання, які працюють за підтримки ШІ, знижують ризик перебоїв, регулюють напругу та покращують контроль над розподілом енергії. Такі системи вже використовуються на багатьох «розумних фабриках», наприклад, у Німеччині та Японії.

4. Попереджувальний моніторинг обладнання – збір даних з датчиків температури, тиску, вібрації та інших параметрів дає змогу виявляти потенційні поломки ще до їх критичного прояву. Це дозволяє уникнути аварій, продовжити термін служби обладнання та зменшити витрати на ремонт і простій.

5. Динамічне керування ресурсами – поєднання IoT-пристроїв із навчальними алгоритмами забезпечує оперативний аналіз енерговитрат на кожному етапі виробництва. Наприклад, система може в реальному часі відключати непотрібні енергоспоживачі або перенаправляти навантаження на менш завантажені ділянки.

Інші завдання та перспективи. Окрім безпосереднього зниження витрат на енергоресурси, використання ШІ у промисловості сприяє розвитку стійких енергетичних моделей. Підприємства, що впроваджують розумні енергетичні рішення, мають конкурентну перевагу, оскільки отримують змогу швидко адаптуватися до змін ринку, нормативно-правової бази та вимог клієнтів. Це особливо важливо в умовах глобального тренду на декарбонізацію економіки [3]. Подальші дослідження у цій сфері зосереджені на розробці більш точних алгоритмів прогнозування, вдосконаленні автоматизованих систем управління та інтеграції ШІ з відновлюваними джерелами енергії. Зокрема, ведеться активна робота над створенням гібридних енергетичних систем, у яких ШІ розподіляє навантаження між мережею, акумуляторами та генераторами залежно від ситуації. Важливо також розробляти ефективні системи зберігання енергії (акумулятори, суперконденсатори), які можуть взаємодіяти зі ШІ для розподілу ресурсів у найоптимальніший спосіб.

Крім технічного вдосконалення виробничих процесів, важливою складовою є підвищення кваліфікації персоналу щодо роботи з новими технологіями. Навчання співробітників роботі з інтелектуальними системами дозволяє максимально розкрити потенціал ШІ та уникнути помилок у його застосуванні.

Висновки. Впровадження штучного інтелекту в промисловість відкриває нову еру ефективності, безпеки та сталого розвитку. Це не лише засіб економії енергоресурсів, а повноцінний інструмент стратегічного управління, що змінює саму філософію виробництва. ШІ допомагає створити умови для переходу від реактивного до проактивного підходу в управлінні енерговитратами. Це сприяє формуванню «розумних» підприємств, здатних не лише адаптуватися до викликів сучасної енергетики, а й відігравати активну роль у глобальній трансформації економіки – переході до низьковуглецевої та ресурсоефективної моделі. Зростання екологічної відповідальності, підвищення прозорості процесів, оптимізація витрат – усе це стає можливим завдяки впровадженню інтелектуальних систем. У найближчі роки успішність підприємств все більше залежатиме від здатності інтегрувати ШІ в операційну діяльність. Саме ці технології формуватимуть конкурентну перевагу на глобальному ринку, дозволяючи не лише вижити, а й розвиватися в умовах зростаючої конкуренції та жорстких екологічних стандартів.

Перелік посилань:

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. «Deep Learning». MIT Press, 2016. URL: [http://alvarestech.com/temp/deep/Deep%20Learning%20by%20Ian%20Goodfellow,%20Yoshua%20Bengio,%20Aaron%20Courville%20\(z-lib.org\).pdf](http://alvarestech.com/temp/deep/Deep%20Learning%20by%20Ian%20Goodfellow,%20Yoshua%20Bengio,%20Aaron%20Courville%20(z-lib.org).pdf) (Дата звернення 28.02.2025).

2. Zhang C., Ding J. «Artificial Intelligence in Energy Management». URL: Springer, 2021. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/5249> (Дата звернення 28.02.2025).

3. Міністерство енергетики України. «Національна стратегія енергозбереження», 2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/373-2023-%D1%80?utm_source=chatgpt.com#Text (Дата звернення 28.02.2025).

¹ Спеціаліст Воронюк М.В.; ² Бакалаврант 4 курсу Помпе Д.А.

² Доц., к.т.н. Батюк С.Г.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=cWaZ5o4AAAAJ&hl=uk>

¹ Київський індустріальний фаховий коледж

² КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВОИХ ДВІЙНИКІВ І СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

Постановка проблеми. Цифрові двійники (ЦД) і системи штучного інтелекту (СШІ; наприклад, ШІ-агенти) активно використовуються в промисловості і будівництві. Основні напрями застосування ЦД – технічна діагностика і попереджувальне обслуговування. Основні напрями використання ШІ-агентів – сервісні функції для побутових і промислових гаджетів. Актуальним є питання – яким чином ЦД і СШІ можуть бути використані в автоматизації технологічних об'єктів управління (ТОУ) взагалі і в автоматизації інженерних систем зокрема?

Аналіз проблеми. ЦД і СШІ – надновітні цифрові технології (особливо ШІ-агенти). Традиційно ЦД і СШІ відносять до інформаційних технологій (ІТ). Використання ЦД і СШІ як операційних технологій (ОТ), тобто як технологій автоматизації, є дискусійним. Виникають наступні питання. Чи були раніше вже реалізовані ЦД і СШІ в автоматизації технологічних процесів? Якщо були, то що це були за рішення і чи були вони ефективними? І чи не є терміни «ЦД» і «СШІ» новими назвами відомих і ефективних (чи неефективних) рішень з автоматизації? Як, наприклад, новітній термін «кібер-фізична система (КФС)» замість класичного терміну «автоматизований технологічний комплекс (АТК)». Якщо ЦД і СШІ вже імпліцитно використовувались в класичних системах автоматичного регулювання (САР), то які перспективи їх використання в сучасних автоматизованих системах управління технологічними процесами (АСУ ТП) ТОУ, зокрема АСУ ТП інженерних систем?

Постановка завдання. Для змістовних відповідей на перераховані вище актуальні питання щодо використання ЦД і СШІ в промисловій автоматизації потрібно проаналізувати і визначити наступне: 1) дати робочі визначення ЦД і СШІ для ОТ; 2) вказати особливості промислової автоматизації, які уможливають або унеможливають застосування ЦД і СШІ; 3) вказати аналоги ЦД і СШІ в задачах класичної промислової автоматизації, проаналізувати їх ефективність і перспективність їх застосування в автоматизації інженерних систем житлових будівель.

Дослідження і аналітика. ЦД – це «дитина» 4-ої промислової революції. Промислова революція почалась приблизно від 1800-го року і неперервно продовжується вже понад 200 років, докорінно змінюючи умови життя і праці людства. Класична теорія автоматичного управління (ТАУ) і, відповідно, класична промислова автоматизація – це «діти» попередніх етапів (1-го, 2-го і 3-го) перманентної промислової революції. ШІ і СШІ разом з роботизацією – вже «діти» 5-ої промислової революції (яка, власне, і почалось з впровадження СШІ в ІТ). Що спільного у ЦД/СШІ з класичною автоматизацією і чи, взагалі, релевантні аналогії між сучасними ЦД/СШІ і класичними рішеннями з автоматизації кінця 20-го століття? Аналіз показує, що так і що деякі добре відомі класичні ОТ є аналогами сучасних ЦД і СШІ. Більше того, відносна рідкість застосування цих рішень в промисловій автоматизації ретроспективно демонструє, що вони випередили свій час, бо не могли бути реалізовані тоді з причини обчислювальних обмежень тогочасних програмно-технічних засобів автоматизації.

Визначення ЦД для ОТ. ЦД – це цифрова копія (імітаційна модель) ТОУ, яка

керується вимірними параметрами і використовується для обчислення параметрів, які не вимірюються. Модель може бути точною або приблизною, динамічною або статичною, формульною, табличною або алгоритмічною. ЦД не визначається способом свого застосування; засадничим для визначення моделі ТОУ як ЦД ТОУ є використання в моделі вимірних параметрів для обчислення невимірних параметрів. Обчислені параметри можуть бути як технологічні (температури, тиски, рівні, витрати, тощо) так і техніко-економічні (ТЕП; КПЕ – ключові показники ефективності; собівартість, випрацювання ресурсу, надійність функціонування, показники якості перехідних процесів). Класичне застосування ЦД ТОУ – технічна діагностика обладнання ТОУ з метою попереджувального обслуговування (predictive maintenance). Як правило, ЦД має свою цифрову тінь (історію, тобто історичні дані в архіваторах), але наявність цифрової тіні не є засадничою для дефініції ЦД ТОУ.

Визначення СШІ для ОТ. СШІ – це система машинного навчання (СМН). Взагалі, ШІ – це не пристрій, не програма і не алгоритм. ШІ – це галузь кібернетики, яка вивчає (аналізує і синтезує) системи, здатні до навчання. Термін «штучний інтелект» є неточним перекладом з англійського «artificial intelligence (AI)» (порівняння: CIA – Central Intelligence Agency – ЦРУ). Intelligence – це здатність здобувати знання та навички. Intellect – це здатність міркувати та об'єктивно розуміти. Відповідно, термін AI точніше перекласти як «штучний здобувач знань» (але не краще). Алгоритми ШІ не імітують роботу людського мозку (хоча нейронні мережі, на основі яких працює людський мозок, є найбільш поширеним механізмом реалізації алгоритмів ШІ, це не єдиний такий алгоритм). Алгоритми ШІ імітують процес навчання. СШІ – це пристрій або програма для реалізації алгоритмів ШІ. Інакше, СШІ – це пристрій або програма, які можуть навчатись. Терміни ШІ і «машинне навчання» (МН) практично тотожні за значенням (хоча МН в ШІ розглядається як одна з технологій ШІ). Вирізняють дедуктивне машинне навчання (ДМН) та індуктивне машинне навчання (ІМН). ДМН – формалізація знань експертів у вигляді баз знань (БЗ). ІМН – пошук емпіричних залежностей в експериментальних даних. Алгоритми ДМН реалізуються експертними системами управління (ЕСУ). Алгоритми ІМН реалізуються пошуковими системами управління (ПСУ). ЕСУ і ПСУ відомі як інтелектуальні системи управління (ІСУ). ПСУ, за визначенням і фактично, є адаптивними системами управління – системами адаптації параметрів (САП) САР режимних параметрів ТОУ.

Застосування ЦД в промисловій автоматизації. Можна виділити всього п'ять застосувань ЦД в промисловій автоматизації [1], які і перераховані далі. 1) Технічна діагностика ТОУ. Це класичне і актуальне застосування для попереджувального обслуговування ТОУ. 2) Розрахунок оптимальних значень уставок режимних параметрів САР. Це все ж таки більш високорівнева функція інтегрованої АСУ масштабу підприємства; відповідно, реалізується в АСУ виробництвом (АСУВ), а не в АСУ ТП. 3) Компенсація вимірних сигнальних збурень розрахованими компенсаторами в прямому зв'язку комбінованих САР. Проте розраховані компенсатори (з виходом як на вхід, так і на вихід регулятора) є фізично нереалізованими, так як мають містити ланки ідеального або реального диференціювання. 4) Розрахунок невиміряного параметру з проміжної точки або невиміряного вихідного параметру каскадної САР. Це класичне і актуальне застосування ЦД в САР реального часу. 5) Розрахунок параметрів ТОУ і компенсація дрейфу параметрів ТОУ (добовий; сезонний; віковий) в САП. Адаптація САР під розраховані параметричні збурення є класичним і актуальним застосуванням ЦД в САР реального часу.

З п'яти вказаних застосувань ЦД в промисловій автоматизації реально актуальні тільки три застосування, а саме 1), 4) і 5). Застосування 2) і 3) – неактуальні.

Застосування СШІ в промисловій автоматизації. Можна виділити всього три застосування СШІ (інакше – ІСУ) в промисловій автоматизації, які і перераховані далі. 1) ЕСУ і ЦД ТОУ в складі системи технічної діагностики (СТД) ТОУ. Реалізується режим поради з метою попереджувального обслуговування. Це класичний і актуальний

приклад сумісного використання ЦД і СШІ в автоматизації. 2) В САП як системи екстремального управління (СЕУ). СЕУ реалізують алгоритми градієнтного пошуку екстремальних значень техніко-економічних параметрів (ТЕП; ключових показників ефективності КПЕ). 3) В САП як системи автотюнінгу (САТ) регуляторів САР. САТ реалізують алгоритми автоматичного пошуку оптимальних параметрів регуляторів пробними діями на ОУ в розімкненій САР.

З трьох вказаних застосувань СШІ в промисловій автоматизації реально актуальні усі три застосування.

Результати і висновки. Всього, як вказано вище, актуальними є три застосування ЦД і три застосування СШІ в промисловій автоматизації (всього разом шість). Застосування 1-СШІ є сумісним з застосуванням 1-ЦД. Застосування 2-3-СШІ замінюють застосування 5-ЦД, як більш ефективні, бо є активною адаптацією, а не пасивною (як застосування 5-ЦД). Таким чином, залишаються актуальними одне застосування ЦД і три застосування СШІ (всього чотири) в промисловій автоматизації, зокрема в автоматизації інженерних систем.

Застосування ЦД/СШІ в автоматизації інженерних систем. Таким чином, можна виділити всього чотири застосування ЦД/СШІ в промисловій автоматизації, які і перераховані далі. 1) Розрахунок невиміряного параметру з проміжної точки або невиміряного вихідного параметру каскадної САР. Це класичне і актуальне застосування ЦД в САР реального часу. 2) ЕСУ з ЦД ТОУ в складі системи технічної діагностики (СТД) ТОУ. Реалізується режим порадики з метою попереджувального обслуговування. Це класичний і актуальний приклад сумісного використання ЦД і СШІ в автоматизації інженерних систем. 3) В САП як СЕУ. Реалізація СЕУ електропостачанням в сонячній електростанції (поворотом мобільної електростанції за сонцем) і у вітряній електростанції (позиціонуванням кута атаки лопастей вітряку). 4) В САП як САТ регуляторів САР. САТ реалізують алгоритми автоматичного пошуку оптимальних параметрів регуляторів температури в приміщеннях пробними діями на ОУ в розімкнених САР.

В автономних системах електропостачання і життєзабезпечення внутрішні збурення зі сторони регулюючого органу (РО) застабілізовані в процесі підготовки інженерних систем до автоматизації, тому вони виключені. Це означає, що в автономних автоматизованих інженерних системах використовуються виключно одноконтурні САР, а каскадні САР не використовуються (основна перевага каскадних САР над одноконтурними – кращий перехідний процес при збуреннях зі сторони РО – нівелюється принциповою відсутністю збурень зі сторони РО). Таким чином, в автоматизації автономних інженерних систем використовуються тільки три з перерахованих чотирьох застосувань ЦД/СШІ, а саме застосування 2), 3) і 4). Всі ці вказані три застосування ЦД/СШІ є застосуваннями СШІ. Застосування ЦД для технічної діагностики інженерних систем входить в застосування СШІ в якості ЕСУ, що є яскравим прикладом сумісного застосування ЦД і СШІ в автоматизації інженерних систем.

Резюме. Будь-яка класична промислова СТД ТОУ складається з ЦД ТОУ і ЕСУ. Будь-яка промислова СШІ є класичною ІСУ – або ЕСУ, або САП (= СЕУ+САТ). В певному сенсі, будь-яка САР є СШІ, так як використовує принцип зворотного зв'язку, який відомий в теорії автоматичного управління як принцип регулювання за відхиленням і є фундаментальним для замкнених САР, а в ШІ відомий як принцип МН із взірцем і є базовим для СМН.

Перелік посилань:

1. Батюк С.Г. Імітаційне моделювання і цифровий твінінг енергетичних кібер-фізичних систем (кібер-енергетичних систем) // Досягнення України та країн ЄС у сфері інновацій і винахідництва в галузі техніки : колективна монографія. С. 44–109. Рига, Латвія: Izdevniecība "Baltija Publishing", 2022. 544 с. 65 с.

¹ Бакалаврант 4 курсу Гажа М.В.

¹ Ст.викл. Ноженко К.Д.

<https://scholar.google.com/citations?user=yQ9frmAAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ХЛІБОПІЧКОЮ

Постановка проблеми та її актуальність. Автоматизована хлібопіч – це пристрій, який дозволяє повністю автоматизувати процес випікання хліба: від замішування тіста до готового продукту. Завдяки вбудованим програмам та датчикам, вона може самостійно визначати оптимальний режим випікання, контролювати температуру та час приготування, а також забезпечувати рівномірне пропікання виробу [1].

Необхідність автоматизованої хлібопічки обумовлена сучасними вимогами до швидкості та якості випічки. Традиційне випікання хліба потребує значного часу, контролю з боку людини та точного дотримання рецептури. Автоматизовані системи дозволяють мінімізувати людський фактор, що знижує ризик помилок у технологічному процесі та забезпечує стабільну якість продукції [3,4]. Вплив автоматизації на продуктивність і вартість товару:

1. Підвищення продуктивності: Завдяки автоматизації процес випікання стає швидшим і ефективнішим, що дозволяє виробникам збільшувати обсяги випуску без залучення додаткової робочої сили.

2. Оптимізація витрат: Автоматизовані печі дозволяють зменшити витрати на електроенергію та сировину через точний контроль процесу.

3. Зниження ціни товару: Масове виробництво із застосуванням автоматизації дозволяє зменшити собівартість продукції, що позитивно впливає на кінцеву ціну для споживачів. Таким чином, автоматизовані хлібопічки є важливим кроком у розвитку харчової промисловості, що дозволяє поєднувати високу якість продукції з економічною ефективністю виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження у сфері автоматизації хлібопекарського виробництва зосереджені на підвищенні якості продукції, зменшенні витрат ресурсів та оптимізації технологічних процесів [5].

Ці всі процеси пов'язані з вибором типу регулятора, та точним методом регулювання системи, також потрібно пам'ятати про правильність вибору датчиків і приладів регулювання, які з кожним днем стають все точніші і кращими, що впливає на точність регулювання.

Формулювання мети. Метою дослідження є визначення оптимального підходу до автоматизації хлібопекарського обладнання, що дозволить підвищити ефективність виробництва, забезпечити стабільну якість продукції та зменшити витрати на енергоресурси. У рамках дослідження розглядається структурна організація автоматизованої хлібопічки, аналізуються ключові технологічні секції та визначаються основні параметри, що потребують контролю та регулювання. Зокрема, дослідження зосереджено на наступних питаннях:

- Які секції доцільно виділити в структурі автоматизованої хлібопекарської системи?
- Які параметри необхідно контролювати на кожному технологічному етапі?
- Які типи регуляторів (П, ПІ, ПІД) є найбільш ефективними для кожного етапу технологічного процесу?
- Які діапазони параметрів є оптимальними для забезпечення якості кінцевого продукту?

- Які методи знаходження параметрів будуть краще підходити для автоматизації об'єкту?

Для досягнення поставленої мети передбачається дослідження автоматизованих систем контролю, що використовуються у сучасному хлібопекарському обладнанні, зокрема алгоритмів управління температурою, вологістю, швидкістю обертів та іншими технологічними параметрами.

Основна частина. Автоматизація хлібопекарського обладнання є ключовим фактором підвищення продуктивності та якості випічки. Сучасні автоматизовані хлібопічки використовують інтелектуальні системи керування, що забезпечують точний контроль параметрів на кожному етапі приготування. Автоматизована хлібопіч зазвичай поділяється на такі основні секції [3, 5]:

1. Зона дозування та змішування інгредієнтів – виконує автоматичний підбір та подачу інгредієнтів у відповідних пропорціях.

2. Зона замішування тіста – забезпечує рівномірне перемішування компонентів для досягнення необхідної структури тіста.

3. Зона ферментації (бродіння) – підтримує оптимальні умови для активації дріжджів та формування пористості тіста.

4. Зона формування виробів – надає заготівкам хліба необхідну форму перед випіканням.

5. Зона випікання – здійснює основний етап приготування хліба під контролем температури, вологості та часу.

6. Зона охолодження та упаковки – відповідає за поступове зниження температури випеченого виробу перед фасуванням. Контроль параметрів та регулювання : Кожна секція має свої ключові параметри, які контролюються за допомогою різних алгоритмів регулювання.

Таблиця 1 – Секції та основні параметри регулювання

Секція	Основні параметри	Тип регулятора	Діапазон параметрів	Основні параметри
Дозування інгредієнтів	Кількість борошна, води, дріжджів	П	$\pm 1 - 2 \%$ від норми	Кількість борошна, води, дріжджів
Замішування тіста	Швидкість обертів, час замішування	ПІ	50–300 об/хв, 3–10 хв	Швидкість обертів, час замішування
Ферментація	Температура, вологість, час	ПІД	25–40 °C, 60–85 % вологості	Температура, вологість, час
Випікання	Температура, швидкість обдуву, час випічки	ПІД	180–250 °C, 5–60 хв	Температура, швидкість обдуву, час випічки
Охолодження	Температура охолодження, швидкість вентиляторів	П	20–40 °C, 5–15 хв	Температура охолодження, швидкість вентиляторів

Типи регуляторів у системі автоматизації

- Пропорційний (П) регулятор – застосовується у простих процесах, наприклад, при дозуванні інгредієнтів, де точність не є критичною.

- Пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор – використовується для регулювання процесів з інерційністю, таких як змішування тіста чи ферментація.

- Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор – оптимальний для складних процесів, що вимагають точного контролю температури і вологості під час випікання.

Застосування ПІД-регуляторів у випікальній камері забезпечує рівномірне пропікання хліба, виключає перепади температури та гарантує стабільну якість готового виробу. Таким чином, впровадження автоматизованих систем контролю дозволяє досягти високого рівня точності та ефективності у виробництві хлібобулочних виробів [4].

Для ефективної автоматизації хлібопекарських процесів використовуються різні методи керування та оптимізації параметрів. Нижче наведено основні методи, які можуть бути застосовані для регулювання параметрів температури, вологості, швидкості обертання механізмів тощо.

1. Метод 20 % перерегулювання:

- Використовується для налаштування параметрів ПІД-регуляторів, коли допускається певний рівень перерегулювання (до 20 %) для досягнення швидкого виходу на необхідний режим роботи.

- Застосовується в секції випікання для точного регулювання температури в печі.

2. Метод симетричного оптимального налаштування:

- Використовується для налаштування ПІД-регуляторів із забезпеченням мінімального часу перехідного процесу та рівномірного регулювання параметрів.

- Ефективний для контролю температури та вологості в секції ферментації.

3. Метод критичного затухання (Ziegler–Nichols):

- Дозволяє налаштовувати ПІД-регулятори, забезпечуючи мінімальне коливання параметрів та швидкий вихід на стабільний режим.

- Використовується у процесах змішування тіста та ферментації.

4. Метод «м'якого запуску» (Soft Start):

- Застосовується для поступового збільшення потужності механізмів, що дозволяє зменшити навантаження на двигуни та знос обладнання.

- Використовується в секціях замішування тіста та формування заготовок.

5. Метод нечіткої логіки (Fuzzy Logic Control):

- Впровадження систем керування на основі нечіткої логіки для адаптивного регулювання параметрів залежно від умов процесу.

- Ефективний для керування температурою та вологістю в секціях ферментації та випікання.

Використання комбінації зазначених методів дозволяє створити високоефективну систему автоматизації хлібопекарського виробництва, що забезпечить стабільну якість продукції, зменшить витрати ресурсів та підвищить продуктивність процесів [2].

Висновки. Підсумовуючи, автоматизація хлібопекарського виробництва є ключовим фактором підвищення ефективності, якості та стабільності процесів. Поділ хлібопічки на функціональні секції (замішування, ферментація, випікання) дозволяє оптимально контролювати параметри кожного етапу за допомогою сучасних регуляторів (П, ПІ, ПІД). Використання адаптивних методів, таких як критичне затухання, прогнозує керування та нечітка логіка, забезпечує стабільність температури, вологості та швидкості механізмів. Завдяки цьому автоматизовані хлібопекарські системи сприяють зниженню витрат, підвищенню продуктивності та покращенню якості кінцевого продукту.

Перелік посилань:

1. ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ – Автоматизація хлібопекарського виробництва. 2024. URL: <https://harch.tech/> (дата звернення 04.03.2025).

2. Дослідження автоматизації процесу випічки хліба. 2024. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/> (дата звернення 04.03.2025).

3. Автоматизоване управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва. 2024. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/> (дата звернення 04.03.2025).

4. Автоматизація процесу хлібопечення та економія енергоресурсів. 2024. URL: <https://harch.tech/> (дата звернення 04.03.2025).

5. Festo – Автоматизація хлібопекарської промисловості. 2024. URL: <https://www.festo.com/> (дата звернення 04.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Галушка В.В.

¹ Доц., к.т.н. Бунь В.П.

<https://scholar.google.com/citations?user=U9Xoun4AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ KUBERNETES ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ КЕРУВАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРОЮ

Постановка проблеми та її актуальність

Швидка еволюція ІТ-інфраструктури та зростаюча складність керування контейнерними програмами створюють численні виклики, зокрема при управлінні великими кластерами, автоматизації процесів без масштабування та забезпеченні надійності в умовах високої динаміки. Традиційні методи розгортання не встигали за вимогами сучасного середовища, що призводило до простоїв, операційної неефективності та збільшення витрат на обслуговування. Впровадження Kubernetes вирішило ці проблеми, запропонувавши автоматизовану, масштабовану та стійку платформу оркестрації, що стала трансформаційним рішенням для ІТ-індустрії [1].

Аналіз останніх досліджень

Нещодавні дослідження та галузеві звіти підкреслюють, що Kubernetes змінив правила гри в управлінні хмарними програмами. У багатьох дослідженнях відзначається, що у порівнянні з іншими платформами, такими як Docker Swarm чи Apache Mesos, Kubernetes демонструє високу масштабованість, стійкість до збоїв та гнучкість впровадження [2]. Дослідники аналізують його вплив на DevOps-практики, наголошуючи на вдосконаленні безперервного розгортання, управління ресурсами та зниженні часу простоїв. Тематичні дослідження в академічних та професійних умовах підтверджують підвищення ефективності використання ресурсів у корпоративних додатках завдяки застосуванню Kubernetes.

Формулювання мети

Основна мета – дослідити, як створення Kubernetes змінило ІТ-індустрію шляхом вирішення критичних проблем, пов'язаних із керуванням контейнерами, масштабованістю розгортання та операційною стійкістю. Зокрема, мета звіту – вивчити інноваційні методи, застосовані в Kubernetes, які призвели до значних покращень у розподілі ресурсів і надійності сервісу. Оглядаючи еволюцію ІТ-інфраструктури та результати останніх досліджень, це дослідження має на меті надати повний огляд внеску Kubernetes, а також окреслити напрямки для подальших вдосконалень і модифікацій.

Основна частина

Kubernetes виник як платформа з відкритим кодом для оркестрації, що дозволяє автоматизувати розгортання, масштабування та управління контейнеризованими додатками. Його архітектура побудована навколо ключових компонентів: API-серверу, планувальника, менеджера контролерів та сховища даних etcd. API-сервер приймає запити та забезпечує централізоване управління кластером, а планувальник аналізує доступні ресурси і визначає, на яких вузлах запускати контейнери, враховуючи їх навантаження та потреби. Менеджер контролерів відповідає за підтримання бажаного стану кластеру шляхом моніторингу запущених сервісів і автоматичного відновлення у випадку збоїв. Etcd забезпечує надійне зберігання та синхронізацію даних між усіма компонентами кластера, що гарантує узгодженість інформації навіть під час розділення мережі або збоєм вузлів [3].

Завдяки модульності та можливості розширення платформа безперешкодно інтегрується з різними хмарними провайдерами та сторонніми інструментами, сприяючи створенню активної екосистеми плагінів та доповнень. Ранні підходи до управління

контейнерами, хоч і були інноваційними, часто вимагали ручного втручання і не забезпечували автоматичного масштабування. Kubernetes ввів декларативну конфігурацію та можливості самовідновлення, що дозволяють системі автоматично замінювати невдалі контейнери та коригувати розподіл ресурсів у режимі реального часу. Такий підхід приніс значну економію коштів, підвищення надійності сервісів та зниження витрат на моніторинг і налаштування ресурсів.

Спрощена схема архітектури Kubernetes (див. рис. 1) наочно демонструє, як взаємодіють між собою основні компоненти системи. Планувальник і менеджер контролерів виконують різні, але доповнюючі функції: перший відповідає за розподіл робочих навантажень за ресурсами, тоді як другий постійно стежить за станом кластеру та забезпечує його відновлення до бажаного стану. Ця архітектура дозволяє Kubernetes ефективно управляти мільйонами контейнерів, автоматизуючи рутинні операції та забезпечуючи масштабування в режимі реального часу [4].

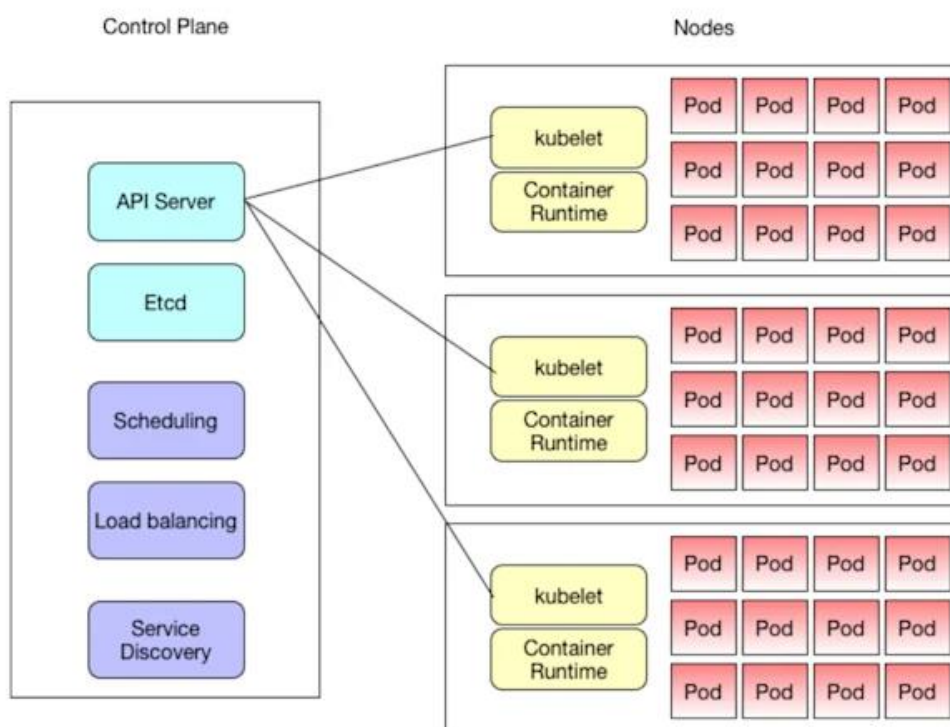


Рисунок 1 – Спрощена схема архітектури Kubernetes

Подальший розвиток у цій галузі підкреслив, як Kubernetes переосмислив інфраструктуру хмарних обчислень, спрощуючи складні процеси, такі як автоматичне масштабування та виявлення сервісів. Оснащена передовими методами оркестрації, платформа тепер підтримує гібридні та мультихмарні розгортання з безпрецедентною гнучкістю, що дозволяє організаціям ефективно адаптуватися до змінного попиту. Завдяки переходу від монолітних систем до архітектур мікросервісів, розробники можуть розгортати, оновлювати та управляти додатками як окремими, незалежно масштабованими сервісами. Ця еволюція не лише прискорила цикли інновацій, але й суттєво зменшила час простоїв та знизилла витрати на управління інфраструктурою.

Здатність платформи абстрагувати апаратне забезпечення дозволила організаціям краще оптимізувати використання ресурсів, що сприяє швидкому реагуванню на змінні вимоги ринку. Постійні покращення в галузі безпеки, спостережуваності та продуктивності, завдяки активним внескам спільноти та безперервним дослідницьким зусиллям, закріпили її роль як ключового елементу сучасних ІТ-операцій. Крім того, практичні кейси використання Kubernetes у різних галузях демонструють його здатність оптимізувати робочі процеси та забезпечувати високий рівень сервісу.

Висновки

Kubernetes докорінно змінив IT-індустрію, вирішивши давні проблеми, пов'язані з оркестрацією контейнерів і масштабованістю розгортання. Його інноваційний автоматизований підхід призвів до більш надійної та ефективної IT-інфраструктури, що дозволяє швидко адаптуватися до динамічних вимог сучасних додатків. Очікується, що подальші інновації у сфері Kubernetes стимулюватимуть розвиток нових технологій у таких галузях, як штучний інтелект та інтернет речей (IoT), що закріпить його роль як наріжного каменю сучасних IT-операцій.

Перелік посилань:

1. Overview Kubernetes. 11.09.2024 URL: <https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/> (дата звернення 25.02.2025).
2. Romaric Philogène. How Kubernetes Drastically Changed The Face Of The Cloud. URL: <https://www.qovery.com/blog/how-kubernetes-drastically-changed-the-face-of-the-cloud/> (дата звернення 25.02.2025).
3. etcd Frequently asked questions. URL: <https://etcd.io/docs/v3.5/faq/> (дата звернення 25.02.2025).
4. Robert Davies. Why Kubernetes Changes Everything! URL: <https://www.cloudbees.com/blog/why-kubernetes-changes-everything> (дата звернення 25.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Гуменюк В.В.

¹ Доц., к.т.н. Бунь В.П.

<https://scholar.google.com/citations?user=U9Xoun4AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ 3D-ДРУКАРСЬКИХ ФЕРМ

Вступ. Сучасні технології 3D-друку мають значний вплив на різні сфери промисловості, включаючи військову, медичну, виробничу та логістичну. В умовах ведення війни проти росії 3D-друк став ключовою технологією для забезпечення безперебійного виготовлення необхідних деталей, зокрема компонентів для безпілотних літальних апаратів (БПЛА), запасних частин військової техніки, медичних інструментів та засобів захисту. Головними перевагами адитивного виробництва є швидкість, економічність та гнучкість, що робить його особливо привабливим у контексті динамічних військових потреб.

Однак традиційні методи використання 3D-принтерів, що базуються на ручному управлінні та моніторингу процесів, мають значні обмеження. Вони вимагають постійного залучення операторів для зміни матеріалів, контролю якості та обслуговування обладнання. Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) дозволяє автоматизувати процеси 3D-друку, забезпечуючи ефективність, масштабованість та зменшення залежності від людського фактору.

Значення автоматизованих 3D-друкарських ферм. Традиційні підходи до виробництва включають волонтерські ініціативи, такі як «ДрукАрмія» [1], які розподіляють завдання між незалежними друкарями. Хоча ця модель є ефективною в умовах дефіциту централізованих виробничих потужностей, вона має обмеження, зокрема людський фактор. Люди не можуть працювати цілодобово, їм необхідно змінювати котушки з матеріалом, видаляти надруковані деталі, контролювати якість продукції тощо. Автоматизовані 3D-друкарські ферми, інтегровані з IoT-рішеннями, вирішують ці проблеми, забезпечуючи безперервний виробничий процес [2].

Основні параметри, що контролюються в автоматизованих системах. Автоматизовані системи 3D-друку [3] здатні самостійно відстежувати та регулювати ключові параметри, які впливають на якість друку та працездатність обладнання:

1. Контроль температури сопла та платформи. Нагрівання сопла та друкарського столу є критичним параметром, що безпосередньо впливає на якість друку. Якщо температурні показники виходять за межі допустимих значень, система автоматично повідомляє оператора або зупиняє друк, що дозволяє запобігти витратам матеріалу та пошкодженню деталей.

2. Моніторинг стану ременів та механічних компонентів. З часом ремені, що забезпечують рух друкуючої головки, можуть розтягуватися, що призводить до погіршення точності друку. Виявлення механічних дефектів можна здійснити за допомогою тривісного акселерометра ADXL345, який фіксує вібрації під час друку. Аналіз отриманих даних дозволяє виявити зміни у динаміці роботи механізмів та вчасно здійснювати їх заміну або коригування.

3. Автоматичний контроль адгезії друкарського столу. У звичайних умовах оператор має постійно стежити за адгезією деталей до столу та періодично наносити адгезивні речовини. Проте сучасні технології дозволяють друкувати без використання адгезиву завдяки застосуванню спеціальних поверхонь та змінних друкарських платформ.

4. Автоматизоване очищення друкарської поверхні [4, 5]. Традиційний процес потребує втручання людини для видалення готових виробів зі столу. Автоматизовані

системи можуть використовувати кілька методів очищення:

- Пересувні друкарські столи: після завершення друку деталь переміщується на вільну поверхню, що дозволяє почати наступний цикл без людського втручання.
- Використання роботизованих маніпуляторів: механічні маніпулятори можуть видаляти готові вироби та складати їх у відповідні контейнери.
- Збивання деталей друкарською головкою: якщо деталь має невелику площу контакту з платформою, принтер може використовувати друкарську головку для відділення її від столу.

5. Візуальний контроль процесу друку. Використання камер та алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє автоматично виявляти дефекти друку. В разі помилки система може негайно зупинити процес і повідомити оператора, запобігаючи втраті матеріалу.

Інші завдання, що вирішує автоматизація 3D-друку. Системи автоматизації 3D-друку здатні динамічно розподіляти завдання між доступними принтерами, враховуючи поточний статус кожного пристрою, наявність відповідних матеріалів, бажані параметри друку, зокрема швидкість, якість і міцність виробу, а також пріоритетність завдань і необхідний час виготовлення. Це дозволяє значно підвищити продуктивність та оптимізувати використання обладнання.

Автоматизовані системи контролю якості відстежують якість продукції, аналізують статистичні дані та ідентифікують принтери, які демонструють вищий відсоток браку. Це дає змогу своєчасно виявляти несправності та проводити обслуговування обладнання, мінімізуючи виробничі втрати.

Інтеграція IoT-рішень у сфері 3D-друку з іншими автоматизованими виробничими системами сприяє підвищенню ефективності всього виробничого процесу. Системи управління запасами допомагають оптимізувати використання матеріалів і запобігати їх нестачі, ERP-системи забезпечують комплексне управління виробництвом, а логістичні платформи мінімізують витрати на транспортування готової продукції завдяки інтеграції з транспортною інфраструктурою.

Однак із зростанням ролі 3D-друку в IoT-інфраструктурі виникають нові виклики, зокрема питання кібербезпеки. Захист даних, запобігання несанкціонованому доступу та контроль розподілу цифрових моделей є критично важливими для безпечного та стабільного функціонування таких систем.

Висновки. Автоматизація 3D-друкарських ферм на базі технологій Інтернету речей дозволяє значно підвищити ефективність виробництва, зменшити залежність від людського фактору та забезпечити високу якість продукції. Інтеграція таких систем з іншими виробничими рішеннями відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів, що є важливим фактором у сучасних реаліях військових та промислових застосувань.

Перелік посилань:

1. Про ДрукАрмію. URL: <https://drukarmy.org.ua/ua/about-us> (дата звернення 25.02.2025).
2. How to Improve 3D Printing Operations with IoT. URL: <https://www.iotforall.com/how-to-improve-3d-printing-operations-with-iot> (дата звернення 24.02.2025).
3. AutoFarm: A Single Tool for Managing an Entire 3D Printing Farm URL: <https://3dprint.com/295530/autofarm-a-single-tool-for-managing-an-entire-3d-printing-farm> (дата звернення 25.02.2025).
4. Continuous 3D Printing: What Are the Solutions on the Market? URL: <https://www.3dnatives.com/en/continuous-3d-printing-140120204/> (дата звернення 24.02.2025).
5. 12 Automatic 3D Printer Projects URL: <https://bitfab.io/blog/automatic-3d-printer/> (дата звернення 25.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Зборівський О.В.

¹ Ст.викл. Штіфзон О.Й.

<https://scholar.google.com/citations?user=WB12UuMAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ОФІСНОГО ПРИМІЩЕННЯ

Забезпечення комфортного мікроклімату в офісних приміщеннях є однією з ключових умов продуктивної роботи персоналу. Температурний режим, рівень вологості та якість повітря безпосередньо впливають на працездатність, самопочуття та здоров'я співробітників. Проте традиційні системи клімат-контролю часто працюють за статичними алгоритмами, не враховуючи змінні фактори, такі як присутність людей, погодні умови, тепловиділення від електроніки тощо. Крім того, зростаюча увага до енергоефективності та екологічної стійкості вимагає оптимізації використання ресурсів, що особливо актуально в умовах підвищення тарифів на енергоносії.

Однією з основних проблем є неефективне використання енергоресурсів. У нічний час, коли приміщення порожнє, підтримання однакового рівня температури призводить до зайвих витрат енергії. Натомість різке нагрівання приміщення перед початком робочого дня може спричинити нерівномірний розподіл тепла та неефективну роботу системи. Таким чином, постає необхідність розробки адаптивного алгоритму керування мікрокліматом, який дозволить автоматично змінювати параметри системи залежно від умов експлуатації. Окрім економічної доцільності, важливо також враховувати вплив клімат-контролю на здоров'я працівників, оскільки різкі перепади температури можуть викликати дискомфорт, зниження концентрації та навіть захворювання.

Розробка автоматизованих систем керування мікрокліматом є предметом багатьох наукових досліджень. Відомо, що використання адаптивних методів регулювання дозволяє покращити ефективність роботи систем шляхом динамічного коригування параметрів. Зокрема, досліджувались методи прогнозування змін температури та вологості, використання IoT-технологій для збору даних у режимі реального часу, а також алгоритми машинного навчання для самоналаштування системи. Крім цього, науковці активно вивчають вплив різних режимів регулювання на загальну ефективність систем клімат-контролю та їхню здатність до самонавчання на основі накопичених даних.

Одним із підходів є використання перехідного процесу для оцінки характеристик системи та адаптації регулятора. Це дозволяє не лише забезпечити плавний перехід між різними режимами роботи, але й зменшити енергоспоживання без втрати комфорту. Дослідження також підтверджують, що використання змінного режиму роботи системи дає можливість зменшити навантаження на обладнання, що продовжує термін його експлуатації та зменшує витрати на обслуговування.

Метою дослідження є розробка алгоритму адаптивного керування мікрокліматом офісного приміщення, який базується на аналізі перехідного процесу при зміні режимів роботи. Запропонований підхід передбачає зниження температури вночі для економії енергії та поступове нагрівання перед початком робочого дня. Аналізуючи характеристики перехідного процесу, система автоматично коригуватиме параметри налаштування регулятора, що дозволить підвищити ефективність роботи кліматичної системи. Важливим аспектом дослідження є визначення оптимальних часових параметрів переходу між режимами, а також врахування зовнішніх факторів, таких як сезонні зміни температури та індивідуальні вимоги користувачів.

Запропонований алгоритм керування мікрокліматом передбачає перехід між нічним та денним режимами. Вночі температура знижується для зменшення енергоспоживання, а перед початком робочого дня система активує режим нагріву. Сам процес прогрівання виступає як тестове збурення, що дозволяє зняти перехідну характеристику системи та використати її для уточнення параметрів регулятора.



Рисунок 1 – Графік зміни температури за день

Аналізуючи перехідний процес, можна визначити такі параметри, як швидкість нагріву, інерційність системи, час досягнення заданої температури та динаміку змін. Отримані дані використовуються для автоматичного коригування налаштувань регулятора, що дозволяє адаптувати систему до змінних умов експлуатації. Такий метод має низку переваг. По-перше, він дозволяє зменшити споживання енергії в неробочий час без втрати комфорту. По-друге, забезпечується плавний та прогнозований перехід між режимами роботи, що покращує стабільність системи. По-третє, система автоматично адаптується до змінних умов, зменшуючи необхідність втручання людини. Крім того, використання алгоритмів машинного навчання та IoT-технологій дозволяє підвищити точність регулювання, прогнозуючи майбутні зміни температурного режиму.

На мою думку, використання перехідних процесів як інструменту адаптації системи керування мікрокліматом є перспективним підходом. Це дозволяє значно покращити ефективність роботи кліматичних систем, мінімізувати втрати енергії та підвищити рівень комфорту в приміщенні.

Висновки.

Було розглянуто шляхи підвищення ефективності використання енергоресурсів у традиційних системах клімат-контролю та запропоновано адаптивний алгоритм керування мікрокліматом офісного приміщення.

Запропонований підхід, що базується на використанні перехідних процесів для налаштування регулятора, що дозволяє підвищити точність регулювання та мінімізувати втрати енергії. Використання нічного режиму та тестового збурення під час прогріву дозволяє автоматично адаптувати систему до змінних умов експлуатації.

Перелік посилань:

1. Мина І.В., Яцишин С.І. Огляд інформаційних технологій управління енергоспоживанням систем розумного будинку. URL: <https://conf.nltu.edu.ua/index.php/nltu150/article/download/163/107> (дата звернення 03.03.2025).

2. Мельник В.І., Кузьо Ю.В. Моделі адаптивної системи розумного будинку на базі мереж Інтернету речей. URL: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/download/2660/2666/> (дата звернення 03.03.2025).

3. Владислав Фецак. Математичні моделі адаптивного керування мікрокліматом у розумних будівлях. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/48115/1/Vladyslav_Fetsak.pdf (дата звернення 03.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Ігнатенко В.О.

¹ Асист. Богза М.С.

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ БУДІВЛІ В СИСТЕМАХ ОВІК

Постановка проблеми та її актуальність. Забезпечення теплового комфорту мешканців будівель за мінімального енергоспоживання є важливим завданням у контексті екологічних викликів і зростання цін на енергоносії. Традиційні системи HVAC часто працюють неефективно, оскільки не враховують змінні фактори, як-от погодні умови, рівень зайнятості приміщень і уподобання користувачів. Методи машинного навчання дають змогу створювати прогнозні моделі, які динамічно адаптують роботу цих систем, підвищуючи енергоефективність і комфорт [1].

Аналіз останніх досліджень. Попри розвиток штучного інтелекту в керуванні енергоспоживанням, багато рішень мають обмеження. Вони не враховують змінні параметри довкілля та поведінку користувачів, використовують статичні алгоритми замість адаптивних прогнозних моделей і не дають змоги точно передбачати тепловий комфорт і навантаження.

Формулювання мети. Метою дослідження є розробка та оцінка моделей машинного навчання для прогнозування теплового комфорту та навантаження в будівлях. Це дасть змогу оптимізувати роботу HVAC, зменшити енергоспоживання та підвищити комфорт мешканців [2]. Для цього використовувалися алгоритми, які аналізують температуру, вологість, швидкість повітря та інші параметри довкілля [3].

Основна частина. Дані для моделювання збиралися мережею IoT-датчиків у розумній будівлі. Для прогнозування тестувалися різні алгоритми, зокрема SVM, штучні нейронні мережі (MLP), Random Forest і XGBoost. SVM використовував гаусові та поліноміальні ядра для моделювання залежностей між мікрокліматом і тепловим комфортом. Нейронні мережі навчалися методом зворотного поширення помилки з функціями активації ReLU і Tanh. Random Forest аналізував вплив різних факторів, застосовуючи ансамбль дерев рішень. XGBoost забезпечує найвищу стійкість до аномальних даних і кращу узагальнювальну здатність [4].

Для ефективного прогнозування теплового режиму будівлі в системах ОВіК критично важливим є якісний збір даних [2]. У дослідженні дані для навчання моделей отримувалися за допомогою мережі Raspberry Pi, яка була оснащена сенсорами для вимірювання ключових параметрів мікроклімату. До основних зібраних показників належали температура повітря, відносна вологість, рівень CO₂ та швидкість повітряного потоку, що дозволяє більш точно оцінювати тепловий комфорт приміщення. Додатково враховувалась інформація про зайнятість приміщень, що дозволяло коригувати роботу HVAC-систем залежно від реального використання будівлі. Такий підхід підкреслює важливість комплексного збору даних, оскільки широкий набір параметрів забезпечує більш точне прогнозування та адаптивне управління кліматичними системами будівель.

Було розглянуто різні набори вхідних параметрів для моделей, включаючи метеорологічні дані, параметри будівлі та інформацію про внутрішню діяльність. Результати показали, що включення більшої кількості релевантних змінних покращує точність прогнозування теплового навантаження, що підкреслює важливість ретельного вибору вхідних параметрів для моделей машинного навчання в контексті енергетичної оптимізації будівель [1].

Оцінка ефективності алгоритмів проводилася за допомогою статистичних метрик, таких як Root Mean Square Error (RMSE), Mean Square Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE) та коефіцієнт детермінації (R^2) [5].

Результати показали, що алгоритми RF та XGBOOST продемонстрували найкращу точність у прогнозуванні значень Predicted Mean Vote (PMV), досягаючи R^2 96,7 % та 96,4 % відповідно, тоді як SVM показав R^2 81,1 % [4].

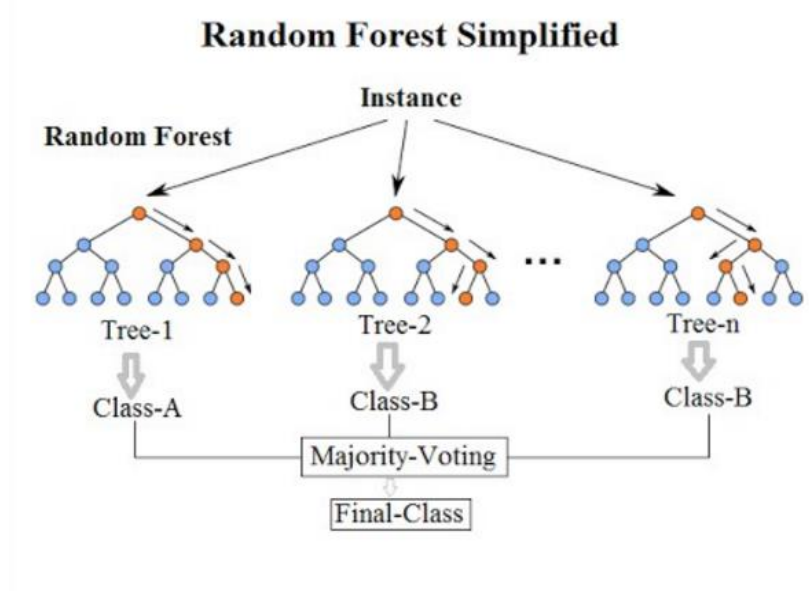


Рисунок 1 – Просте пояснення роботи Random Forest

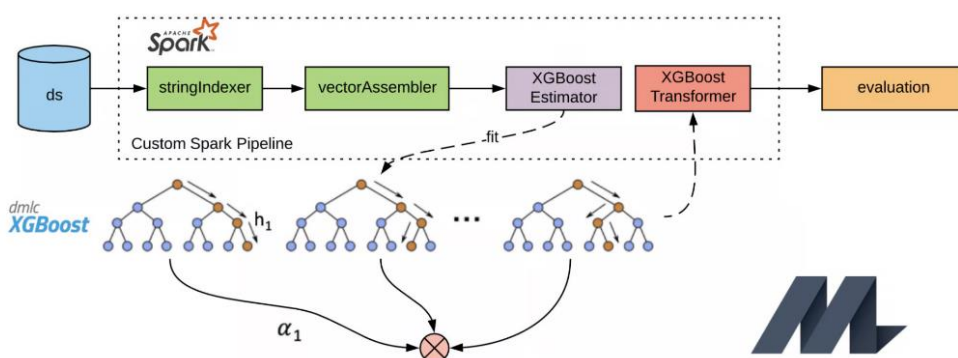


Рисунок 2 – XGBoost для навчання моделей глибокого дерева

Наукова новизна дослідження полягає у порівнянні підходів машинного навчання для оптимізації енергоспоживання та комфорту в будівлях. Отримані закономірності та прогностичні моделі можуть бути використані для створення інтелектуальних систем управління, які адаптуються до змінних умов [1].

Висновки. Інтеграція машинного навчання в системи управління HVAC у розумних будівлях відкриває значні можливості для підвищення енергоефективності. У дослідженні було встановлено, що використання алгоритмів машинного навчання для автоматичного регулювання роботи кліматичних систем дозволяє скоротити енергоспоживання на 20–30 %, що є суттєвим показником з точки зору як економії ресурсів, так і зменшення екологічного навантаження. Основна перевага таких підходів полягає в тому, що моделі здатні динамічно адаптувати роботу систем HVAC до змінних умов, таких як температурні коливання, рівень вологості, присутність людей у приміщенні та навіть прогноз погоди. Це

дозволяє не лише забезпечити оптимальний рівень теплового комфорту, а й мінімізувати зайві витрати енергії. В умовах зростаючих цін на енергоносії та необхідності зменшення вуглецевого сліду, такі рішення стають не просто корисними, а критично важливими для сучасного будівництва та управління будівлями. Реалізація цих моделей у реальних умовах може стати стандартною практикою для енергоефективного проектування та експлуатації будівель у майбутньому.

Перелік посилань:

1. Youssef Boutahri Machine learning-based predictive model for thermal comfort and energy optimization in smart buildings URL:https://www.researchgate.net/publication/379942692_Machine_learning-based_predictive_model_for_thermal_comfort_and_energy_optimization_in_smart_buildings (дата звернення 03.03.2025).
2. Yongbao Chen Machine Learning Approach to Predict Building Thermal Load Considering Feature Variable Dimensions: An Office Building Case Study URL:<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/2/312> (дата звернення 03.03.2025).
3. Frontczak M., Wargocki P., Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments, Build. Environ. URL:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021> (дата звернення 03.03.2025).
4. Get Started with XGBoost. URL:https://xgboost.readthedocs.io/en/latest/get_started.html (дата звернення 03.03.2025).
5. Commercial Prototype Building Models. URL:https://www.energycodes.gov/development/commercial/prototype_models (дата звернення 03.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Калінець І.С.¹ Ст.викл. Грудзинський Ю.Є.<https://scholar.google.com/citations?user=w83w6ZwAAAAJ>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ОФІСНОГО ПРИМІЩЕННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Комфортний мікроклімат у приміщенні суттєво впливає на продуктивність праці та самопочуття людей. Офісні вентиляційні системи часто працюють у фіксованих режимах, не враховуючи зміну температури, вологості, концентрації CO₂ та кількості працівників. Це може призвести до неефективного повітрообміну, підвищеного енергоспоживання та дискомфорту. Автоматизація вентиляційних систем оптимізує повітрообмін, зменшує витрати електроенергії та підтримує стабільний мікроклімат. Крім того, вона запобігає швидкому зносу обладнання та зменшує потребу в технічному обслуговуванні, покращуючи керованість системою.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження підтверджують, що автоматизовані вентиляційні системи знижують енергоспоживання та покращують якість повітря. Використання IoT, адаптивних алгоритмів і ПЛК дозволяє зменшити витрати енергії на 20-30 % у порівнянні з традиційними методами. Також доведено, що інтеграція сенсорів для контролю CO₂ і вологості позитивно впливає на здоров'я працівників, сприяючи зниженню ризику захворювань.

Формулювання мети. Головною метою цього дослідження є розробка автоматизованої вентиляційної системи для офісних приміщень, що сприятиме енергоефективності, забезпеченню оптимального мікроклімату та можливості дистанційного керування.

Основна частина. Автоматизована система вентиляції працює на основі збору даних з датчиків, їх обробки та регулювання режиму роботи обладнання. Основні етапи: Моніторинг повітря – датчики фіксують рівень CO₂, вологість, температуру, кількість людей у приміщенні. Обробка даних – інформація надходить до ПЛК та порівнюється з оптимальними параметрами. Прийняття рішень – система змінює швидкість подачі повітря, активує чи вимикає вентилятори, регулює клапани. Моніторинг і дистанційне керування – адміністратор контролює роботу через SCADA-систему або веб-інтерфейс. Система захисту – у разі перевищення критичних значень активується сигналізація або змінюється режим вентиляції. Такий підхід забезпечує адаптивність системи до реальних умов експлуатації.

Розрахунок необхідного обсягу повітря:

$$Q = n \times V \times k, \quad (1)$$

де:

Q – необхідний обсяг повітря; n – кількість людей у приміщенні; V – об'єм приміщення; k – коефіцієнт обміну повітря.

Розрахунок втрат тепла через вентиляцію:

$$Q_{\text{втр}} = 0.33 \times Q \times (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}). \quad (2)$$

Ці втрати компенсуються за рахунок інтеграції рекуператорів тепла у вентиляційну систему.

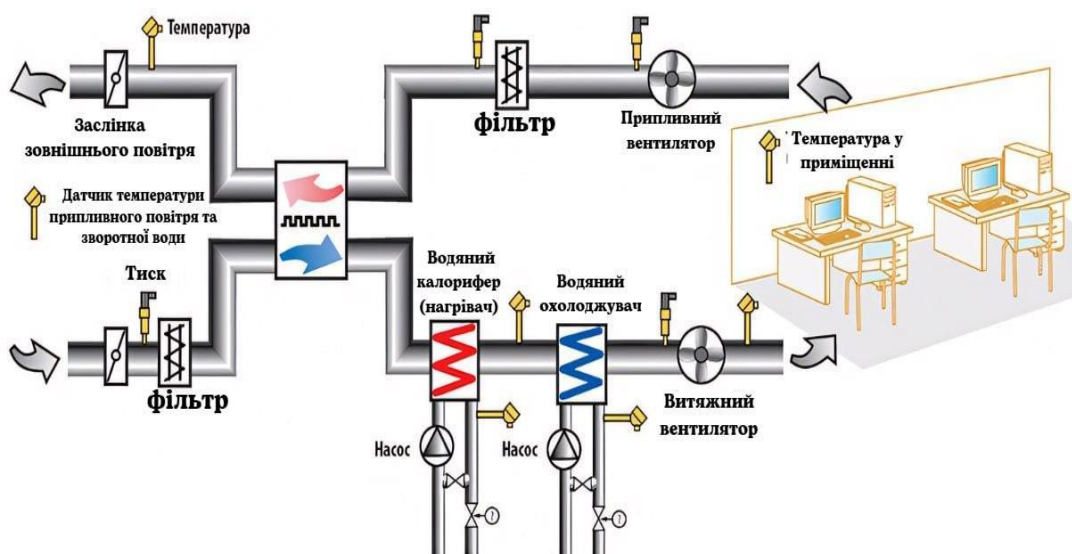


Рисунок 1 – Схема роботи автоматизованої вентиляційної системи з регулюванням температури та контролем якості повітря

Таблиця 1 – Порівняння ефективності до та після автоматизації

Параметр	До автоматизації	Після автоматизації
Середня концентрація CO ₂ (ppm)	1200	600
Споживання електроенергії (кВт·год)	2500	1875
Температурні коливання (°C)	±3	±1
Витрати на експлуатацію (%)	100	75

Автоматизована система вентиляції значно покращує мікроклімат і енергоефективність. Концентрація CO₂ знижується з 1200 ppm до 600 ppm, що позитивно впливає на здоров'я та продуктивність працівників. Адаптивне керування вентиляторами скорочує споживання електроенергії на 25 % (з 2500 до 1875 кВт·год), а температурні коливання зменшуються з ±3 °C до ±1 °C, підвищуючи комфорт. Автоматизація також знижує експлуатаційні витрати та продовжує термін служби обладнання завдяки оптимальному режиму роботи.

Висновки. Автоматизація вентиляційної системи є ефективним рішенням для підвищення енергоефективності будівлі, покращення умов праці та зниження експлуатаційних витрат. Використання ПЛК і датчиків дозволяє динамічно адаптувати режими вентиляції відповідно до змін у приміщенні, що підвищує її ефективність. Додатково, впровадження рекуператорів зменшує тепловтрати, що особливо важливо для холодного клімату. У результаті система сприяє економії ресурсів, стабілізації мікроклімату та підвищенню продуктивності праці.

Перелік посилань:

1. VENTS: Визначення необхідного обсягу повітря. URL: <https://vents.ua/opredelenie-neobhodimosti-vozduhoobmena/> (дата звернення 27.02.2025).
2. Slonoblock: Розрахунок тепловтрат. URL: https://slonoblock.com/2021/01/15/calculation_of_thermal_losses/ (дата звернення 27.02.2025).
3. Bilux: Тепловиділення в приміщенні. URL: <https://bilux.ua/calculation-heat-loss-private-house-ukr/> (дата звернення 27.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Козурак Т.С.

¹ Ст.викл. Любицький С.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=I8v3R-oAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ У ФАРБУВАЛЬНІЙ КАМЕРІ ДЛЯ АВТОМОБІЛІВ

Постановка проблеми та її актуальність. Фарбувальний процес автомобілів включає кілька етапів покриття, кожен з яких вимагає точного контролю параметрів навколишнього середовища. Вплив температури, вологості та аеродинамічних характеристик на якість фарбового покриття широко досліджується та є важливим аспектом для забезпечення високої якості кінцевого результату. Зокрема, температура впливає на в'язкість фарби, що безпосередньо визначає рівномірність покриття, а також швидкість висихання. Волога в повітрі може призвести до утворення плям та дефектів на поверхні, що погіршує естетичні та захисні властивості фарби. Крім того, аеродинамічні характеристики, зокрема напрямок та швидкість повітряного потоку в приміщенні, можуть впливати на рівномірність нанесення покриття та усунення надлишкових часток фарби. Тому для досягнення бажаного результату необхідно постійно контролювати і коригувати умови в фарбувальній камері, що потребує використання сучасних систем автоматизації.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження у сфері автоматичного регулювання мікроклімату у фарбувальних камерах для автомобілів зосереджені на підвищенні якості покриття, зниженні енергоспоживання та покращенні екологічних характеристик [3]. Впровадження інтелектуальних мікропроцесорних систем та датчиків контролю вологості й температури дозволяє точно налаштовувати параметри середовища, що забезпечує рівномірне нанесення фарби та зменшує витрати матеріалів. Оптимізація вентиляції сприяє усуненню забруднень та покращенню безпеки роботи, а математичне моделювання допомагає прогнозувати зміну мікрокліматичних умов та розробляти ефективні алгоритми керування[2]. Використання сучасних автоматизованих систем у фарбувальних камерах значно підвищує ефективність процесів і якість кінцевого результату в автомобільній промисловості.

Формулювання мети. Дослідження спрямоване на аналіз алгоритмів управління систем автоматичного регулювання параметрів мікроклімату в фарбувальній камері для автомобілів, що враховують специфіку лакофарбових матеріалів, характеристики поверхонь, які фарбуються, та виробничі умови з метою формування адаптивної системи, здатної автоматично коригувати параметри мікроклімату відповідно до різних технологічних завдань та зовнішніх факторів впливу на процес фарбування для забезпечення підтримки оптимальних показників температури, вологості, швидкості повітряних потоків та концентрації пилу задля отримання високоякісного покриття, мінімізації дефектів фарбування, скорочення енергетичних витрат та покращення екологічних показників виробничого процесу.

Основна частина. Фарбувальна камера працює у двох основних режимах: нанесення покриття та сушки. У режимі нанесення покриття повітря безперервно оновлюється через припливні та витяжні канали. Воно надходить через відкритий клапан, проходить попередню фільтрацію та, за необхідності, нагрівається до 20–21°C, після чого подається в робочу зону. Забруднене фарбою повітря витягується через підлоговий фільтр у витяжний канал. У режимі сушки витяжний вентилятор вимикається, а повітря циркулює всередині камери. Припливний клапан залишається частково відкритим, забезпечуючи подачу 10 % свіжого повітря. Температура підтримується в межах 40–60 °C. У режимі

нанесення покриття всередині камери створюється невеликий надлишковий тиск, що запобігає проникненню пилу та інших забруднень.
Температурне регулювання описується передавальною функцією:

$$G_T(s) = \frac{K_B \cdot K_S}{(1+T_B s)(1+T_S s)}, \quad (1)$$

де K_B , T_B – динамічні параметри пальника, K_S , T_S – параметри конструкції камери. Динаміка температури залежить від теплової потужності пальника, об'єму та температури припливного повітря. [1] У типовій камері об'єм повітря становить 20 000 – 30 000 м³/год, а потужність пальника – 200–300 кВт. Використання систем рекуперації тепла дозволяє знизити енергоспоживання, проте їх ефективність зменшується через накопичення фарби. Надлишковий тиск регулюється за передавальною функцією:

$$G_P(s) = \frac{K_F \cdot K_A}{(1+T_F s)(1+T_A s)}, \quad (2)$$

де K_F , T_F – параметри вентилятора, K_A , T_A – параметри повітроводів. Динаміка змінюється через засмічення фільтрів, що впливає і на температурний режим [1].

Система управління складається з рівня введення/виведення (датчики температури, тиску, пальник, вентилятори, клапани), рівня прямого цифрового керування (PLC) та рівня супервізорного керування (комп'ютерний моніторинг). Обмін даними відбувається через Modbus RTU (RS-485). Стандартна система регулювання температури містить один датчик, проте експериментальна версія має шість: зовні, у припливному та витяжному каналах і три в камері. Контроль тиску здійснюється одним датчиком, а вентилятори регулюються частотними перетворювачами. Така структура дозволяє легко змінювати апаратну конфігурацію та тестувати різні алгоритми управління.

Висновки. Автоматизовані системи регулювання мікроклімату у фарбувальних камерах відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності фарбувального процесу, підвищенні якості покриття та зменшенні енергоспоживання. Використання інтелектуальних алгоритмів управління температурою, вологістю та вентиляцією дозволяє оптимізувати параметри середовища в реальному часі, що сприяє зменшенню дефектів покриття та підвищенню ефективності виробництва. Подальші наукові розробки повинні зосереджуватися на інтеграції штучного інтелекту та технологій машинного навчання для адаптивного регулювання параметрів фарбувальних камер, що дозволить досягти ще більшої точності та гнучкості в управлінні процесами, одночасно знижуючи екологічний вплив та енергетичні витрати.

Перелік посилань:

1. Sławomir JASZCZAK, Piotr NIKOŃCZUK A model of the refinishing spray booth as a plant of automatic control URL: <https://bibliotekanauki.pl/articles/114032.pdf> (дата звернення 22.02.2025).
2. Alessandro Giampieri Low-grade Heat Recovery for Sustainable Automotive Manufacturing URL: <http://theses.ncl.ac.uk/jspui/bitstream/10443/5412/1/GiampieriA2021.pdf> (дата звернення 19.02.2025).
3. Giampieri A., Ling-Chin J., Ma Z., Smallbone A., Roskilly A.P. A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective URL: https://app.scholarai.io/paper?paper_id=DOI:10.3390/coatings6020024&original_url=https%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F2079-6412%2F6%2F2%2F24 (дата звернення 16.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Корнійчик І.Ю.

¹ Доц., к.т.н. Бунке О.С.

<https://scholar.google.com/citations?user=l0I2Mk0AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ЗЕЛЕНІ

Постановка проблеми та її актуальність

Забезпечення оптимального мікроклімату у теплицях є критично важливим для стабільного вирощування зелені. Традиційні методи контролю мікроклімату, що базуються на ручному управлінні параметрами температури, вологості та освітлення, мають значні недоліки, включаючи підвищене споживання ресурсів, низьку ефективність та залежність від людського фактора. Неефективний контроль мікроклімату в сільському господарстві може призвести до значних втрат урожаю та зниження якості продукції. Зміна клімату, зокрема підвищення температури та збільшення частоти посух, призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур у світі до 30 % [1]. Впровадження автоматизованих систем управління мікрокліматом у теплицях дозволяє значно підвищити ефективність виробництва.

Аналіз останніх досліджень

Наукові дослідження демонструють ефективність використання сучасних технологій для автоматизації тепличного мікроклімату. Зокрема, застосування сенсорних систем, IoT-рішень та програмованих логічних контролерів (PLC) сприяє покращенню адаптивності системи до змін умов зовнішнього середовища. Впровадження розумних алгоритмів регулювання дозволяє підтримувати оптимальні показники вологості та температури, що безпосередньо впливає на ріст рослин та якість урожаю [2, 3].

Формулювання мети

Метою дослідження є розробка та аналіз структури автоматизованої системи управління мікрокліматом теплиці для вирощування зелені з урахуванням енергоефективності, стабільності процесу та адаптивності до змінних умов середовища.

Основна частина

Автоматизація тепличного мікроклімату базується на інтеграції сучасних технологій моніторингу та регулювання, що дозволяє підтримувати стабільні параметри для оптимального росту рослин. У тепличних умовах найбільш важливими змінними є температура, вологість повітря та ґрунту, рівень CO₂, інтенсивність освітлення, а також швидкість циркуляції повітря. Система автоматизованого контролю повинна реагувати на зміни цих параметрів у режимі реального часу, забезпечуючи ефективне використання ресурсів.

Однією з ключових особливостей таких систем є адаптивне управління, яке базується на алгоритмах нечіткої логіки та машинного навчання. Це дозволяє системі самостійно аналізувати історичні дані та адаптувати режими роботи до змінних зовнішніх умов. Наприклад, у періоди високої сонячної активності система може знижувати потужність додаткового освітлення, а вночі – навпаки, підвищувати її для підтримки необхідного фотосинтетичного рівня освітлення.

Основні параметри автоматизації, які найбільше впливають на ефективність вирощування зелені, включають температуру повітря та ґрунту, що сприяє швидкому росту та розвитку рослин, а також вологість, підтримка якої запобігає стресу рослин і розвитку хвороб. Важливу роль відіграє рівень освітленості, який забезпечує ефективний процес фотосинтезу, та концентрація CO₂, підвищення якої може стимулювати ріст біомаси. Не

менш значущим фактором є вентиляція, що забезпечує обмін повітря, запобігаючи перегріву й накопиченню надмірної вологості.

Сучасні системи автоматизації теплиць включають наступні функціональні модулі:

1. Мережа сенсорів – включає бездротові датчики вологості, температури, рівня CO₂ та освітленості, що передають дані на центральний контролер.
2. Централізоване управління – здійснюється за допомогою PLC-контролерів або промислових мікрокомп'ютерів, які забезпечують координацію роботи всіх підсистем.
3. Кліматичні регулятори – включають системи вентиляції, обігріву та зволоження, що автоматично підтримують необхідні параметри.
4. Автоматичне зрошення – система крапельного або гідропонного поливу, що враховує рівень вологості ґрунту та потреби рослин.
5. Енергозберігаюче освітлення – використання світлодіодних ламп зі спектром, оптимізованим для фотосинтезу.

Запровадження IoT-рішень дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг та управління параметрами мікроклімату через мобільні додатки або веб-інтерфейси. Це забезпечує оперативне реагування на зміни умов та зменшення енергоспоживання.

Дослідження показали, що такі системи можуть скоротити витрати води та електроенергії до 30 %, підвищити врожайність на 20-25 % та знизити ризики захворювань рослин, пов'язаних із різкими коливаннями температури та вологості [1].

Використання алгоритмів адаптивного регулювання дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів мікроклімату. Зокрема, при перевищенні температури активується система вентиляції, а при зниженні рівня CO₂ вмикається його подача. Впровадження IoT-рішень забезпечує дистанційний контроль та моніторинг роботи системи через мобільні додатки або веб-інтерфейси.

Висновки

Автоматизація мікроклімату теплиць значно підвищує ефективність вирощування зелені, мінімізує втрати врожаю та зменшує витрати ресурсів. Використання сучасних сенсорних технологій та IoT-рішень дозволяє зробити систему більш гнучкою та адаптивною. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку системи прогнозування параметрів мікроклімату на основі технологій штучного інтелекту.

Перелік посилань:

1. Автоматизовані системи управління мікрокліматом у теплицях / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a1fac329-b8ad-4581-89dd-858c15a3950a/content> (дата звернення: 01.03.2025).
2. Росошик В.О. «Автоматизована система керування мікрокліматом у теплиці» – Київський політехнічний інститут, 2023. – URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/90577/1/Shubenko_mag_rob.pdf (дата звернення: 27.02.2025).
3. «Технології автоматизації тепличних комплексів» / Business Guide. – URL: <https://business-guide.com.ua/products/unit?pid=252898> (дата звернення: 27.02.2025).

¹ Бакалавр 4 курсу Криворотова А.В.

¹ Доц., к.т.н. Новіков П.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=58PUgu8AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ АСК КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ НА ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Чисті приміщення застосовуються у виробництві фармацевтичних препаратів, з метою запобігання потрапляння часток, мікроорганізмів та інших чинників забруднення у препарати. У цих приміщеннях необхідно дотримуватися контролю над рівнем часток, вологості, температури та інших факторів, щоб уникнути забруднення виробництва.

Клас А визначає локальну зону для операцій, які можуть створювати високий ризик контамінації продукції, такі як дозування, закупорювання ємності, відкривання ампул і флаконів, змішування в асептичних умовах. Ці умови забезпечуються за допомогою ламінарного потоку повітря на робочих місцях з рівномірною швидкістю повітря $0,45 \text{ м/с} \pm 20 \%$.

Клас В відноситься до навколишнього середовища зони класу А під час виготовлення і дозування в асептичних умовах.

Класи С і D використовуються для чистих зон при здійсненні менш критичних етапів виробництва стерильної продукції [1].

Автоматизована система керування мікрокліматом чистого приміщення відіграє ключову роль у досягненні конкретних параметрів, які зазначені у санітарних нормах, відповідно до класу чистоти такого приміщення. Основне завдання АСК мікроклімату є цілодобовий моніторинг параметрів у чистому приміщенні за допомогою різних датчиків. Для цього використовують датчики для вимірювання температури, перепаду тиску, концентрації газів. На основі вимірних даних система здійснює керування мікроклімату, опираючись на написану логіку.

Особлива увага приділяється системі фільтрації вхідного повітря, бо це і є головною відмінністю між звичайним приміщенням і чистим, адже для виробництва фармацевтичних препаратів необхідне повітря без мікроскопічних часточок. Є декілька видів фільтрів, які встановлюють у системи вентиляції: НЕРА-фільтри, фільтри попереднього очищення та вугільні фільтри. Розглянемо кожен вид.

Фільтри попередньої очистки встановлюються на початку системи фільтрації. Їхня головна задача – очистити повітря від пилу, бруду, листя і інших непотрібних речовин.

НЕРА – вискоефективні повітряні фільтри [2], вони є основним елементом у багаторівневій системі очищення повітря для системи контролю мікроклімату у чистому приміщенні, адже саме вони забезпечують фільтрацію від 99,97 % часточок розміром до 0,3 мікронів.

Вугільні фільтри забезпечують видалення запахів, газів та органічних сполук. Ці фільтри по всій площі заповнені активованим вугіллям, яке абсорбує повітря. Завдяки цьому вдається очистити повітря від широкого спектру хімічних сполук, які можуть нашкодити навколишньому середовищу.

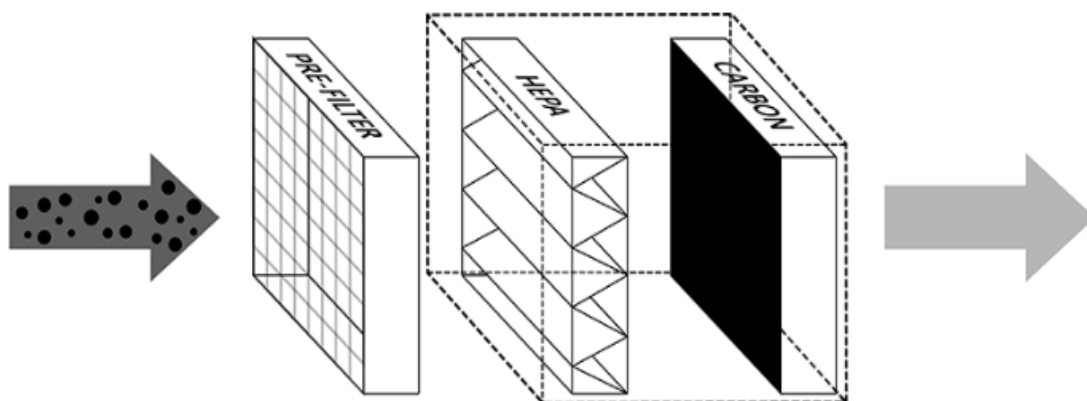


Рисунок 1 – Схема фільтрації вхідного повітря

Всі ці три фільтри у поєднанні забезпечують надійне очищення припливного повітря чистого приміщення. Доволі часто у чистому приміщенні тиск вище, ніж у інших приміщеннях, це зроблено для унеможливлення потрапляння брудних часток всередину. Знаючи специфіку хімічних виробництв часто постає питання у фільтрації витяжного повітря, для цього необхідно на витяжному повітропроводі встановити вугільні фільтри. Для контролю забрудненості фільтрів встановлюються датчики перепаду тиску, який при відхиленні від норм сигналізує про забруднення. Для унеможливлення потрапляння брудних часток всередину приміщення необхідно встановити резервні фільтри, які будуть використовуватись у разі забруднення основних. Дане рішення забезпечить надійність використання системи очищення.

Існує стандарт Good Manufacturing Practice [3], який визначає вимоги для виробництва фармацевтичних препаратів. Ще одним головним параметром в АСК мікроклімату складається контроль температури та вологості повітря. Наявність рекуператора дозволяє повторно використовувати тепло витяжного повітря для попереднього підігріву припливного повітропроводу. Система керування температурою не має особливих вимог, окрім кінцевої температури – вона має бути в відповідних межах, які необхідні для виробництва певного препарату. Тому можливе використання вже існуючого рідинного теплоносія. Для контролю вологості встановлюють осушувачі та зволожувачі повітря. При недостатньому зволоженні повітря зволожується, а при надмірній вологості – осушується.

Для оператора розроблюється зручний НМІ-інтерфейс, на якому в режимі реального часу зображено всю систему, з даними з датчиків та станом фільтрів.

Окрім фільтрації, підігріву та осушення повітря, необхідно забезпечити рівномірний ламінарний потік повітря. Отже, автоматизована система керування мікрокліматом чистих приміщень на фармацевтичному виробництві є критично важливим елементом, що забезпечує якість та безпеку виробництва лікарських засобів. Вона забезпечить надійну та багаторівневу фільтрацію повітря та керування мікрокліматом приміщення. Дана АСК має забезпечувати безперервний моніторинг та контроль параметрів мікроклімату та миттєве реагування на аварійні ситуації.

Перелік посилань:

1. Current good manufacturing practice (CGMP) Regulations: Кодекс федеральних правил / CFR, 2022. – Заголовок 21, глава 1. 4608 с.
2. Werner Bergman, G. Garcia, C. Waggoner Development of High-Strength Radial-Flow HEPA Filter. URL: https://www.researchgate.net/publication/385089381_Development_of_a_High-Strength_Radial-Flow_HEPA_Filter (дата звернення 01.03.2025).
3. Health products policy and standards World Health Organization URL: <https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/standards-and-specifications/norms-and-standards/gmp> (дата звернення 01.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Лобаєвський О.Ю.¹ Доц., к.т.н. Бунь В.П.<https://scholar.google.com/citations?user=U9Xoun4AAAAJ>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

HYDROGEN 4.0 ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, ЩО ВИРОБЛЯЮТЬ ВОДНЕВУ ЕНЕРГІЮ

Постановка проблеми та її актуальність. В умовах глобального потепління та погіршення екологічної ситуації в сучасному світі у зв'язку з багатьма факторами, одними з яких є викиди CO_2 , невинне використання нафти, вугілля та іншої сировини. Середній вміст CO_2 в атмосфері на 2024 рік становив 425,4 ppm [1]. Щоб покращити ситуацію та запобігти глобальному потеплінню є варіант видобутку водню.

Аналіз останніх досліджень. Більша частина водню виробляється шляхом реформування природного газу або шляхом газифікації вугілля (CG). Разом на ці методи припадає 78 % світового виробництва водню [2]. Електроліз із використанням екологічно чистих джерел енергії для виробництва водню становить лише 4 % світового виробництва [3]. Все це обґрунтовано економічними витратами.

Формулювання мети. Для покращення екосистеми та зменшенню викидів CO_2 можна використовувати методи видобутку водню на водневих електростанціях, які підходять під рамки Industry 4.0.

Основна частина

Воднева установка – це установка, яка споживає або генерує електричну енергію для виробництва водню. Спрощена блок-схема (рис. 1) демонструє як основні компоненти взаємодіють між собою та як електроенергія та водень проходять між компонентами. Схема об'єднує накопичення енергії, виробництво та споживання водню, зберігання його та кілька шляхів потенційного імпорту/експорту енергії або водню.

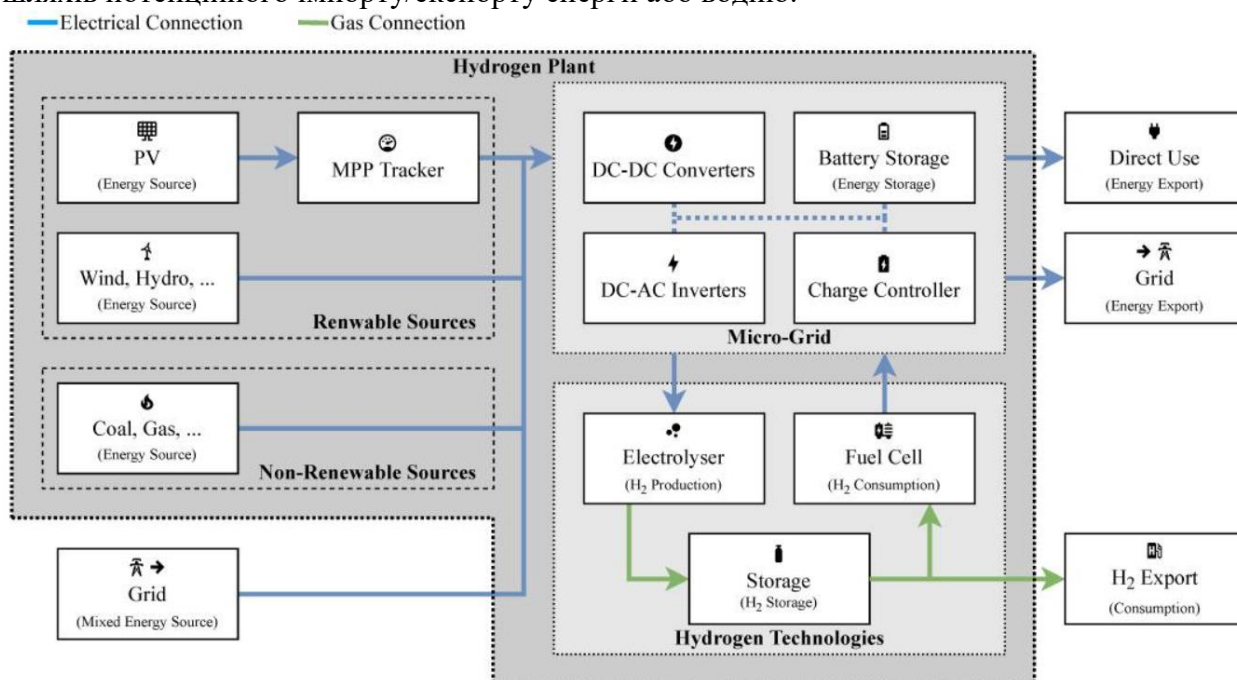


Рисунок 1 – Схема водневої електростанції

Електроліз є найпростішим засобом генерації зеленого водню, який є основою відновлюваних водневих установок. Електроліз передбачає розщеплення H_2 і кисню O_2 з

рідкої води H_2O за допомогою електроенергії. Цей процес є ключовим для виробництва екологічно чистого водню, оскільки він дає змогу використовувати енергію з відновлюваних джерел для безпосереднього виробництва водню. Цей підхід залишається дорогим у порівнянні з деякими з більш усталених методів виробництва водню, які покладаються на вуглецеву сировину або енергію з джерел, що виділяють вуглець. Однак останні дослідження зосереджені на зниженні вартості та довговічності обладнання для електролізу, і, таким чином, вартість водню, виробленого таким чином, постійно знижується. Додатковою перевагою підходу до електролізу є виробництво кисню як вторинного продукту, який можна вловлювати та використовувати в різноманітних хімічних і біохімічних процесах.

Для виробництва водню за допомогою електролізу можна використовувати різні технології, кожна з яких має різний ступінь ефективності виробництва, чистоти водню, терміну служби, масштабованості, стійкості до отруєння або пошкодження забрудненнями та експлуатаційних витрат. В принципі, електроліз потребує лише електричного струму, електроліту та провідних електродів для розщеплення молекул H_2O на складові компоненти. Однак цей наївний підхід не дуже ефективний і погано масштабується. Наразі найбільш поширений підхід до виробництва водню використовує протоніообмінні мембрани (PEM) для оптимізації виробництва, хоча суттєвим обмеженням цієї технології є залежність від дорогих каталізаторів із благородних металів, включаючи платину. Крім того, нещодавні досягнення в конкуруючих технологіях з використанням твердооксидного електролізу (SOEL) і аніоніообмінних мембран (AEM) показали, що ці технології мають значний потенціал, хоча деякі ще далекі від комерційної доступності.

Hydrogen 4.0 являє собою інноваційну інтеграцію технологій Industry 4.0, включаючи IoT і DT, спеціально розроблену для покращення галузі виробництва водню. Ця концепція спирається на існуючу структуру кіберфізичних систем для створення більш взаємопов'язаної та інтелектуальної інфраструктури на водневих заводах. Вбудовуючи інтелектуальні датчики та впроваджуючи розширену аналітику даних, Hydrogen 4.0 прагне підвищити ефективність роботи, безпеку та відповідність всім аспектам виробництва та розподілу водню.

Газоподібний водень є надзвичайно легкою легкозаймистою та вибухонебезпечною сполукою, яка потребує спеціальних заходів для гарантування безпечного поводження, і тому заходи безпеки є одними з головних проблем у будь-якій водневій установці. Основними небезпеками, пов'язаними з воднем, є горіння, високий тиск, низька або криогенна температура, воднєве окрихчення металевих труб і компонентів, задуха та вплив [4]. Збір даних у режимі реального часу та моніторинг від різних організацій на водневих заводах через пристрої Інтернету речей IoT можуть допомогти в забезпеченні безпечної роботи заводу та безпеки персоналу заводу. Розташування та стан об'єктів, зокрема трубопроводів, резервуарів, клапанів і персоналу заводу, можуть допомогти у випадку надзвичайної ситуації чи евакуації.

Пристрої IoT забезпечують як реактивну, так і проактивну безпеку та можливості моніторингу відповідності. IoT може надавати дані в реальному часі з високою точністю, щоб допомогти визначити потенційні небезпеки на підприємстві. У разі виявлення витoku водню IoT може ініціювати автоматичне відключення, щоб запобігти пошкодженню інфраструктури підприємства та персоналу. З проактивної точки зору IoT може забезпечити прогнозне технічне обслуговування за допомогою постійного моніторингу інфраструктури водневих заводів. Аналітичні можливості систем IoT мають потенціал для прогнозування майбутніх збоїв системи та попередження керівників підприємства до того, як ризики перетворяться на потенційну небезпеку.

Висновки. Експоненційне зростання ринкового попиту протягом наступних десятиліть підкреслює важливу роль водню в глобальному енергетичному ландшафті. В даний час виробництво водню в основному залежить від усталених методів, таких як реформування природного газу та газифікація вугілля, і лише мінімум чотири відсотки

вносять екологічні джерела енергії, такі як електроліз з використанням сонячної енергії або будь-якого альтернативного джерела відновлюваної енергії. Термін Hydrogen 4.0 введено як перетин відновлюваних електростанцій із технологіями цифровізації, такими як IoT та DT, що використовує цифрові можливості, отримані від Industry 4.0. Правила безпеки роботи з воднем вимагають посиленого захисту та контролю, що робить водень досить ризикованим, але враховуючи розвиток цієї галузі, водень зможе стати набагато екологічнішою альтернативою усталеним сировинам.

Перелік посилань:

1. Oceanic and Atmospheric Research (OAR) – or «NOAA Research»
URL: <https://research.noaa.gov/no-sign-of-greenhouse-gases-increases-slowng-in-2023/> (дата звернення 27.02.2025).

2. Fangxuan Chen, Bailian Chen, Zhiwei Ma, Mohamed Mehana. Economic assessment of clean hydrogen production from fossil fuels in the intermountain-west region. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667095X24000011> (дата звернення 27.02.2025).

3. Muhammad Younas, Sumeer Shafique, Ainy Hafeez, Fahad Javed, Fahad Rehman. An Overview of Hydrogen Production: Current status, Potential, and Challenges. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122001867> (дата звернення 27.02.2025).

4. José Luis Aprea Hydrogen energy demonstration plant in Patagonia: Description and safety issues.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319908010768?via%3Dihub> (дата звернення 27.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Мавроді В.В.¹ Доц., к.т.н. Маріяш Ю.І.<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=7H2DiesAAAAJ>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГНОЗУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Високою популярністю користуються нейронні мережі, які створюються та використовуються для найрізноманітніших цілей. Сучасні системи автоматичного керування повинні мати високу точність, гнучкість та ефективність, щоб забезпечити повністю безперервну автоматизацію виробничих процесів. Однією з основних складових системи автоматизації є вимірювання даних і регулювання, тому постає необхідність в прогнозуванні зміни параметрів самої системи для уникнення аварій, оптимізації використання обладнання та зниження енергоспоживання, що є особливо актуальним в наш час [1]. Також актуальність дослідження прогнозованого моделювання підкріплюється потребою в покращенні керуючих алгоритмів, що дозволяють передбачати та коригувати поведінку технологічних процесів у режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень. Актуальною задачею є розробка прогнозуючих моделей, які, зазвичай, базуються на машинному навчанні, статистичному аналізі та фізичних моделях. Майже кожен хоч раз використовував нейронні мережі, алгоритми регресії та методи обробки великих даних [2]. Саме ці підходи вже ефективно використовуються в енергетичній, промисловій, транспортній та інших галузях, Вони показують все кращі результати у зменшенні непередбачуваних відмов обладнання та більшій енергетичній економічності процесів.

Формулювання мети. Аналіз методів прогнозного моделювання в автоматизованих системах керування дозволить виявити переваги та недоліки і допоможе визначити перспективи застосування цих методів з метою покращення керування технологічними процесами.

Основна частина.

Прогнозоване моделювання – це інтелектуальний аналіз даних і статистична дисципліна. Вона аналізує історичні та поточні дані, щоб потім використати виявити певні тенденції, що можуть впливати на майбутній результат. Воно передбачає такі процеси, як збір даних, формулювання статистичної моделі, прогнозування та перевірку (або моніторинг) цієї моделі.

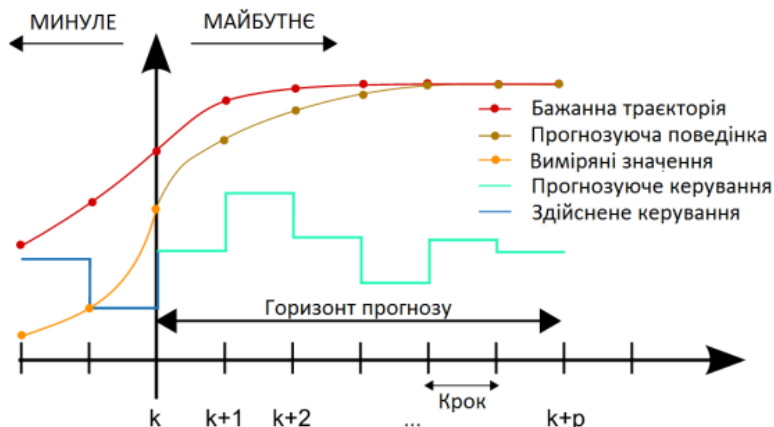


Рисунок 1 – Схема управління динамічними об'єктами з використанням MPC-підходу [3]

У прогнозованого моделювання є декілька ключових алгоритмів, які використовуються для оцінки майбутнього стану системи [4]:

- на основі історичних даних система виявляє тренди, кореляції та варіації спостережень;
- для побудови ефективних адаптивних моделей використовуються алгоритми регресії, дерев рішень, нейронних мереж та інші. Такі моделі можуть враховувати не лише нелінійні залежності, а й різновимірні зв'язки між параметрами;
- щоб змодельовати та імітувати поведінку системи створюються математичні моделі. Які побудовані на основах фізичних законів;
- останнім кроком іде аналіз цих даних для побудови моделі, що зможе точно імітувати динаміку процесу.

Прогнозування можна активно використовувати в різних частинах системи автоматизації: можливість передбачення майбутніх показників і автоматичне керування в реальному часі, виявлення та запобігання аварій за допомогою аналізу аварійних тенденцій, передчасне виявлення неполадок датчиків, енергоефективність за рахунок автоматичного виявлення та налаштування оптимального режиму роботи системи, підвищення точності керування за допомогою адаптації класичних ПІД-регуляторів [5], адаптивність до зовнішніх умов та вимог.

Незважаючи на величезні переваги, прогнозоване моделювання має свої виклики та недоліки, основними є:

- потребує збору великої кількості точних даних для коректного прогнозування;
- надзвичайна складність та цінність розробки таких моделей, що потрошу вирішується (замість збільшення обчислювальної потужності за допомогою більшої кількості високотехнологічних процесорів, можна використовувати більш складну розробку лінгвістичної моделі, що є значно дешевшим рішенням).

Попри ці труднощі потенціал розвитку обчислювальних технологій та методів машинного навчання відкривають нові можливості для ще більш точного та ефективного прогнозування.

Висновки. Ніколи не варто відмовлятися від тих переваг, які пропонує нам прогрес і потрібно використовувати прогнозуючі моделі, в тому числі, для їх подальшого розвитку. Прогнозоване моделювання – це дуже потужний інструмент, щоб керувати технологічними процесами. Його інтеграція в автоматизовані системи значно підвищує не тільки надійність обладнання, а ще й оптимізує використання ресурсів та забезпечує адаптивність керування. З подальшим розвитком технологій прогнозні методи будуть ставати ще більш доступними, точними та корисними у промисловості та автоматизованих системах керування.

Перелік посилань:

1. Rotem Yifat Yes, You Can: How Automation Makes Predictive Modeling a Reality. 2023. URL: <https://www.pecan.ai/blog/automation-predictive-modeling/> (дата звернення: 01.03.2025).
2. Степовий С.М. аспірант, Використання машинного навчання як інноваційного інструменту в управлінні підприємством. Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини. 2024. – 7 с.
URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/3281/3317> (дата звернення: 27.02.2025).
3. Степанець О.В., Маріяш Ю.І. Методологія удосконаленого керування технологічними процесами. Комп'ютерний практикум. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для аспірантів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021.– 26 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fdb36cdb-99ca-4d90-afca-4ffdc0b12ee7/content> (дата звернення: 02.03.2025).
4. Hedengren, John D., Asgharzadeh Shishavan, Reza, Powell, Kody M., Edgar, Thomas F. Nonlinear modeling, estimation and predictive control in APMonitor. 2014. – 16 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/262191158_Nonlinear_Modeling_Estimation_and_Predictive_Control_in_APMonitor (дата звернення: 28.02.2025).
5. What is predictive modeling and how to using it? URL: <https://www.outsystems.com/ai/predictive-modeling-types-and-examples/#benefits> (дата звернення: 27.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Маруда М.А.

¹ Доц., к.т.н. Бунке О.С.

<https://scholar.google.com/citations?user=l0I2Mk0AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СХЕМ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ У БАРАБАНІ ПАРОВОГО КОТЛА

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні парові котли є критично важливими агрегатами у промисловості, де їх надійність та продуктивність безпосередньо залежить від точного регулювання рівня води в барабані. Відхилення від заданого рівня можуть призводити як до зниження ефективності теплообміну, так і до виникнення аварійних ситуацій.

Аналіз останніх досліджень. Вибір оптимальної структури системи регулювання рівня та її налаштування є ключовим фактором для забезпечення надійної роботи парового котла в умовах зовнішніх і внутрішніх збурень. Крім того, це сприятиме збільшенню строку служби живильних насосів, регулюючої арматури та інших компонентів котла.

Формулювання мети дослідження. Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу існуючих схем автоматичного регулювання рівня води в барабані парового котла малої потужності. основні завдання дослідження: виявити сильні та слабкі сторони різних підходів (одно-, дво- та три-імпульсних схем, схеми з диференціатором), оцінити вплив основних збурень на динаміку регулювання.

Основна частина. Регулювання живлення парового котла базується на підтриманні матеріального балансу між відведенням пари та подачею живильної води. Порушення цього балансу призводить до зміни рівня води в барабані, що негативно впливає на охолодження екранних труб і може стати причиною пошкодження стиків з корпусом котла. Надмірне підвищення рівня води, в свою чергу, знижує ефективність роботи внутрішньобарабанних сепараційних пристроїв та сприяє передчасному перенесенню солей на пароперегрівач, що може призвести до механічних пошкоджень елементів парової турбіни [2].



Рисунок 1 – Паровий котел як об'єкт регулювання рівня

У стаціонарному режимі матеріальний баланс досягається завдяки співвідношенню витрат пари та живильної води. Проте в перехідних режимах регулювання ускладнюється

впливом численних збурень, зокрема змін витрат живильної води, парового навантаження котла, тепловиділення в топці та температури води. Забезпечення барабану водою здійснюється по одній і, рідше, двом ниткам трубопроводів живильної води, одна з яких слугує резервною [1].

Для реалізації регулювання існують різні підходи, що відрізняються кількістю використовуваних сигналів. Одно-імпульсна система (рис. 2), яка спирається виключно на сигнал з датчика рівня, характеризується простотою налаштування і швидкими перехідними процесами. Однак вона не враховує вплив витрати пари, що обмежує її застосування також оскільки барабанний котел як об'єкт регулювання має інтегральні властивості з присутністю неправдивої інформації у вигляді «набухання». Пропорційний закон регулювання дає добрі результати з позиції стійкості системи, але не припустимий через статичну похибку. Тому вона переважно в котлах малої та середньої потужності, де конструкція передбачає великий запас живильної води і допустима певна статична похибка регулювання [3].

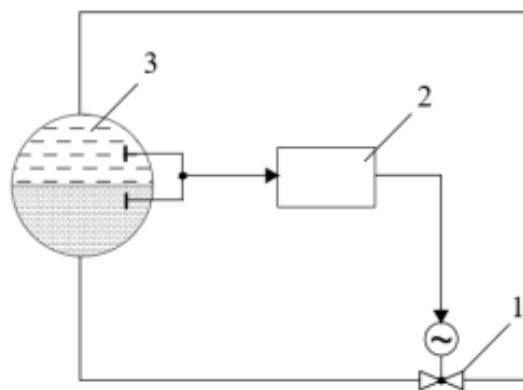


Рисунок 2 – Одно-імпульсна схема регулювання рівню: 1 – регулюючий клапан живильної води; 2 – регулятор живлення; 3 – барабан

Дво-імпульсна система (рис.3) має додаткове врахування витрати пари, що покращує якість регулювання і значно зменшує відхилення рівню води при збуренні на цьому каналі. Проте регулятор в даній системі стабілізує алгебраїчну суму сигналів по рівню і витраті пари зі своїми ваговими коефіцієнтами, а не рівень в барабані котла може призводити до появи статичної помилки [2].

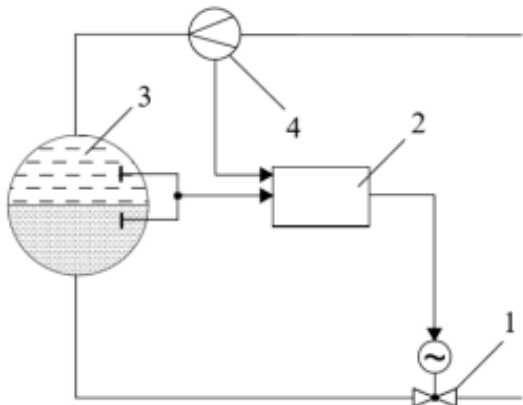


Рисунок 3 – Схема регулювання рівню – 2-імпульсна: 1 – регулюючий клапан живильної води; 2 – регулятор живлення; 3 – барабан; 4 – сигнал по витраті пара

Три-імпульсна система (рис.4) регулювання використовує сигнали за рівнем, витратою живильної води та витратою пари, що дозволяє в режимі переходу оперативно реагувати на зміни параметрів. При цьому сигнали в стабільному режимі компенсують один

одного, забезпечуючи точне управління рівнем. Така система є чутливою до розбіжностей між показаннями витратомірів, що може спричинити появу статичної помилки, але при виході з ладу витратоміра можна передбачити перехід регулювання з 3-імпульсної схеми на схему з жорстким зворотнім зв'язком(або по витраті живильної води), хоча якість регулювання відповідно знизиться. Повне зникнення будь-якого з сигналів призводить до припинення роботи системи [5].

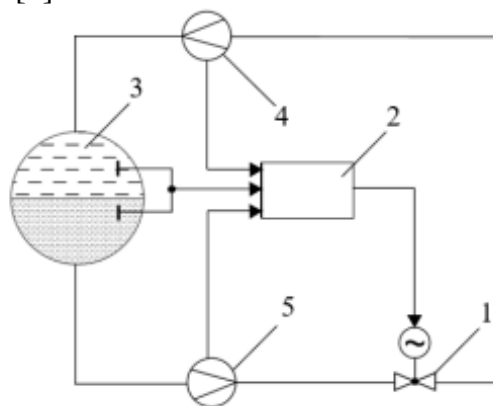


Рисунок 4 – Схема регулювання рівню – 3-імпульсна: 1 – регулюючий клапан живильної води; 2 – регулятор живлення; 3 – барабан; 4 – сигнал по витраті пара; 5 – сигнал по витраті живильної води

Альтернативою є схема з диференціатором (рис.5), яка використовує не лише поточне значення рівня, але й його похідну, що дозволяє усунути статичну похибку і забезпечити швидке регулювання до заданого значення. Головним недоліком цього методу залишається складність налаштування [4].

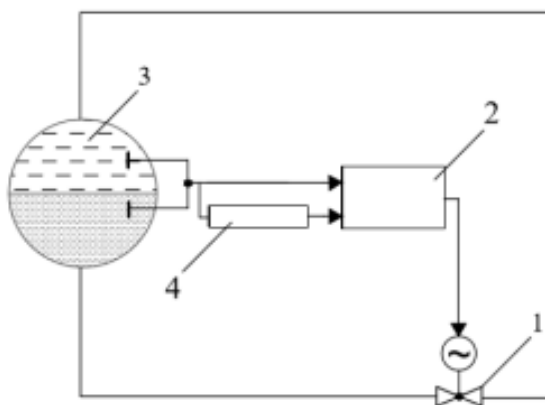


Рисунок 5 – Схема регулювання рівню – з диференціатором: 1 – регулюючий клапан живильної води; 2 – регулятор живлення; 3 – барабан; 4 – диференціатор

Висновки. Вибір конкретної схеми регулювання залежить від потужності котла і конструктивних особливостей барабану. Для котлів невеликої потужності зазвичай використовують одно-імпульсні регулятори, а для середньої та великої паропродуктивності застосовують дво- та три-імпульсні системи. Особливо поширеними є три-імпульсні схеми в енергетичних парових котлах з особливо високою паропродуктивністю, де обмежений запас води вимагає більш точного та швидкого регулювання. Схема з диференціатором позбавлена більшості недоліків але має складні методи налаштування.

Перелік посилань:

1. Батюк С.Г., Лобзов Н.С. «Функціональне моделювання автоматизованого технологічного комплексу енергетичного барабанового котла», 2021 Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/11>

2. Рура А.С., Тарахтій О.С. «Застосування нечіткого регулятора для регулювання рівня в барабані парового котла Е-50». 2021 Молодий вчений. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-2-90-2>
3. Aström, K. J. Drum-boiler dynamics / R. D. Bell, K. J. Aström. // Automatica. – 2000. –No36. – P. 363–368.
4. Wei Wang, Yuguang Niu, Guangming Zhang, Zhenyu Chen «A New Boiler-turbine-heating Coordinated Control Strategy to Improve the Operating Flexibility of CHP» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/359448491_A_New_Boiler-turbine-heating_Coordinated_Control_Strategy_to_Improve_the_Operating_Flexibility_of_CHP_Units#pfc (дата звернення: 03.03.2025).
5. Світлий І.М., Черняк О.І. «Про особливості автоматичного керування котлом ДКВр-10» Вісник ХНТУ, 2024. URL: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/627/601 (дата звернення: 03.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Науменко А.В.

¹ Доц., к.т.н. Бунь В.П.

<https://scholar.google.com/citations?user=U9Xoun4AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЯК ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ: ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасний світ стикається з проблемою накопичення відходів та зростаючою потребою в енергії. Використання відходів як джерела енергії є перспективним напрямком, що дозволяє одночасно вирішувати екологічні та енергетичні проблеми. Перетворення відходів у паливо сприяє зменшенню залежності від викопного палива та зниженню рівня забруднення навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень. Інноваційні технології переробки відходів, такі як газифікація та піроліз, дозволяють ефективно отримувати енергію з різних видів відходів, зменшуючи обсяги сміттєзвалищ та викиди парникових газів. Біогазові установки, що використовують органічні відходи, забезпечують виробництво біогазу, який може бути використаний для генерації електроенергії або як паливо.

Формулювання мети. Дослідити сучасні інноваційні підходи до перетворення відходів на енергію та оцінити їх перспективи впровадження в Україні.

Основна частина

Газифікація – це процес перетворення твердих відходів у синтез-газ при високих температурах з обмеженим доступом кисню. Цей метод дозволяє отримувати газоподібні види палива, такі як водень та метан, які можуть використовуватись для виробництва електроенергії [1].



Рисунок 1 – Схема процесу газифікації твердих відходів для отримання синтез-газу та виробництва електроенергії [2]

Піроліз – це термічний розклад органічних матеріалів без доступу кисню при температурах 300–900 °С. У процесі утворюється три основні продукти: газ, піролізне масло та вуглецевий залишок. Залежно від температури, можна отримувати більше рідкого палива або синтез-газу, який використовується для виробництва енергії. Піроліз застосовується для переробки біомаси, пластику та інших відходів, що дозволяє зменшити їх обсяги та отримувати додаткові джерела енергії. Це екологічно чиста альтернатива спалюванню, яка сприяє зниженню викидів CO₂.



Рисунок 2 – Схема піролізного котла для ефективного спалювання біомаси з утворенням синтез-газу [3]

Перетворення відходів на енергію має значні переваги. Зменшення обсягів сміттєзвалищ дозволяє зменшити кількість твердих відходів, що підлягають захороненню, а також вирішити проблему перенасичення полігонів. Одночасно з цим використання відходів як палива сприяє скороченню викидів парникових газів, адже зменшується спалювання викопного палива. Це також є ефективним способом досягнення енергетичної незалежності, оскільки дає змогу використовувати місцеві ресурси для генерації енергії, знижуючи залежність від імпорту. Деякі методи перетворення відходів на енергію дозволяють комбіноване виробництво електроенергії та тепла, що підвищує загальну ефективність процесу. В Україні є значний потенціал для розвитку технологій переробки відходів в енергію. Багато міст стикаються з проблемою перенасиченості полігонів і недостатнього рівня переробки відходів. Впровадження газифікаційних, піролізних та біогазових технологій дозволить не тільки скоротити обсяги сміття, а й забезпечити виробництво власного екологічно чистого палива. Однак для цього необхідна державна підтримка, включаючи створення законодавчих стимулів для бізнесу, що сприятимуть впровадженню екологічно безпечних технологій. Важливим також є залучення міжнародного досвіду та інвестицій для розвитку цієї сфери [4]

Висновки. Використання відходів як джерела енергії є перспективним напрямком, що дозволяє одночасно вирішувати проблеми утилізації відходів та енергозабезпечення. Україна має значний потенціал у цьому напрямку, і при належній підтримці можливе

ефективне впровадження цих технологій, що сприятиме покращенню екологічної ситуації та зміцненню енергетичної незалежності країни

Перелік посилань:

1. Енергія з відходів – крок до циркулярної економіки. Українська енергетика, 2024. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/enerhiia-z-vidkhodiv-krok-do-tsyrkuliarnoi-ekonomiky> (дата звернення 03.03.2025).

2. Газифікація відходів як перспективний напрям виробництва водню. Інститут проблем матеріалознавства НАН України, 2024. URL: <http://www.materials.kiev.ua/hydrogen/5p.html> (дата звернення 03.03.2025).

3. Піролізні котли: особливості, схема, застосування. AW-Therm, 2024. URL: <https://aw-therm.com.ua/pirolizni-kotli-osoblivosti-shema-zastosuvannya/> (дата звернення 03.03.2025).

4. Як організувати виробництво енергії з відходів? Економічна правда, 2024. URL: <https://pravda.com.ua/columns/2023/10/04/705056/> (дата звернення 03.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Некротюк А.С.

¹ Доц., к.т.н. Бунке О.С.

<https://scholar.google.com/citations?user=l0I2Mk0AAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СУШАРКИ ДЕРЕВИНИ

Постановка проблеми та її актуальність

Сушіння деревини є одним із найважливіших процесів у деревообробній промисловості, що впливає на якість кінцевої продукції. Традиційні методи сушіння супроводжуються значними енерговитратами та ризиками утворення дефектів, що вимагає використання автоматизованих систем управління (АСУ). Використання газових сушарок дозволяє покращити контроль процесу, проте без належної автоматизації існують труднощі з підтриманням оптимальних параметрів температури та вологості. Згідно зі статистичними даними, до 15–20 % [3] деревини може бути визнано браком через неправильне сушіння, що спричиняє додаткові виробничі втрати.

Аналіз останніх досліджень

Сучасні дослідження вказують на необхідність впровадження інтелектуальних систем керування у технологічні процеси сушіння. Зокрема, використання алгоритмів нечіткої логіки та PID-регуляторів у поєднанні з IoT-рішеннями дозволяє покращити стабільність процесу. Роботи [1, 2] підтверджують ефективність подібних підходів у промисловому використанні. Також відзначається перспективність поєднання класичних та адаптивних методів керування, що базуються на аналізі історичних даних та моделей машинного навчання. Це дає можливість прогнозувати зміну параметрів середовища та заздалегідь коригувати режим роботи сушарки.

Формулювання мети

Метою роботи є аналіз та обґрунтування структури автоматизованої системи управління газової сушарки деревини з урахуванням енергоефективності, стабільності процесу та адаптивності до змінних умов середовища.

Основна частина

Дослідження підтверджують ефективність використання ПІД-регуляторів для керування вологістю в сушильних камерах. Впровадження налаштованого ПІД-регулятора дозволяє зменшити тривалість перехідного процесу з 7 до 2,5 хвилин, що значно підвищує ефективність сушіння та покращує якість кінцевої продукції.

Крім того, сучасні сушильні камери для деревини оснащені мікропроцесорними вимірювачами-регуляторами, які забезпечують автоматичне або напівавтоматичне керування процесом сушіння. Ці системи дозволяють точно підтримувати необхідні параметри для різних порід та товщини деревини, що сприяє підвищенню якості та енергоефективності виробництва. Дослідження показують, що використання автоматизованих систем дозволяє знизити кількість браку на 30–40 % [3] порівняно з традиційними методами.

Для покращення ефективності пропонується використання адаптивного PID-регулятора, що автоматично коригує параметри управління залежно від змін вологості деревини. Додатково, впровадження IoT-рішень дозволяє дистанційно керувати сушаркою та інтегрувати її у загальну систему управління виробництвом. Передбачено використання інтерфейсу з візуалізацією основних параметрів технологічного процесу, що дозволяє оператору швидко реагувати на відхилення та аварійні ситуації.

Важливим чинником ефективності автоматизованої системи є правильний вибір та розміщення датчиків. Для точного контролю температури та вологості в сушильній камері

використовуються термопари, терморезистори, а також датчики відносної вологості повітря, які повинні бути встановлені в ключових точках простору. Неправильне розміщення або некалібровані сенсори можуть призвести до значного викривлення даних і, як наслідок, до некоректної роботи регулюючої системи.

Інтеграція автоматизованої системи також передбачає використання SCADA-систем для моніторингу та архівації даних. Це дозволяє здійснювати ретроспективний аналіз роботи сушарки, формувати звіти для керівництва та проводити технічне обслуговування на основі реальних показників роботи системи. Таким чином, система не лише автоматизує процес сушіння, а й надає інструменти для його подальшого вдосконалення.

Дослідження [1] також показали, що використання комбінованих методів регулювання, зокрема з залученням нейромережових алгоритмів, дозволяє підвищити точність контролю параметрів сушіння. Такі підходи забезпечують адаптацію системи до різних типів деревини, змінних зовнішніх умов та енергоефективність процесу. Наприклад, застосування предиктивного управління на основі моделювання вологості деревини дозволяє уникати перерозходу енергії та зменшити відсоток браку на 10–15% [3].

Також серед потрібно пам'ятати про безпеку та екологічність виробництва. Автоматизоване регулювання сушильного процесу дозволяє уникати перегріву деревини, зменшити викиди в атмосферу та забезпечити відповідність сучасним стандартам енергоспоживання і охорони довкілля. Це особливо актуально в умовах підвищених вимог до екологічної відповідальності підприємств.

Висновки

Впровадження автоматизованих систем управління в газові сушарки деревини дозволяє значно підвищити якість висушеної продукції, зменшити енерговитрати та мінімізувати вплив людського фактора на процес. Використання адаптивних PID-регуляторів забезпечує точне регулювання температури та вологості, що дозволяє оптимізувати процес сушіння та уникнути втрат матеріалу. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію коефіцієнтів PID-регуляторів, що дозволить знаходити оптимальні параметри керування для різних умов сушіння та мінімізувати похибки процесу. Водночас інтеграція IoT-технологій та предиктивного аналізу відкриває нові можливості для інтелектуалізації виробничих процесів у деревообробній промисловості.

Перелік посилань:

1. Шубенко О.В. Оптимізація режимів сушіння деревини для виробництва меблів / О.В. Шубенко. – Сумський державний університет, 2021. – URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/90577/1/Shubenko_mag_rob.pdf (дата звернення: 28.02.2025).
2. Сушильні камери JUVENAL для сушки деревини (комплект обладнання) // Business Guide. – URL: https://business-guide.com.ua/products/unit?pid=252898&utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 28.02.2025).
3. Сітало М. Автоматизація сушіння деревини в конвективній камері / М. Сітало. – Сумський державний університет, 2023. – URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/93847/1/Sitalo_mag_rob.pdf;jsessionid=33F237A0F26EE122BFD3BEAC7D9096F8 (дата звернення: 28.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Помпе Д.А.; ² Спеціаліст Воронюк М.В.

¹ Доц., к.т.н. Батюк С.Г.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=cWaZ5o4AAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

² Київський індустріальний фаховий коледж

ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ І ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Постановка проблеми. У сучасних умовах питання енергетичної незалежності житлових будинків набуває особливої актуальності. Перебої в електропостачанні можуть призвести до відключення критично важливих систем життєзабезпечення, таких як опалення, водопостачання, вентиляція, зв'язок тощо. Використання традиційних джерел енергії збільшує фінансові витрати та негативно впливає на екологію. Одним із перспективних рішень є впровадження автоматизованої системи автономного електропостачання і життєзабезпечення, яка дозволяє ефективно використовувати альтернативні джерела енергії, накопичувати та розподіляти електроенергію за допомогою сучасних технологій. Однак важливо розуміти, що сонячні панелі та вітряки не можуть повністю забезпечити автономність будинку без фідеру енергосистеми як основного джерела живлення і мобільного паливного електрогенератору як резервного джерела живлення.

Аналіз проблеми. Останні дослідження у сфері автономного електропостачання зосереджені на поєднанні різних джерел енергії. Виявлено, що сонячні панелі можуть забезпечити електроенергією будинок у літній період або в режимі stand-by, коли використовується мінімум електроприладів (наприклад, освітлення, холодильник, система безпеки). Однак у зимовий період чи при підвищеному споживанні електроенергії потрібні альтернативні джерела, такі як акумулятори або резервний генератор. Інтеграція систем життєзабезпечення, таких як опалення та кондиціонування, у загальну систему управління енергією дозволяє мінімізувати витрати електроенергії та підвищити рівень автономності.

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка автоматизованої системи автономного електропостачання і життєзабезпечення житлового будинку, яка забезпечить стабільне електропостачання і безлюдне функціонування інженерних систем життєзабезпечення житлового будинку.

Дослідження і аналітика. Нижче наведені опис інженерних систем електропостачання житлового будинку і опис структури автономної кібер-фізичної системи житлового будинку.

Опис інженерних систем електропостачання житлового будинку

Розроблена система поєднує кілька ключових модулів, які працюють разом для забезпечення максимальної автономності та ефективності споживання енергії.

1. Джерела електроенергії.

Система використовує різні джерела генерації електроенергії:

- Сонячні панелі – ефективні влітку та в ясну погоду. Використовуються переважно для підтримки електропостачання, але не можуть повністю замінити традиційні джерела.
- Вітрові генератори – можуть доповнювати сонячну енергію в нічний час, особливо у вітряних регіонах.

• Резервні джерела (електрокотел, дизельний або газовий генератор) – необхідні для покриття пікових навантажень і роботи в періоди низької генерації.

2. Система накопичення енергії.

Для збереження надлишкової енергії використовуються акумулятори. Вони

дозволяють забезпечити будинок електроенергією вночі або під час поганої погоди.

Основні типи електричних акумуляторів:

- Гелеві акумулятори – мають довший термін служби, добре працюють при низьких температурах, але менш ефективні при високих навантаженнях.

- Літій-іонні (Li-ion) акумулятори мають високу енергоємність, швидку зарядку та тривалий термін служби (до 15 років). Вони компактні, мало розряджаються, але чутливі до перегріву.

- Літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) – мають високу ефективність (ККД до 98%), довгий термін служби (до 15 років) і меншу вагу, але дорожчі за гелеві аналоги.

3. Автоматизована система управління енергією.

Центральним елементом системи є розумна мережа (Smart Grid), яка включає:

- Інтелектуальні контролери – аналізують рівень вироблення та споживання електроенергії, оптимізують розподіл потужності між споживачами.

- Алгоритми прогнозування споживання – на основі даних про погоду, історичного споживання енергії та рівня заряду акумуляторів система автоматично визначає, коли слід використовувати накопичену енергію, а коли переключитися на резервні джерела.

- Система дистанційного моніторингу – дозволяє власнику керувати енергоспоживанням будинку через мобільний додаток або веб-інтерфейс.

4. Інтеграція із системами життєзабезпечення.

Крім електропостачання, автоматизована система включає управління іншими критичними системами будинку:

- Енергоефективне опалення
- Використання теплових насосів (повітря-вода, вода-вода), що мають високий коефіцієнт перетворення енергії (COP > 4).

- Інтелектуальна система управління котлом, яка зменшує витрати енергії при відсутності мешканців або вночі.

- Водопостачання та водовідведення.
- Насосні станції з автоматичним регулюванням тиску води.
- Система очищення та фільтрації води для підвищення якості питної води.
- Вентиляція та кондиціонування
- Використання рекуператорів тепла, що дозволяють повторно використовувати тепле повітря, знижуючи потребу в додатковому обігріві або охолодженні.

- Інтелектуальне управління кондиціонуванням, що враховує поточну температуру, вологість і наявність людей у приміщенні.

Принципи роботи системи: 1) пріоритетне використання відновлюваних джерел енергії – система в першу чергу використовує сонячну та вітрову енергію, якщо це актуально, акумуляуючи надлишки; 2) автоматична оптимізація споживання – інтелектуальні контролери визначають, які електроприлади можна відключити у періоди пікового навантаження для економії енергії; 3) перемикання між джерелами енергії – у разі недостатнього рівня заряду акумуляторів система перемикається на резервний генератор або зовнішню електромережу (stand-by – мінімальне споживання; стандартний режим – використання накопиченої енергії; екстрений режим – підключення резервного живлення); 4) дистанційний контроль та моніторинг – користувач може переглядати та регулювати енергоспоживання через мобільний додаток.

Опис структури автономної кібер-фізичної системи (КФС) житлового будинку

Автономний автоматизований технологічний комплекс житлового будинку (ААТК ЖБ) = АТК системи автономного електропостачання (САЕ) + АТК системи автономного життєзабезпечення (САЖ).

САЕ = фідер центральної енергосистеми (ФЦЕ) + автономна сонячна електростанція (АСЕ) + автономна вітряна електростанція (АВЕ) + мобільний паливний електрогенератор (МПЕ) + система резервування електропостачання (СРЕ).

АТК САЕ = САЕ + СПЛУ. Автономна система програмно-логічного управління (СПЛУ) = автономний ПЛК. СПЛУ/ПЛК САЕ = СПЛУ/ПЛК ФЦЕ + СПЛУ/ПЛК АСЕ + СПЛУ/ПЛК АВЕ + СПЛУ/ПЛК МПЕ + СПЛУ/ПЛК СРЕ (всього 5 СПЛУ/ПЛК). Кожний ПЛК = автономний ПоТ.

САЖ = центральний електричний котел (ЦЕК)+ система підігріву підлоги (СПП) + система радіаційного опалення (СРО) + система ГВП (СГВП) + система ВК (СВК).

АТК САЖ = САЖ + САУ. Автономна система автоматичного управління (САУ) = автономний ПЛК. САУ/ПЛК САЖ = САУ/ПЛК ЦЕК + САУ/ПЛК СПП + САУ/ПЛК СРО + САУ/ПЛК СГВП + САУ/ПЛК СВК (всього 5 САУ/ПЛК). Кожний ПЛК = автономний ПоТ.

ААТК ЖБ = ТОУ ЖБ + АСУ ЖБ. АСУ ЖБ = СПЛУ САЕ + САУ САЖ + система технічної діагностики (СТД) ТОУ ЖБ + система адаптації параметрів (САП) АСУ ЖБ.

Хмарна СТД ТОУ ЖБ = цифровий двійник (ЦД) ЖБ + експертна система управління (ЕСУ).

Локальні САП АСУ ЖБ = системи екстремального управління (СЕУ) + системи автотюнінгу регуляторів (САТ). СЕУ реалізують алгоритми градієнтного пошуку екстремальних значень техніко-економічних параметрів (ТЕП; ключових показників ефективності КЕП). Реалізовані СЕУ електропостачанням в АСЕ (поворотом мобільної АСЕ за сонцем) і в АВЕ (позиціонуванням кута атаки лопастей вітряку). САТ реалізують алгоритми автоматичного пошуку оптимальних параметрів регуляторів пробними діями на ОУ в розімкненій САР.

ЕСУ в складі СТД ТОУ ЖБ – це дедуктивне машинне навчання. СЕУ і САТ в складі САП АСУ ЖБ – це індуктивне машинне навчання.

Центральний ПЛК (11-ий ПЛК) = граничний ПЛК (edge device) = софтПЛК CoDeSys 3.5 = промисловий ПК. Можливість НІЛ-моделювання АТК в ПЛК. Протоколи обміну даними = OPC-UA + MQTT. Інтерфейс = Industrial Ethernet (1024 метрів + роутери). Хмарна HMSCADA-система AVEVA System Platform. Хмарний архіватор.

Режими управління АТК ЖБ: для ЕСУ – пряме цифрове управління (ПЦУ) і порадирика (ПОР); для САР – автоматичний (АВТ), напівавтоматичний (НАВ) і ручний (РУЧН). Режим ПЦУ – граничний ПЛК автоматично передає в локальні ПЛК завдання (уставки) режимних параметрів (формули / рецепти) від хмарної СТД. Режим ПОР – оператор аналізує і дозволяє граничному ПЛК передати в локальні ПЛК уставки від хмарної СТД. Режим АВТ – локальні ПЛК відпрацьовують уставки граничного ПЛК і автоматично управляють ВМ-РО. Режим НАВ – локальні ПЛК відпрацьовують уставки оператора і автоматично управляють ВМ-РО. Режим РУЧН – ПЛК фізично відключаються від ВМ і оператор дистанційно управляє ВМ-РО.

Результати і висновки. Комплексна автоматизація – інтегрована автоматизація технологічних процесів і бізнес-процесів підприємства. Комплексна АСУ (КАСУ) – інтегрована АСУ масштабу підприємства. Синергетичний ефект – інтегральна (системна) ефективність більша за суму ефектів компонентів (консолідація і агрегація даних). Кумулятивний ефект – цільова ефективність – бізнес-тріада «звітність – аналітика – планування», зорієнтована на власника. Платформа комплексної автоматизації – цифровізація підприємства = інформаційні технології + операційні технології. Маркери КАСУ: 1) інтегрованість (автоматизація усіх технологічних і бізнес процесів); 2) консолідованість (СТД ТОУ = ЦД ТОУ + ЕСУ); 3) адаптивність (СМН = СЕУ + САТ).

На стадії проектування функціональність КАСУ може і має бути змодельована і протестована в програмно-технічному симуляторі промислових АТК [1].

Перелік посилань:

1. Батюк С.Г. Імітаційне моделювання і цифровий твінінг енергетичних кібер-фізичних систем (кібер-енергетичних систем) // Досягнення України та країн ЄС у сфері інновацій і винахідництва в галузі техніки : колективна монографія. С. 44–109. Рига, Латвія : Izdevniecība “Baltija Publishing”, 2022. 544 с. 65 с.

¹ Бакалаврант 4 курсу Посохов О.Д.

¹ Доц., к.т.н. Маріяш Ю. .

<https://scholar.google.com/citations?user=7H2DiesAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СЕРІЙНО-ПАРАЛЕЛЬНИХ НАСОСНИХ СИСТЕМАХ

Постановка проблеми та її актуальність. Ефективне управління насосними системами водопостачання є критично важливим для зменшення втрат води та енергоспоживання [1, 2]. Однією з основних проблем є підтримка стабільного тиску в мережі при змінних умовах споживання, що у традиційних системах вирішується використанням редуційних клапанів або частотних перетворювачів [3]. Проте ці методи мають недоліки, пов'язані зі значними енергетичними втратами та недостатньою адаптивністю до змінних режимів роботи [4]. Традиційні методи регулювання тиску не враховують динаміку зміни витрати води та особливості роботи різних конфігурацій насосних агрегатів (одиначний насос, насоси у паралельному або послідовному режимах) [1]. Недостатньо досліджені підходи, що використовують нечітку логіку для оптимізації роботи насосних систем, забезпечуючи адаптивне регулювання тиску при мінімальних витратах електроенергії [2, 5].

Аналіз останніх досліджень. Попередні дослідження демонструють перспективність застосування штучного інтелекту та нечіткої логіки для керування насосними станціями [1, 2]. Деякі роботи [3, 4] показують, що використання нечітких контролерів дозволяє покращити стабільність тиску, зменшити гідравлічні удари та оптимізувати споживання електроенергії. Проте відсутні комплексні дослідження щодо порівняльного аналізу ефективності різних конфігурацій насосних систем при застосуванні нечіткої логіки [5].

Формулювання мети. Метою цієї роботи є розробка та дослідження нечіткого контролера для управління тиском у системах водопостачання з різними конфігураціями насосних агрегатів з метою підвищення енергоефективності та забезпечення стабільного режиму роботи.

Основна частина. Методи автоматизації технологічних процесів відіграють ключову роль у підвищенні ефективності виробничих систем [1]. У сучасних промислових умовах все більше застосовуються інтелектуальні алгоритми, які забезпечують адаптивне управління параметрами технологічного процесу [2]. Одним із перспективних підходів є використання нечіткої логіки для оптимізації керування та прогнозування параметрів системи [3].

Нечіткі регулятори дозволяють ефективно керувати складними процесами за умов невизначеності, що особливо актуально для автоматизації технологічних установок [4]. Використання функцій належності та правил нечіткого висновку забезпечує точніше реагування на зміни вхідних параметрів [5]. Завдяки такому підходу можна досягти стабільного керування технологічними процесами, які мають високий рівень динамічності та варіативності [3]. У рамках цього дослідження було розроблено та протестовано модель керування на основі нечіткої логіки, яка враховує похибки варіації вхідних змінних (рис. 1) [1, 4].

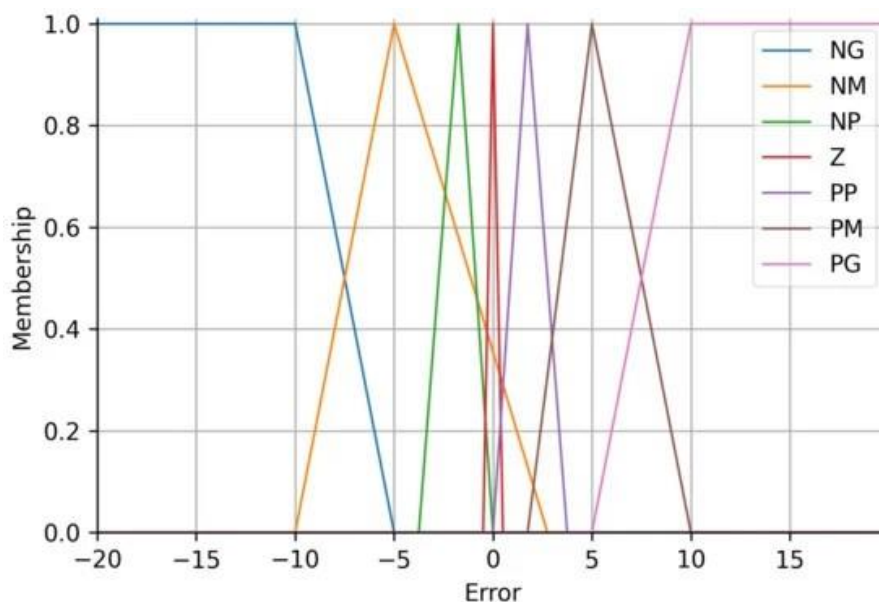


Рисунок 1 – Функція приналежності похибки варіації вхідних змінних

Під час експериментальних досліджень було проведено аналіз ефективності нечіткого регулятора в умовах реальних виробничих процесів [3]. Основними критеріями оцінки виступали стабільність системи, швидкість адаптації до змін параметрів і рівень похибки в управлінні [5]. Результати тестувань показали, що запропонований метод дозволяє зменшити середньоквадратичну похибку на 15-20 % у порівнянні з традиційними PID-регуляторами, що підтверджує ефективність використаного підходу [2, 4].

Додатково було проведено моделювання роботи системи в умовах змінного навантаження та дії збурюючих факторів [1, 3]. Результати моделювання підтвердили, що нечіткий регулятор забезпечує швидку адаптацію до змінних умов, знижуючи вплив зовнішніх коливань на стабільність технологічного процесу [2, 5]. Це особливо важливо для систем, де традиційні методи регулювання можуть не справлятися з різкими змінами параметрів [4].

Таким чином, застосування методів нечіткої логіки у промислових системах автоматизації дозволяє підвищити ефективність керування за умов невизначеності, зменшити енергоспоживання та покращити адаптивність системи до змін зовнішніх умов [1, 2, 4]. Використання цього підходу може бути доцільним у різних галузях промисловості, таких як енергетика, хімічне виробництво та харчова промисловість, де необхідно забезпечити високу точність та надійність керування [3, 5].

Висновки. Проведений аналіз показав, що нечіткі регулятори здатні забезпечити ефективне управління за умов невизначеності та динамічних змін вхідних параметрів [1, 4].

Основні результати експериментальних випробувань свідчать про те, що застосування запропонованої моделі дозволяє:

- зменшити середньоквадратичну похибку регулювання на 15-20% у порівнянні з традиційними PID-регуляторами [2, 5];
- підвищити стабільність роботи системи завдяки адаптивному реагуванню на зміну умов навколишнього середовища [3, 4];
- забезпечити плавне керування параметрами процесу без різких стрибків і нестабільності [1];
- знизити енергоспоживання технологічних установок шляхом оптимізації керуючих впливів [2, 3].

Отримані результати підтверджують ефективність застосування нечіткої логіки для автоматизації промислових об'єктів, зокрема для оптимізації регулювання тиску та інших параметрів складних технологічних систем [4, 5]. У подальшій роботі планується

вдосконалення моделі шляхом використання адаптивних алгоритмів та поєднання нечіткої логіки з іншими методами штучного інтелекту [1, 3].

Перелік посилань:

1. Клімчук О.В., & Іваненко В.П. (2018). Використання нечіткої логіки в системах автоматизованого керування технологічними процесами. *Вісник технічних наук*, 4(1), 45–52.
2. Takagi T., & Sugeno M. (1985). Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15(1), 116–132.
3. Hellendoorn H., & Driankov D. (1997). *Fuzzy Model Identification: Selected Approaches*. Springer.
4. Mamdani E.H., & Assilian S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13.
5. Zadeh L.A. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1), 28–44.

¹ Бакалаврант 4 курсу Романюк С.М.

¹ Доц., к.т.н. Баган Т.Г.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=THGfTTsAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Автономні системи генерації енергії – це комплекси, які дозволяють виробляти електроенергію незалежно від централізованих електромереж. Вони можуть працювати на традиційних (дизельні та бензинові генератори) або відновлюваних джерелах енергії, таких як сонячні панелі, вітрогенератори, малі гідроелектростанції та біогазові установки [1].

Перші автономні енергосистеми з'явилися ще у XIX столітті, коли Майкл Фарадей відкрив явище електромагнітної індукції, що стало основою для створення електрогенераторів [2]. У кінці XIX століття Томас Едісон та Нікола Тесла розробили електричні мережі змінного та постійного струму, і саме в цей період почали з'являтися автономні електростанції для підприємств та сільських районів. На початку XX століття з'явилися перші дизельні та бензинові генератори, а також малі гідроелектростанції. У другій половині століття розвиток сонячних батарей, перші кремнієві фотоелементи яких були створені в 1954 році в Bell Labs, відкрив нові можливості для автономних енергосистем.

Сучасний розвиток автономних енергосистем базується на інтеграції різних джерел енергії, що включають гібридні рішення, а також використання інтелектуальних систем керування на основі штучного інтелекту та IoT [3]. Дизельні та бензинові генератори залишаються популярними у віддалених районах та на будівництвах завдяки високій надійності, але їхній основний недолік – необхідність використання пального та високий рівень викидів CO₂. Сонячні електростанції є екологічними, мають низькі експлуатаційні витрати, однак залежать від погодних умов та потребують акумуляторних систем для зберігання енергії [4]. Вітрові генератори використовуються у вітряних регіонах, але їхня ефективність залежить від швидкості вітру, а встановлення вимагає значних інвестицій. Малі гідроелектростанції дозволяють ефективно використовувати енергію постійних водних потоків, проте потребують спеціальної інфраструктури. Біогазові та водневі установки є перспективним рішенням для сільських громад та промислових підприємств, дозволяючи ефективно утилізувати органічні відходи.

Сфери використання автономних енергосистем охоплюють широкий спектр галузей. У сільському господарстві такі системи забезпечують енергію для ферм, теплиць та зрошувальних систем. У промисловості вони використовуються на гірничодобувних підприємствах, нафтогазових платформах та у віддалених виробничих об'єктах. Житловий сектор також активно впроваджує автономні енергосистеми, особливо у регіонах із нестабільним електропостачанням. Військові бази, гуманітарні табори та космічні місії також потребують незалежних джерел енергії, таких як портативні генератори та радіоізотопні термоелектричні системи. Крім того, автономні системи широко використовуються у транспортній сфері, зокрема на кораблях, літаках, у кемпінгових трейлерах та експедиційних місіях [5].

Майбутні перспективи автономних енергосистем пов'язані із розвитком технологій накопичення енергії, таких як сучасні літій-іонні, натрій-іонні акумулятори та водневі паливні елементи [6]. Інтеграція з системами штучного інтелекту дозволить оптимізувати споживання енергії та автоматично перемикатися між джерелами живлення залежно від потреби. Значне покращення ефективності відновлюваних джерел енергії очікується

завдяки розробці нових матеріалів для сонячних панелей, таких як перовськіти, та удосконаленню конструкцій вітряків. Також зростає інтерес до модульних і мобільних автономних енергосистем, які можна швидко розгорнути у зонах надзвичайних ситуацій або для забезпечення військових операцій.

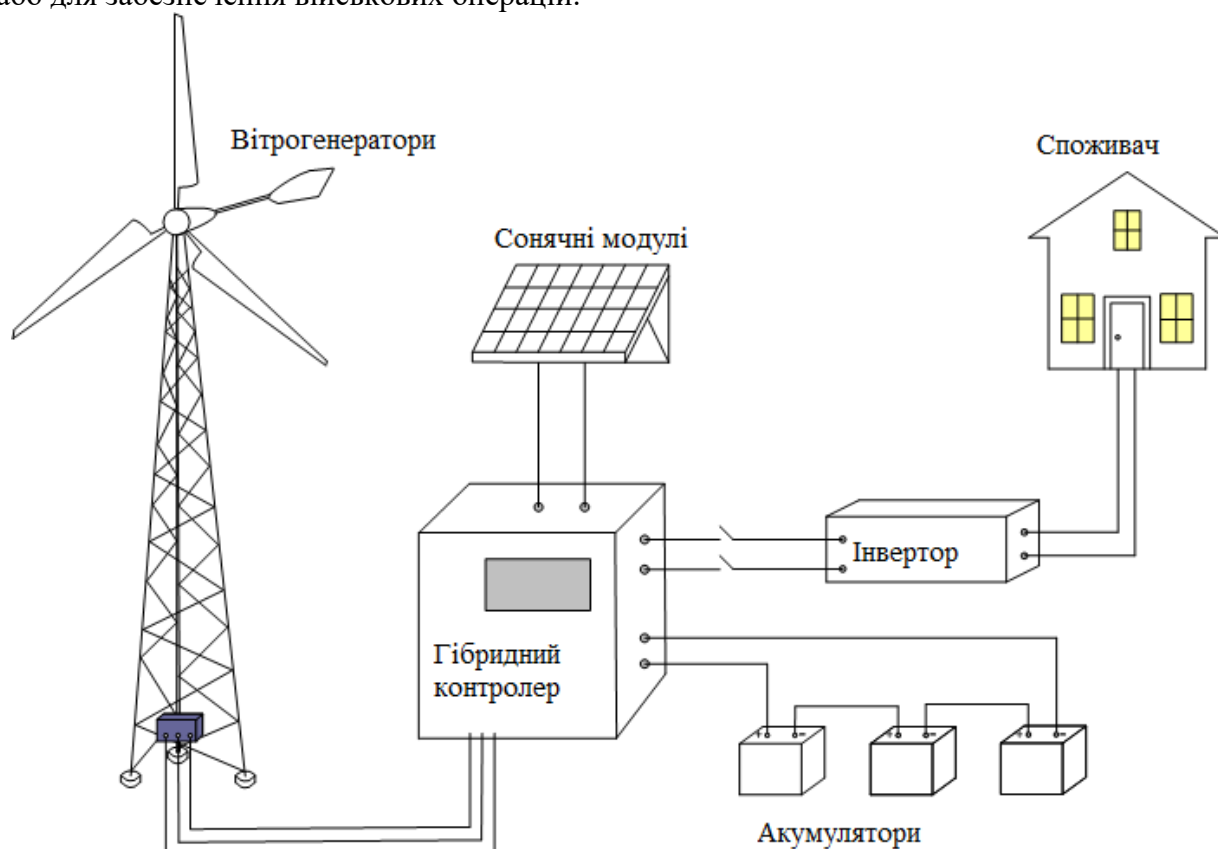


Рисунок 1 – Схема гібридної автономної енергетичної системи

На рис. 1 зображено схему гібридної автономної енергетичної системи, яка поєднує сонячні фотомодулі та вітрогенератор для виробництва електроенергії. Вітрогенератор генерує змінний струм, який передається на гібридний контролер. Аналогічно, сонячні панелі виробляють постійний струм, який також надходить у цей контролер. Основна функція контролера – оптимізація виробленої енергії, її розподіл між акумуляторами та подальша передача до інвертора. Інвертор перетворює постійний струм з акумуляторів у змінний, придатний для живлення навантаження, тобто електроприладів у будинку.

Аналізуючи ефективність такої системи, можна провести базові розрахунки. Якщо сонячна панель має потужність 300 Вт, а середня інсоляція становить 5 годин на день, то добова генерація складе $300 \text{ Вт} \times 5 \text{ год} = 1,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$. Якщо у системі використовується 10 таких панелей, їх загальна генерація складе 15 кВт·год. Вітрогенератор, залежно від швидкості вітру, може виробляти від 1 до 5 кВт·год на день. Таким чином, загальна генерація енергії в оптимальних умовах може досягати 20 кВт·год на добу. Залежно від споживання, ця енергія може повністю покрити потреби середнього домогосподарства.

Автоматизація такої системи дозволяє підвищити її ефективність. Використання датчиків для моніторингу рівня заряду акумуляторів, прогнозування виробітку енергії та оптимізація споживання дозволяє уникнути перевантаження мережі та підвищити стабільність постачання електроенергії. Інтелектуальні алгоритми можуть керувати перемиканням між джерелами енергії, збалансовувати навантаження, а також взаємодіяти з локальними мікромережами для розподілу надлишкової енергії. Впровадження штучного інтелекту дозволить прогнозувати погодні умови та відповідним чином регулювати

використання енергетичних ресурсів. Інтеграція водневих систем та технологій накопичення у майбутньому може значно підвищити автономність таких рішень.

Загалом, дана схема є типовим прикладом сучасних гібридних автономних енергетичних систем, які забезпечують енергетичну незалежність. Автоматизація дозволяє підвищити стабільність роботи системи, зменшити зношення акумуляторів та ефективно розподіляти ресурси. Такі рішення особливо актуальні для регіонів з нестабільним енергопостачанням або у випадках, коли підключення до централізованої мережі є економічно недоцільним.

Перелік посилань:

1. Автономна електрична енергія: що це і чи вигідна? URL: <https://www.solargarden.com.ua/avtonomna-elektrychna-energiya-shho-tse-i-chy-vygidna/> (дата звернення 27.02.2025).

2. Майкл Фарадей відкриття. URL: <https://dovidka.biz.ua/maykl-faradey-vidkrittya/> (дата звернення 27.02.2025).

3. Автономні станції на ВДЕ: досвід споживачів у вирішенні проблем з енергією. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/avtonomni-stantsii-na-vde-riatuiut-koly-nemaie-elektromerezhi> (дата звернення 27.02.2025).

4. Системи автономного живлення. URL: <https://energystorage.com.ua/avtonomnye-sistemy-elektrosnabzheniya/> (дата звернення 27.02.2025).

5. Реальна історія роботи сонячної електростанції за 2020-й та 2021-й роки. URL: <https://inteleng.com.ua/blog-uk/realna-istoriya-roboti-sonyachnoi-elek/> (дата звернення 27.02.2025).

6. Системи накопичення електричної енергії: особливості технологій та сфера застосування. URL: https://protocol.ua/ua/sistemi_nakopichennya_elektrichnoi_energii_osoblivosti_tehnologii_ta_sf_era_zastosuvannya/ (дата звернення 27.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Скрипченко О.А.

¹ Доц., к.т.н. Бунь В.П.

<https://scholar.google.com/citations?user=U9Xoun4AAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕГРАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ В ВЕНТИЛЯЦІЙНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Постановка проблеми та її актуальність. Зараз всі будівлям потрібні ефективні системи вентиляції, щоб забезпечити комфортний та здоровий мікроклімат. Тут людство стикається з проблемою: традиційні вентиляційні системи часто працюють на постійній потужності, що не залежить від реальних потреб системи [1]. В свою чергу це призводить до надмірного споживання енергії, а отже і підвищених експлуатаційних витрат. Саме тому зараз з'являється необхідність у застосуванні автоматизованих систем управління, які б могли забезпечити адаптивне керування вентиляцією, використовуючи реальні умов експлуатації.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження і практичні впровадження показують величезний потенціал автоматизації для того, щоб підвищити ефективності вентиляційних систем. Наприклад, компанія ОВЕН розробила рішення для автоматизації типових систем вентиляції з готовими алгоритмами роботи [2]. Вони дозволяють користувачам керувати вентиляцією за допомогою зовнішнього сенсорного пульта. Також, впровадження систем автоматики для вентиляційних установок з водяним обігрівом забезпечує підтримання заданої температури припливного повітря та керування повітряними клапанами.

Формулювання мети. Огляд та дослідження впливу використання автоматизованих систем управління на енергоефективність вентиляційних установок. Визначення основних переваг таких рішень для споживачів.

Основна частина.

Сучасні вентиляційні системи користуються різними підходами для керування, найпоширеніші це постійний потік повітря, змінне регулювання подачі та адаптивне управління на основі датчиків. Автоматизовані системи управління дають звичайному користувачеві можливість налаштовувати параметри вентиляції відповідно до реальних потреб приміщення, що значно знижує енергоспоживання.

Автоматизовані системи управління включають в себе різні сенсори (температури, вологості, рівня CO₂, якості повітря, тощо). Вони збирають дані про навколишнє середовище. В подальшому, на основі цих даних програмований логічний контролер керує швидкістю обертання вентиляторів, регулює положення клапанів або заслінок та інші параметри з метою забезпечення оптимальних умов роботи системи.

Аналізуючи джерела інформації, можна зробити висновок, що впровадження інтелектуального управління вентиляційними системами дозволяє зменшити енергоспоживання в середньому на 20-50 %. Зокрема, у великих адміністративних будівлях використання вентиляційних систем з регулюванням швидкості обертання вентиляторів призвело до скорочення витрат електроенергії на 35-40 % [3].

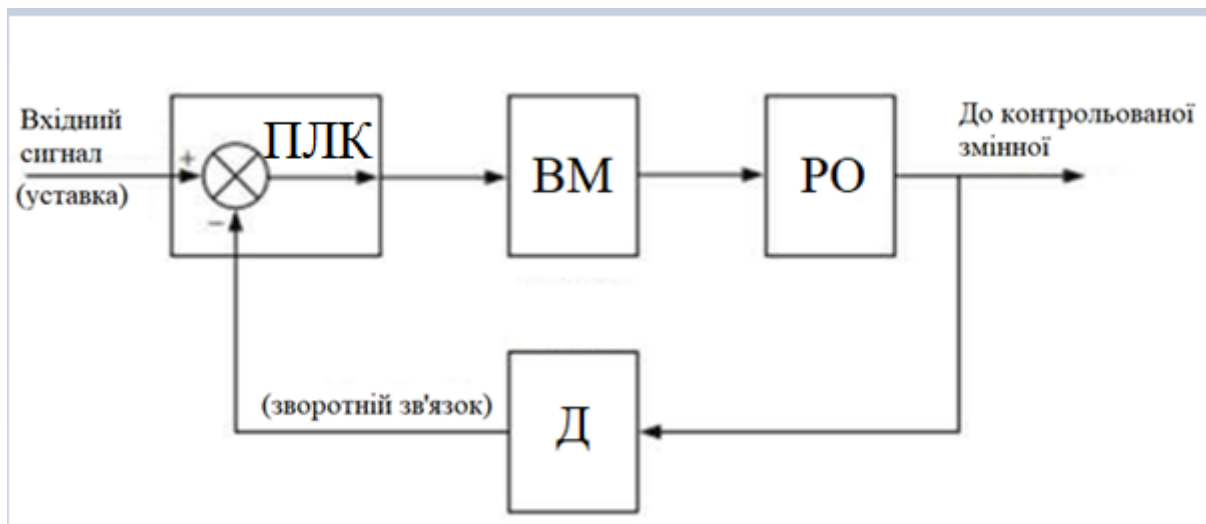


Рисунок 1 – Діаграма циклу регулювання (ПЛК – програмований логічний контролер, ВМ – виконавчий механізм, РО – регулюючий орган, Д – датчик) [4]

Одну з провідних ролей у цьому процесі відіграє можливість адаптивного налаштування системи в залежності від завантаженості приміщень. Завдяки такому керуванню можна зробити таку логіку системи: у години пік система працює на повну потужність, а в неробочий час автоматично переходить у режим мінімального споживання енергії. Це дозволить значно знизити енергоспоживання, що є дуже важливим, особливо в наш час.

Основними методами автоматизованого регулювання вентиляції є:

- Застосування частотних перетворювачів, яке дозволяє змінювати швидкість роботи вентиляторів в залежності від реальних потреб, підвищуючи енергоефективність.
- Використання теплообмінників зменшує втрати теплової енергії, підігрівуючи або охолоджуючи припливне повітря за рахунок використання теплоти витяжного повітря (наприклад рекуператори та ін.).
- Впровадження SCADA-систем дозволяє в режимі реального часу стежити за ефективністю роботи вентиляції, аналізувати історичні дані та прогнозувати потребу в обслуговуванні.



Рисунок 2 – Типова схема вентиляції з рекуперацією тепла [5]

Попри значні переваги автоматизованих вентиляційних систем, існують певні труднощі у їх впровадженні:

- високі капіталовкладення на закупівлю обладнання та впровадження автоматизованого керування;

- необхідність постійного професійного обслуговування та підналаштування системи;
- потреба у додаткових дослідженнях для розробки більш гнучких алгоритмів керування.

У перспективі розвиток технологій дозволить створювати ще більш ефективні системи. Використання цифрових двійників, Інтернету речей (IoT) та машинного навчання може значно покращити адаптивність та ефективність роботи вентиляційних установок [6].

Висновки. Впровадження автоматизованих систем управління у вентиляційні установки є ефективним підходом для підвищення енергоефективності та комфорту в приміщеннях. АСУ надають можливість користувачеві адаптивно керувати роботою вентиляційних систем, при цьому знижуючи енергоспоживання та експлуатаційні витрати. Майбутній розвиток технологій автоматизації надає все більше нових можливостей для оптимізації інженерних систем будівель.

Перелік посилань:

1. Літовко Б.М., Лідер М.Ю., Аналіз способів підвищення енергоефективності систем вентиляції і кондиціонування. Криворізький національний університет. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/2658/2501/2991> (Дата звернення 01.03.2025).
2. Автоматика систем вентиляції й кондиціонування URL: <https://www.airvent.com.ua/uslugi-uk/avtomatika-uk> (Дата звернення 01.03.2025).
3. Степаненко В.А., Веремійчук Ю.А. Інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем. URL: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b627fd31-3c5a-4f51-8356_185ce6aa39e7/content (Дата звернення 02.03.2025).
4. Ross Montgomery, Robert McDowall. Fundamentals of HVAC Control Systems. URL: <https://solucionclimatica.com/wp-content/uploads/2022/06/Fundamentals-of-HVAC-Control-Systems.pdf> (Дата звернення 02.03.2025).
5. Системи вентиляції з рекуперацією тепла: переваги, принцип роботи та установка. URL: <https://vents-shop.com.ua/statti-pro-ventilyaciyu-uk/yak-pracyuie-rekuperator-povitrya/> (Дата звернення 02.03.2025).
6. Бунь В.П., Баган Т.Г., Степанець О.В., Маріяш Ю.І. Автоматизація технологічних процесів. Автоматизація основних інженерних систем будівлі. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0749d205-eef1-4ee3-9dd4-00ce17b14be6/content> (Дата звернення 02.03.2025).

СЕКЦІЯ № 8

**Аспекти розвитку
інженерії програмного
забезпечення
в енергетиці**

¹ Магістрант 1 курсу Ващенко М.Ю.

¹ Доц., к.т.н. Шпурик В.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=biglE98AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

УПРАВЛІННЯ МІКРОГРІД СИСТЕМАМИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ З ВИКОРИСТАННЯМ DEEP Q NETWORK

Постановка проблеми та її актуальність. Мікрогрід системам притаманні невизначеності та динамічні взаємодії між відновлюваною генерацією, попитом на електроенергію та накопичувачами енергії, які вимагають адаптивної стратегії управління, яка здатна обробляти дані високої розмірності.

Традиційні методи навчання з підкріпленням, особливо ті, що базуються на стандартному Q-навчанні, часто виявляються недостатніми в цьому контексті, оскільки вони вимагають дискретизації стану і мають проблеми з масштабуванням у складних, безперервних середовищах. Цей недолік обмежує їхню здатність охоплювати складні взаємозв'язки в динамічних системах.

Переривчаста генерація електроенергії відновлювальними джерелами енергії у поєднанні з невизначеним використанням енергії (через мінливі погодні умови та патерни поведінки споживачів) створює фундаментальну проблему для оптимізації управління мікрогрід систем.

Аналіз останніх досліджень. Методи навчання з підкріпленням (reinforcement learning) продемонстрували ефективність в оптимізації управління потужністю складних мікрогрід систем завдяки своїм потужним можливостям безмодельного та самонавчання [1]. Також, для вирішення проблеми була розроблена двоетапна Model Predictive Control система [2], що інтегрує модель навчання з підкріпленням (з дискретним простором станів) для управління розподіленими енергетичними ресурсами та споживанням електроенергії з метою зниження операційних витрат та підвищення ефективності роботи. Проте, такий підхід навчання з підкріпленням страждає від проблеми розмірностей параметрів, коли кількість станів зростає експоненціально разом із збільшенням кількості змінних стану.

Deep Q Network (DQN), розроблена Google DeepMind [3], є підходом до навчання з глибоким підкріпленням, який поєднує глибокі нейронні мережі з Q-навчанням [4]. Метод враховує обмеження традиційного навчання з підкріпленням при дискретизації середовищ, що включають високорозмірні простори станів. Як правило, він використовує глибоку нейронну мережу для навчання правилам управління, які визначають відповідність станів середовища оптимальним діям, що максимізують очікувану кумулятивну винагороду з часом.

Основна частина. Взаємодія агента (decision-making unit) з середовищем (мікрогрід система) може бути описана за допомогою Марківських процесів вирішування (MDP) з дискретними часовими кроками. Формально це може бути описано кортежем (S, A, R, P_M, γ) , де S – множина станів, що описує середовище, A – множина дій, доступних агенту, R – безпосередня винагорода, $P_M(s_{t+1}|s_t, a_t)$ – ймовірність переходу в стан, яка показує ймовірність того, що агент перейде в стан s_{t+1} , якщо він виконає дію $a_t \in A$ у стані $s_t \in S$, γ – дисконтний коефіцієнт майбутньої винагороди.

На відміну від традиційного Q – навчання (яке використовує таблицю для зберігання очікуваних значень винагороди для кожної пари «action-value»), DQN використовує глибоку нейронну мережу, а не таблицю для апроксимації оптимальної функції цінності $Q^*(s_t, a_t)$:

$$Q(s_t, a_t, w_d) \approx Q^*(s_t, a_t), \quad (1)$$

де w_d – ваги мережі;
 s_t та a_t – вхідні параметри.

Нижче наведено схематичне зображення (рис. 1), яке візуально ілюструє ці взаємодії агент (DQN) взаємодіє із середовищем (системою), отримуючи стан та винагороду, а також виконуючи дії, що спричиняють перехід у наступні стани.

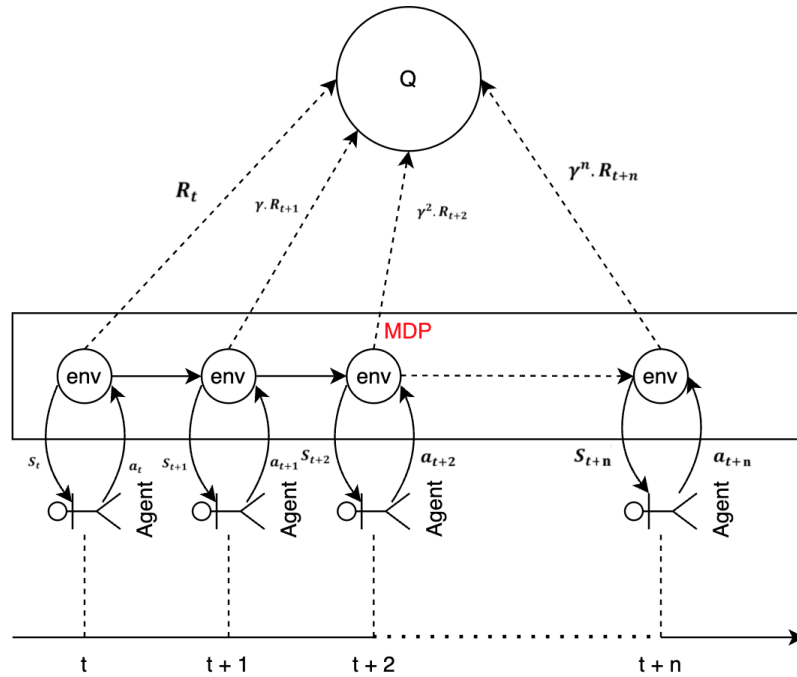


Рисунок 1 – Схематичне зображення взаємодії агента з середовищем

DQN може використовуватись як основний інструмент для прогнозування оптимальної політики управління в режимі реального часу. Графік навчання моделей (рис. 2) демонструє, що з кожним новим епізодом сукупна винагорода моделі зростає, що свідчить про поступове вдосконалення прийняття рішень. По горизонтальній осі відображено кількість навчальних епізодів, а по вертикальній – сукупну винагороду, яка є обернено пропорційною до витрат мікрогрід системи.

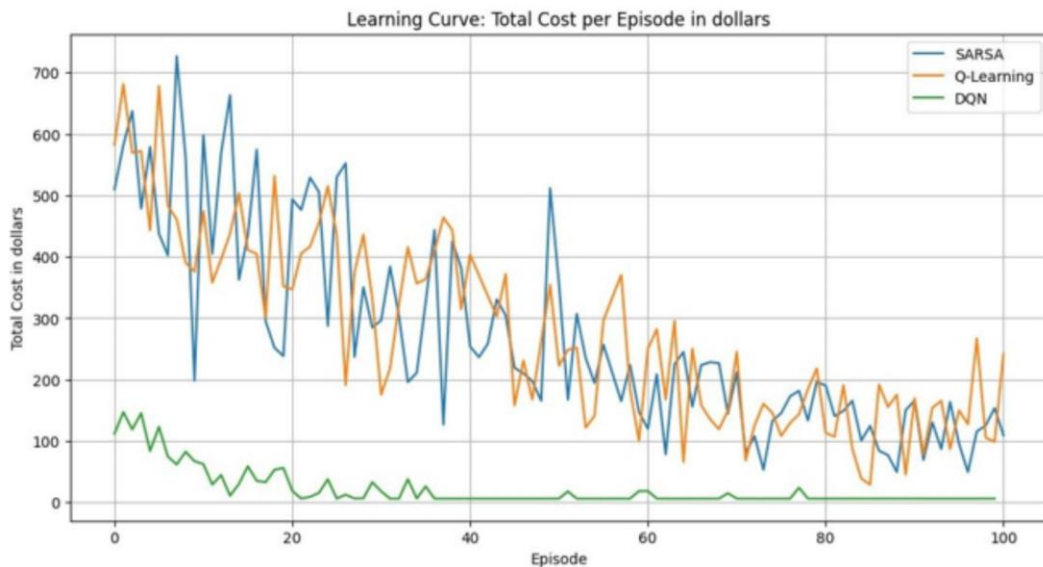


Рисунок 2 – Порівняльний графік кривих навчання моделей [5]

У дослідженні були використані такі параметри навчання: швидкість навчання $\alpha = 0,001$, коефіцієнт дисконтування $\gamma = 0,99$ та стратегія ε -гредієнту, при якій значення ε поступово зменшується від 1 до 0,1 протягом 1000 епізодів. Ці налаштування забезпечують швидку конвергенцію моделі, про що свідчать вузькі діапазони помилок на кривій навчання [6].

Висновки. Проведене дослідження підтвердило ефективність використання Deep Q Network (DQN) для управління мікрогрід системами в режимі реального часу. Результати аналізу кривої навчання свідчать про поступове зростання сукупної винагороди, що є прямим показником зниження експлуатаційних витрат та покращення якості управління енергетичними потоками. Порівняльний аналіз із традиційними методами, такими як Q-навчання та SARSA, продемонструвавши, що DQN забезпечує більш стабільну та швидку конвергенцію завдяки можливості обробки високорозмірних даних.

Перелік посилань:

1. Qiu D., Wang Y., Hua W., Strbac G., Reinforcement learning for electric vehicle applications in power systems: A critical review, Renewable and Sustainable Energy Reviews (2023). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122009339> (дата звернення: 24.02.2025).
2. Ojand K., Dagdougui H., Q-learning-based model predictive control for energy management in residential aggregator, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. URL: <https://www.researchgate.net/publication/353161109> (дата звернення: 24.02.2025).
3. Mnih V., Kavukcuoglu K., Silver D., Rusu A.A., Veness J., Bellemare M.G., Graves A., Riedmiller M., Fidjeland A.K., Ostrovski G., et al., Human-level control through deep reinforcement learning. URL: <https://www.researchgate.net/publication/272837232> (дата звернення: 26.02.2025).
4. Watkins C.J.C.H., Learning from delayed rewards. URL: <https://www.researchgate.net/publication/33784417> (дата звернення 26.02.2025)
5. OuYang X., Fan S., Intelligent Microgrid Energy Management Method Based on Deep Q Network. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2465/1/012030/meta> (дата звернення 1.03.2025).
6. Ramesh S., Sukanth B.N., Jaswanth Sathyavarapu S., Sharma V., Kumaar N., Manju Khanna A.A., Comparative analysis of Q-learning, SARSA, and deep Q-network for microgrid energy management URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-83625-8> (дата звернення: 02.03.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Власюк І.В.

¹ Доц., к.ф.-м.н. Свинчук О.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=5SMpj8cAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

«КОД-ДЕТЕКТИВ»: ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО НАВЧАННЯ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ-ПРОГРАМІСТІВ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасному світі, де технології стрімко розвиваються, особливу увагу приділяють формуванню алгоритмічного мислення у дітей та молоді. Алгоритмічне мислення дозволяє розбивати складні завдання на послідовні кроки, аналізувати їх та знаходити ефективні рішення, що є фундаментом для успішного вивчення програмування та інших технічних дисциплін [1].

Однак, незважаючи на наявність таких інструментів, існує потреба в спеціалізованих додатках, які б фокусувалися саме на вирішенні логічних завдань з програмування. Розробка додатку «Код-детектив» спрямована на заповнення цієї ніші, пропонуючи користувачам інтерактивні завдання, які допомагають розвивати логічне мислення та навички кодування. Це особливо актуально в умовах дистанційного навчання, де необхідно забезпечити якісні та доступні ресурси для самостійного вивчення.

Таким чином, впровадження додатку «Код-детектив» сприятиме підвищенню інтересу до програмування, розвитку алгоритмічного мислення та забезпечить студентів ефективними інструментами для самостійного навчання в сучасному цифровому середовищі.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз останніх досліджень у сфері розвитку логічного мислення та навчання програмування серед студентів-першокурсників свідчить про необхідність впровадження інтерактивних та практично орієнтованих методів навчання.

Одним із ключових аспектів є формування у студентів умінь самостійно навчатися, що включає розвиток логічного мислення та здатності до аналізу. Це досягається через організацію самостійної роботи, яка стимулює активне мислення та пошук рішень.

У навчальному процесі важливо використовувати сучасні підходи до викладання дисциплін, пов'язаних з алгоритмізацією та програмуванням. Це передбачає застосування інтерактивних методів навчання, які сприяють розвитку логічного мислення та практичних навичок програмування [2].

Крім того, дослідження показують, що залучення студентів до розв'язання логічних задач та участі в конкурсах з програмування позитивно впливає на їхню мотивацію та професійний розвиток. Це сприяє поглибленому вивченню предмету та розвитку необхідних компетенцій [3].

Формулювання мети. Для розв'язання логічних завдань з програмування студентами можна використовувати різні підходи. Одним із ефективних методів є застосування інтерактивних навчальних додатків, що поєднують теоретичний матеріал із практичними завданнями, адаптованими до рівня користувача. Отже, метою є розробка та впровадження інтерактивного навчального додатку «Код-детектив» для студентів, який сприятиме розвитку алгоритмічного мислення, удосконаленню навичок програмування та підвищенню ефективності самостійного навчання.

Основна частина. Розв'язання логічних завдань у навчальних додатках для студентів-першокурсників базується на різних підходах, що поєднують алгоритмічні методи, машинне навчання та адаптивні освітні технології.

Одним із підходів, що використовується в освітніх системах, є адаптивне навчання. Воно передбачає зміну рівня складності завдань відповідно до успіхів студента. Цей підхід реалізовано в багатьох освітніх платформах, наприклад, у Code.org і Codecademy. Адаптивні системи оцінюють рівень знань користувача та коригують подальші завдання на основі його відповідей, що підвищує ефективність навчання [4].

Інший підхід передбачає використання інструментів автоматизованого аналізу коду. Такі інструменти, як CheckIO та HackerRank, дозволяють аналізувати розв'язки студентів та надавати детальний зворотний зв'язок щодо помилок та ефективності коду. Вони використовують алгоритми аналізу потоку виконання програми, які можуть виявляти неефективні або некоректні конструкції.

Система CBR (Case-Based Reasoning) застосовується для вирішення задач шляхом порівняння нових проблем із раніше розв'язаними. Вона складається з бази прецедентів, де зберігаються типові завдання та їхні рішення. Під час розв'язання нового завдання система знаходить подібний випадок у базі та пропонує користувачу відповідне рішення. Такий підхід використовується на платформах для розв'язування задач, як-от LeetCode та CodeSignal, що допомагають студентам знаходити оптимальні шляхи вирішення логічних завдань.

Методи, що будуть застосовані в «Код-детективі», мають аналоги в інших сферах. Наприклад:

- 1) метод адаптивного навчання використовується в мовних додатках, таких як Duolingo, де рівень складності вправ змінюється залежно від рівня користувача;
- 2) автоматизований аналіз коду широко використовується в сфері кібербезпеки для виявлення вразливостей у програмному забезпеченні, як-от у платформах SonarQube;
- 3) Case-Based Reasoning застосовується в медичних експертних системах для діагностики захворювань на основі аналізу попередніх випадків.

Таким чином, використання адаптивних алгоритмів, аналізу коду та підходу на основі прецедентів дозволяє створити ефективний навчальний додаток для студентів-початківців, який допомагає розв'язувати логічні завдання, аналізувати помилки та покращувати навички програмування.

Висновки. Розробка додатку «Код-детектив» є важливим кроком у вдосконаленні методик навчання програмуванню для студентів-початківців. Інтеграція адаптивного навчання, автоматизованого аналізу коду та Case-Based Reasoning дозволяє створити ефективну платформу, яка сприятиме розвитку алгоритмічного мислення та покращення навичок програмування. Унікальність дослідження полягає в комплексному поєднанні цих методів у єдиній системі, що персоналізує навчальний процес. Отримані результати можуть бути використані як в закладах освіти, так і самостійного дистанційного навчання, підвищуючи якість підготовки майбутніх фахівців у сфері програмної інженерії.

Перелік посилань:

1. Побудова та розуміння алгоритмів: крок за кроком для новачків. URL: <https://cloud.itstep.org/blog/building-and-understanding-algorithms-a-step-by-step-guide-for-beginners> (дата звернення 01.03.2025)
2. Рудий Т.В., Паранчук Я.С., Сенік В.В. Алгоритмізація та програмування. Частина 1. Структурне програмування: навчальний посібник. Львів: Львівський державний університет внутрішніх справ, 2023. 240 с.
3. Шляхи та методи залучення обдарованої молоді до навчально-пізнавальної діяльності. URL: <https://tinyurl.com/38vu76yw> (дата звернення 25.02.2025)
4. Brusilovsky P. Adaptive Hypermedia. User Modeling and User-Adapted Interaction 11. Vol. 11. 2001. Pp. 87–110. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1011143116306>

¹ Аспірант 1 курсу Войтко А.С.¹ Доц., к.т.н. Кузьмич В.О.<https://scholar.google.com.ua/citations?user=xtZ1iBwAAAAJ>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТРИК В ЧАСОВИХ РЯДАХ

Постановка проблеми та її актуальність. Передбачення чисельних метрик у часових рядах є однією з ключових задач у багатьох сферах науки і техніки, включаючи фінансові ринки, енергетику, медицину, промисловість, транспорт та інформаційні технології. Часові ряди мають складну структуру, що включає тренди, сезонні коливання, циклічні патерни та випадкові шуми, які впливають на точність прогнозів. У зв'язку з цим вибір моделі прогнозування стає критично важливим. Класичні статистичні методи, такі як ARIMA або експоненціальне згладжування, добре працюють на стаціонарних даних, однак можуть виявитися недостатньо ефективними при наявності нелінійних взаємозв'язків або різких змін у часових рядах. У свою чергу, методи машинного навчання, зокрема градієнтний бустинг та нейронні мережі, здатні виявляти складні залежності, проте вони потребують великих обсягів даних, суттєвих обчислювальних ресурсів та правильного налаштування гіперпараметрів. Аналіз ефективності різних підходів до прогнозування часових рядів є важливим завданням, оскільки правильний вибір моделі впливає на якість прогнозів, що, у свою чергу, може мати значні економічні та соціальні наслідки.

Аналіз останніх досліджень. Останні наукові дослідження показують, що ефективність моделей прогнозування залежить від характеристик конкретного часового ряду. Дослідження в сфері економічного прогнозування демонструють, що ARIMA і її розширені версії (SARIMA, ARIMAX) залишаються популярними для короткострокових прогнозів, особливо коли часовий ряд має добре виражену автокореляцію [1]. Методи експоненціального згладжування, такі як Holt-Winters, показують високу ефективність при наявності сезонних компонент [2, 3]. У той же час, дослідження у сфері медицини та енергетики підтверджують, що методи глибокого навчання, зокрема довго-краткострокова пам'ять (LSTM) та трансформери, здатні виявляти складні взаємозв'язки у високочастотних даних, що робить їх ефективними для довгострокового прогнозування. Окремі роботи також демонструють перспективність гібридних підходів, у яких комбінуються традиційні та нейромережеві методи [4]. Наприклад, застосування ARIMA для моделювання лінійних компонент у поєднанні з LSTM для аналізу нелінійних тенденцій дозволяє отримати більш точні прогнози.

Формулювання мети. Метою цього дослідження є проведення комплексного аналізу ефективності різних моделей передбачення чисельних метрик у часових рядах, оцінка їх точності на реальних наборах даних та визначення критеріїв вибору оптимальної моделі залежно від характеристик ряду. Особливу увагу буде приділено порівнянню класичних статистичних методів із сучасними алгоритмами машинного навчання, вивченню впливу параметрів моделей на якість прогнозування, а також розгляду обчислювальної ефективності різних підходів.

Основна частина. Прогнозування чисельних метрик у часових рядах передбачає вибір найбільш відповідного методу залежно від структури даних, доступного обсягу інформації та вимог до точності прогнозу. Основні підходи можна розділити на класичні статистичні методи та методи машинного навчання.

Класичні статистичні методи, такі як ARIMA та його розширені варіанти (SARIMA, ARIMAX), широко використовуються у випадках, коли часовий ряд є стаціонарним або піддається трансформаціям для досягнення стаціонарності. Вони добре працюють на даних

із вираженою автокореляцією та не потребують значних обчислювальних ресурсів, проте є неефективними при моделюванні нелінійних залежностей та потребують детального попереднього аналізу для налаштування параметрів. Методи експоненціального згладжування, зокрема Holt-Winters, показують високу ефективність у випадках, коли дані містять сезонні компоненти. Водночас вони є простими у використанні, але мають обмежену здатність до адаптації при зміні структури даних.

Методи машинного навчання, такі як градієнтний бустинг (XGBoost, LightGBM, CatBoost) та нейронні мережі (LSTM, трансформери), дозволяють виявляти складні залежності у часових рядах. Градієнтний бустинг добре працює з числовими даними та дає можливість поєднувати кілька слабких моделей у потужну ансамблевую модель. Нейронні мережі, особливо LSTM, GRU та трансформери, демонструють високу ефективність для високочастотних даних та нелінійних залежностей, адже вони здатні зберігати довготривалі залежності, що робить їх придатними для довгострокового прогнозування. Водночас методи машинного навчання мають і недоліки, серед яких висока обчислювальна складність, потреба у великих обсягах даних для навчання та чутливість до вибору гіперпараметрів.

Один із сучасних напрямків досліджень полягає у поєднанні класичних статистичних методів із нейромережами. Наприклад, ARIMA може використовуватися для прогнозування лінійної складової часового ряду, тоді як LSTM або трансформери – для виявлення нелінійних залежностей [5]. Такі гібридні підходи дозволяють отримати вищу точність прогнозування.

Можливі шляхи вирішення проблеми. На основі аналізу ефективності різних моделей прогнозування можна виділити кілька напрямків покращення якості прогнозів. Одним із таких напрямків є автоматизований вибір моделі, що передбачає використання алгоритмів AutoML (наприклад, Facebook Prophet [6], AutoTS) для автоматичного підбору параметрів та вибору найкращої моделі для конкретного типу часового ряду. Іншим підходом є застосування комбінованих методів, де класичні статистичні алгоритми поєднуються з методами машинного навчання. Наприклад, ARIMA може використовуватися для моделювання лінійних компонент, тоді як нейронні мережі аналізують нелінійні тренди.

Оптимізація моделей машинного навчання також є важливим напрямком покращення прогнозування. Використання сучасних архітектур трансформерів, таких як Temporal Fusion Transformer або Informer, дозволяє ефективніше обробляти складні часові ряди. Додатково, застосування методів доповнення даних (data augmentation) сприяє покращенню навчання моделей. Для підвищення ефективності роботи алгоритмів варто впроваджувати механізми інтерпретованості моделей, що дозволять краще розуміти, як саме вони здійснюють передбачення.

Ще одним важливим напрямком є зменшення обчислювальної складності, що може бути досягнуто за рахунок застосування методів зменшення розмірності даних (PCA, t-SNE) та оптимізації архітектури нейронних мереж. Це дозволить зменшити потребу у великих обчислювальних ресурсах, що є особливо актуальним при використанні глибокого навчання. Крім того, перспективним є використання адаптивних моделей, які здатні динамічно змінювати свої параметри залежно від змін у часовому ряді. Наприклад, моделі зі зміною ваг можуть оновлювати свої прогнози в режимі реального часу, що забезпечить більшу точність у випадках нестабільних або змінних часових рядів.

Висновки. Аналіз ефективності моделей передбачення чисельних метрик у часових рядах показав, що вибір підходу до прогнозування залежить від характеристик самого ряду, доступного обсягу даних та вимог до точності прогнозу. Класичні статистичні методи, такі як ARIMA та експоненціальне згладжування, є ефективними для роботи зі стаціонарними даними, що мають добре виражені сезонні компоненти, проте мають обмежену здатність до адаптації в умовах складних нелінійних процесів. Методи машинного навчання, зокрема градієнтний бустинг, LSTM та трансформери, демонструють високу ефективність при

прогнозуванні складних залежностей у часових рядах, однак вимагають значних обчислювальних ресурсів та ретельного налаштування гіперпараметрів. Одним із перспективних напрямків є застосування гібридних моделей, які поєднують класичні методи та нейромережі для досягнення вищої точності прогнозування.

Подальші дослідження можуть бути зосереджені на розробці адаптивних алгоритмів прогнозування, які б враховували зміну структури даних у реальному часі, а також на оптимізації обчислювальних ресурсів для ефективного використання методів глибокого навчання.

Перелік посилань:

1. Sirisha U.M., Belavagi M.C., Attigeri G. Profit prediction using ARIMA, SARIMA and LSTM models in time series forecasting: A comparison. IEEE Access. 2022. V. 10. P. 124715–124727.
2. Kochetkova I., et al. Short-term mobile network traffic forecasting using seasonal ARIMA and Holt-Winters models. Future Internet. 2023. V. 15, № 9. P. 290.
3. Zhou W., Tao H., Jiang H. Application of a novel optimized fractional grey Holt-Winters model in energy forecasting. Sustainability. 2022. V. 14, № 5. P. 3118.
4. Deina C., dos Santos J.L.F., Biuk L.H., Lizot M., Converti A., Siqueira H.V., Trojan F. Forecasting electricity demand by neural networks and definition of inputs by multi-criteria analysis. Energies. 2023. V. 16. P. 1712. URL: <https://doi.org/10.3390/en16041712>.
5. Sizykh N., Orshanskaya E., Sizykh D. Forecasting ability of hybrid methods on an example of stock prices forecast using ARIMA/LSTM. 15th International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD). IEEE, 2022.
6. Taylor S., Letham B. Forecasting at scale. PeerJ Preprints. 2017. URL: <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2>

¹ Аспірант 1 курсу Дащик А.С.

¹ Доц., к.т.н. Залевська О.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=v4Quig0AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні інженерні та наукові завдання все більше залежать від точного і швидкого моделювання складних фізичних процесів, таких як теплообмін. Теплообмін є критично важливим у багатьох галузях, включаючи енергетику, машинобудування та авіацію. Забезпечення ефективного теплообміну в енергетичних установках та охолоджувальних системах дозволяє зменшити енерговитрати, підвищити ефективність використання ресурсів та забезпечити надійність експлуатації обладнання. Топологічна оптимізація є важливою складовою сучасного інженерного проектування, яка дозволяє знаходити найефективніші геометричні форми конструкцій для заданих обмежень, включаючи й обмеження пов'язанні з теплопровідністю [1]. Щоб цей метод був дійсно ефективним в практичних задачах наукового і інженерного спрямування, потрібні потужні програмні засоби, які здатні швидко виконувати складні обчислення та інтегрувати різноманітні фізичні моделі в рамках єдиного робочого процесу.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження демонструють значний прогрес у розробці та вдосконаленні програмного забезпечення, спрямованого на підвищення ефективності інженерних рішень [1, 2]. З розвитком числових методів і обчислювальних ресурсів з'явилася велика кількість програмних продуктів для реалізації цих задач. Оскільки більшість наукових робіт використовує комерційне програмне забезпечення для вирішення практичних та теоретичних задач, питання обґрунтованого вибору встає досить гостро [2].

Формулювання мети. З огляду на різноманіття програмних продуктів для топологічної оптимізації, важливо оцінити, наскільки широко використовуються ці інструменти науковою спільнотою. Одним із показників популярності є кількість досліджень, які застосовують певне програмне забезпечення для топологічної оптимізації. Цей аналіз стане підґрунтям для подальшого дослідження сильних і слабких сторін програмних продуктів для топологічної оптимізації, що дасть змогу виділити найбільш корисні практики заради їх подальшого удосконалення.

Основна частина. База даних Scopus [3] є однією з найавторитетніших бібліографічних платформ для наукових досліджень, що забезпечує досить високу релевантність отриманих результатів при аналізі наукових публікацій. Для більш повного та змістовного аналізу варто використовувати декілька баз даних з різним покриттям, що потребує додаткових ресурсів на збір та узгодження отриманих даних [4]. Але у зв'язку з тим що дана робота зосереджена лише на виявленні сучасних тенденцій у науковому використанні програмного забезпечення для топологічної оптимізації, а не на детальному аналізі самих напрямків досліджень, то було прийнято рішення обмежитися аналізом публікацій в базі даних з найбільшим покриттям у галузях природничих та технічних наук.

Оскільки коректність отриманих результатів та їх аналізу цілком визначається параметрами пошукового запиту, доцільно було сформулювати найбільш прості та зрозумілі критерії пошуку. Пошук було виконано по полям «Article title, Abstract, Keywords» за пошуковим запитом (1):

$$X \text{ AND topology AND optimization,} \quad (1)$$

де X – це найбільш розповсюджена назва програмного забезпечення (напр. «COMSOL»).

Для аналізу було обрано період з 2020 по 2024 роки. Протягом п'яти років можна виявити важливі тенденції використання програмного забезпечення у науковій діяльності, а також проаналізувати динаміку адаптації цих програмних продуктів. Публікації за початок 2025 року не ввійшли до вибірки, оскільки деякі статті та конференції можуть бути не проіндексовані, що при аналізі може призвести до хибних висновків.

Рис. 1 демонструє помітне зростання інтересу наукової спільноти як до топологічної оптимізації так і до спеціалізованого програмного забезпечення. Також з першого погляду видно домінуючі позиції ANSYS. Кожного року кількість публікацій з використанням ANSYS перевищує більш ніж в два рази кількість публікацій найближчого конкурента, що безумовно свідчить про високий рівень якості цього програмного забезпечення.

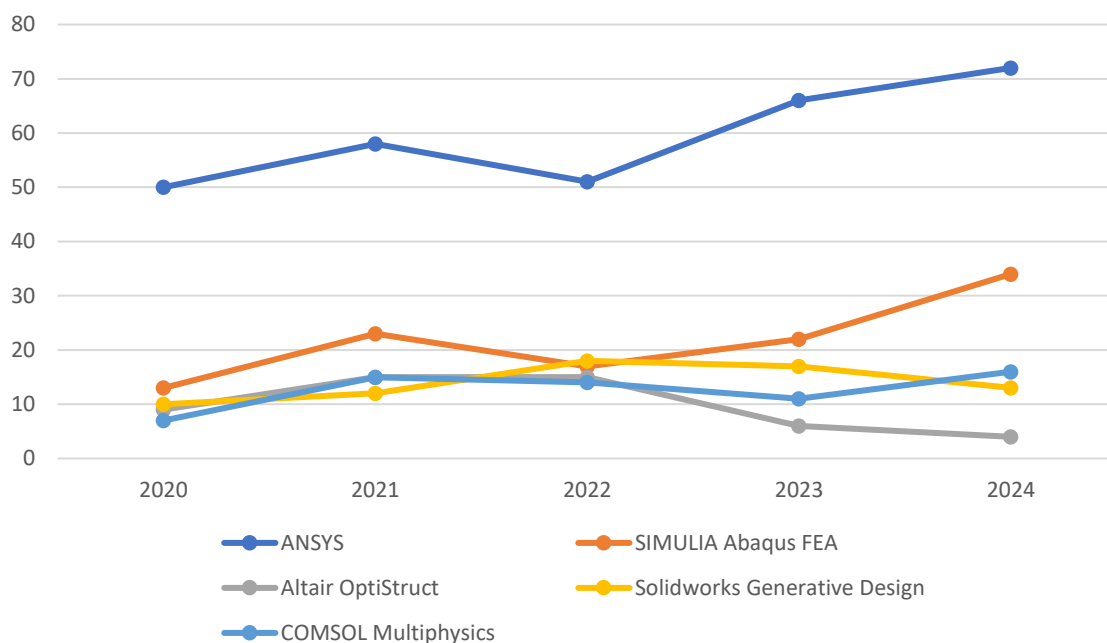


Рисунок 1 – Динаміка кількості наукових публікацій в базі Scopus з 2020 по 2024

Але якщо з лідером та можливо в деяких випадках навіть стандартом ситуація прозора та зрозуміла, то розподіл публікацій між іншими представниками даної сфери дає підґрунтя для певної дискусії.

За 2021 рік темпи росту цієї групи були навіть більші ніж в ANSYS, особливо виділяється COMSOL Multiphysics з приростом в 114 %, навіть в абсолютних значеннях приріст тримається на одному рівні з ANSYS та становить 8 публікацій. Наступний 2022 рік став переломним, позитивну динаміку показує лише Solidworks Generative Design і посідає друге місце з 18 публікаціями.

В період з 2022 по 2024 Altair OptiStruct та Solidworks Generative Design показують стабільний регрес. Інші програмні комплекси показують позитивну тенденцію, за виключенням того, що COMSOL Multiphysics в 2023 обрали лише для 11 публікацій.

Таким чином найбільш значне зростання наукового інтересу за цей період демонструють ANSYS та SIMULIA Abaqus FEA, що вказує на правильно підбрану стратегію розвитку програмного забезпечення. Цікавим претендентом на успіх можна вважати COMSOL Multiphysics з досить непоганою динамікою, але безумовно цей програмний продукт потребує вдосконалення. Solidworks Generative Design демонструє досить нерівномірний попит у науковій спільноті, що скоріш за все потребує більш детального дослідження. Натомість Altair OptiStruct останні два роки послідовно втрачає свої позиції.

Якщо розглядати сукупну кількість наукових публікацій за весь період з 2020 по 2025 (рис. 2), можна зробити висновки щодо відносної популярності цих програмних продуктів в публікаціях пов'язаних з топологічною оптимізацією.

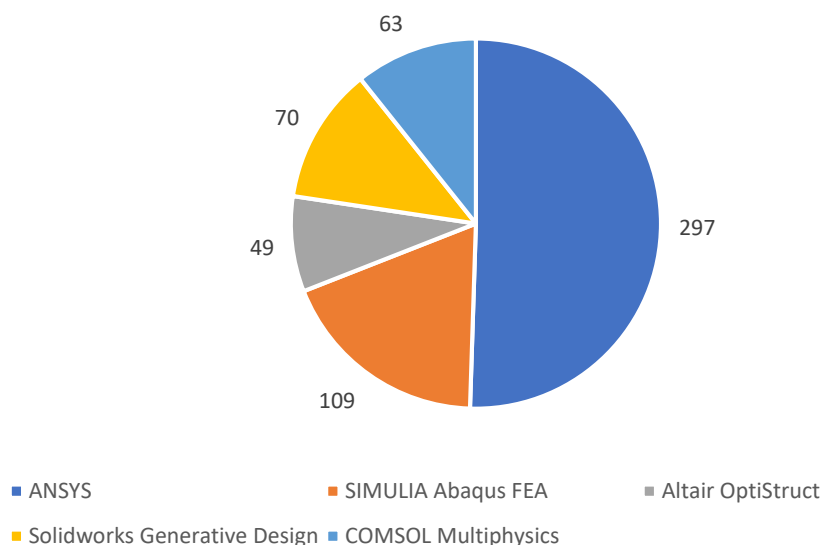


Рисунок 2 – Сукупна кількості наукових публікацій в базі Scopus з 2020 по 2024

Доля ринку ANSYS по розміру дорівнює загальній долі чотирьох його конкурентів. Що безумовно ще раз підтверджує, що ANSYS лідер ринку наукових розрахунків в сфері топологічної оптимізації і має суттєвий вплив на всю індустрію. SIMULIA Abaqus FEA в свою чергу являється першим конкурентом і впевнено займає друге місце з 109 публікаціями. Інші представники програмного забезпечення мають приблизно однакову популярність.

Висновки. Аналіз кількості публікацій та динаміки їх змін за період з 2020 по 2024 роки надав підтвердження про ріст популярності методів топологічної оптимізації в наукових дослідженнях та продемонстрував розвиток ринку спеціалізованого програмного забезпечення. Виділено два програмних продукти, які потребують дослідження для виділення найбільш результативних практик: ANSYS та SIMULIA Abaqus FEA, два потенційно успішних продукти які потребують вдосконалення: COMSOL Multiphysics та Solidworks Generative Design і один популярність до якого падає: Altair OptiStruct.

Перелік посилань:

1. Topology optimization of heat exchangers: a review / A. Fawaz et al. Energy. 2022. P. 124053.
2. Tyflopoulos E., Steinert M. A comparative study of the application of different commercial software for topology optimization. Applied sciences. 2022. Vol. 12, no. 2. P. 611.
3. Scopus. URL: <https://www.scopus.com/> (дата звернення 01.03.2025).
4. Mongeon P., Paul-Hus A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. Scientometrics. 2015. Vol. 106, no. 1. P. 213–228.

¹ Магістрант 1 курсу Дудкін О.М.

¹ Проф., д.т.н. Мусієнко А.П.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=EvdJcxsAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні технології здебільшого допомагають виконувати таку роботу, яка вручну могла б бути занадто довга та/або важка для звичайної людини. Більшість технологічних винаходів можна сміливо прирівнювати, узагальнюючи, до інформаційних систем і власне працювати з цими відкриттями, зводячи увесь аналіз їх роботи до теорії графів. Термін «система» найчастіше визначається як множина взаємопов'язаних між собою елементів, що утворюють єдине ціле; відповідно інформаційними називають ті системи, що працюють із певними даними, отримуючи вхідні відомості і на виході видаючи результат системи, теж часто в якості конкретної інформації.

Однією з розповсюджених задач, пов'язаних із інформаційними системами, є аналіз стабільності і стійкості роботи системи, тобто її можливості виконувати поставлені задачі (або хоча б визначений мінімум прописаних вимог) за відмов у роботі однієї чи декількох елементів. Найчастіше у наукових джерелах фігурує термін «функціональна стійкість», який пов'язаний із «надійністю», «живучістю» та «відмовостійкістю», але сама стійкість не описує способи зниження кількості збоїв в роботі, а натомість має на увазі забезпечення виконання якнайбільше функцій вже після збою в роботі складових системи. Для оцінки функціональної стійкості використовують різноманітні методи та підходи, в залежності від структури інформаційної системи, її сфери діяльності та рівня абстракції і узагальнення. Але в більшості випадків методології або вузько направлені, або не дуже зручні для розрахунків, особливо автоматизованих калькуляцій на цифрових пристроях.

В останні часи, розповсюдженим підходом до вдосконалення роботи будь-яких технологій є використання Штучного Інтелекту (ШІ) як науки. Дуже поширеним напрямом ШІ є машинне навчання, яке включає в себе алгоритми, здатні до навчання на базі отриманих даних шляхом вирішення великої кількості подібних задач. Саме аспект навчання і автоматичної адаптації може зробити оцінку функціональної стійкості швидшою, і при цьому програмна реалізація потребуватиме набагато менше ресурсів.

Аналіз останніх досліджень. Використання машинного навчання, зокрема нейромереж для оцінки функціональної стійкості не є новою ідеєю [1, 2], але майже в усіх таких дослідженнях фігурують оцінки відносно конкретних випадків. Ці теоретичні результати хоча і корисні для своїх галузей, але потребують певного узагальнення, тим паче що між собою вони також не дуже пов'язані.

Формулювання мети. Для того, щоб визначити способи впровадження машинного навчання у розрахунках функціональної стійкості, потрібно з'ясувати, яким чином розраховуватиметься функціональна стійкість, які методи машинного навчання будуть використовуватися і де саме. Як висновок, можна порівняти використання машинного навчання і класичних методів оцінки.

Основна частина

Функціональна стійкість інформаційної системи може бути виміряна різними способами та за різними критеріями. Найпоширеніший і до того ж узагальнений підхід – зображення інформаційної системи в якості графу, частіше неорієнтованого, де для кожного його елемента (або тільки ребра, або тільки вершини) визначений показник

ймовірності справності p , тобто ймовірності того, що визначена складова системи буде працювати протягом конкретного періоду.

Оцінку стійкості провести в такому випадку іноді може бути доволі просто: потрібно з'ясувати чи є граф однокомпонентним, тобто зв'язним та чи не має мостів з'єднання (або вузлів з'єднання, якщо ймовірності справності вказані для вершин), тобто одиничних елементів, що з'єднують декілька компонент графа між собою. Але якщо система дуже велика, або вимогою є точна оцінка – виникає потреба створити критерії функціональної надійності. Виділяють наступні 3 показники функціональної стійкості [3]:

- показник вершинної зв'язності $\chi(G)$ – це найменша кількість вершин, видалення яких відповідно разом з їх ребрами призводить до утворення незв'язного графа (або взагалі одновіршинного);
- показник реберної зв'язності $\lambda(G)$ – це найменша кількість ребер, видалення яких призводить до утворення незв'язного графа;
- ймовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ – це ймовірність того, що дані з елемента i буде передано в елемент j за час не більший за показник t .

На практиці використовується саме останній показник, причому i час не вказується, оскільки вважається певною константою, і більше ні в яких обчисленнях ролі не грає.

Функціональна стійкість системи полягає у тому, що, знаючи ймовірності справності усіх елементів, можна визначити ймовірність зв'язності між двома складовими, умовно одну з яких позначивши як першу, а іншу як останню, як зображено на рисунку. Таким чином можна визначити цей «шлях» як виконання основної роботи системою, а ймовірність зв'язності – це шанс того, щоб система впоралась, враховуючи збої різних елементів.

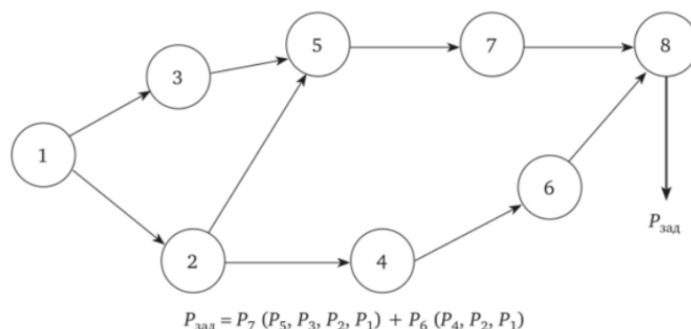


Рисунок 1 – Система у вигляді графу із пронумерованими вершинами

Способи машинного навчання можна класифікувати за 3 основними напрямками [4]: кероване навчання, некероване навчання, і навчання з підкріпленням. Розглянемо детально кожен напрям, відносно оцінки функціональної стійкості.

Кероване навчання або навчання з вчителем – це підхід, за якого увесь аналіз даних і подальші зміни відбуваються за чіткими правилами, визначеними людиною. Система (модель), що навчається, намагається отримати те значення, яке вже наперед було прописано як правильний чи кінцевий результат. Використання такого способу машинного навчання, наприклад у вигляді нейромереж, може допомогти швидко розраховувати ймовірність зв'язності для конкретної системи, за наявності вже натренованої моделі.

Некероване навчання або навчання без вчителя – це метод машинного навчання, який має на увазі розвиток під час виконання алгоритму, але без чітких формул та правил. Наприклад, програма може зафіксувати самостійно випадковий критерій у системи, і вже по ньому будувати зв'язок між ним і показником функціональної стійкості самої системи.

Навчання із підкріпленням – це спосіб машинного навчання, при якому програма взаємодіє з динамічним середовищем і, маючи певну мету, робить усе можливе щоб її досягти, адаптуючись під різні умови. Використання цього підходу для оцінки функціональної стійкості легше за все уявити у симуляції, де інформаційна система матиме працювати у тестовому середовищі. Даний метод машинного навчання може як спростити розрахування самих ймовірностей справності елементів системи для полегшеного збору

початкових даних, так і пришвидшити розрахунок вже за наявності ймовірностей.

Загальний порівняльний аналіз підходів машинного навчання і класичних методів оцінки функціональної стійкості відображений у таблиці 1, враховуючи і переваги, і недоліки, і ситуації, з яких методи найбільш корисні. Методи повного перебору та граничні оцінки (наприклад метод Литвака-Ушакова) вже були порівняні між собою в іншому дослідженні [5], тому тут детально увагу на класичні методи звертати не будемо.

Таблиця 1 – Оцінка функціональної стійкості: класичні типи методів та методи машинного навчання

Метод оцінки	Перевага	Недолік	Ситуація, за якої найкраще використати
Повний перебір	Найточніший розрахунок	Потребує великої кількості ресурсів та часу на розрахунки	Коли досліджувані системи невеликі
Граничні оцінки	Швидкий розрахунок	Зменшена точність	Коли точність оцінки не важлива
Кероване навчання	Може бути і швидким і точним	Окремий алгоритм потрібен для кожної системи	Коли кількість систем для аналізу невелика
Некероване навчання	Може знайти зв'язок між різноманітними параметрами системи	Не гарантує успіху після впровадження	Коли ціллю є не тільки оцінка стійкості, а й аналіз самої системи
Навчання із підкріпленням	Може полегшити і збір початкових даних, і розрахунок оцінки стійкості	Потребує додаткових ресурсів для симуляції середовища	Коли є можливість побудувати симуляцію системи

Видно, що деякі методи можуть допомогти знайти додаткову інформацію, але при цьому не гарантують позитивного результату навіть в розрахунках основної.

Висновки. Отже, підводячи підсумки, можна сказати, що машинне навчання спроможне доволі сильно вплинути на розрахунки функціональної стійкості, особливо в залежності від ситуації та використовуваної інформаційної системи. Такі підходи потребують додаткових ресурсів, але можуть суттєво змінити спосіб як оцінки стійкості системи, так і інших можливих її характеристик. Крім того, методи машинного навчання можна взагалі використовувати для того, щоб обирати більш зручний класичний метод, в залежності від архітектури системи та вимог.

Перелік посилань:

1. Собчук А.В. Застосування нейромереж для забезпечення функціональної стійкості виробничих процесів / А.В. Собчук, Ю.І. Олімпієва // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2020. – № 2 (67). – С. 13–28.

2. Собчук В.В., Замрій І.В., Олімпієва Ю.І., Лаптев С.О. Функціональна стійкість технологічних процесів на основі нелінійної динаміки із застосуванням нейромереж. Сучасні інформаційні системи. 2021. Т.5. № 2. Р. 49–57. DOI: 10.20998/2522-9052.2021.2.08

3. Машков О.А., Барабаш О.В. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології, 2005. Вип.1. С. 157 – 163.

4. Types of Machine Learning You Should Know. Coursera. URL: <https://www.coursera.org/articles/types-of-machine-learning> (дата звернення: 01.03.2025).

5. Барабаш О.В., Мусієнко А.П., Макачук А.В. Порівняльний аналіз методів визначення показників функціональної стійкості інформаційних систем на прикладі повного перебору та методу Литвака-Ушакова. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2023. – № 4. – С. 57–63.

¹ Аспірант 1 курсу Лебедєв А.В.

¹ Проф., д.т.н. Федорова Н.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=uRvUNAcAAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОБЛЕМИ АДАПТАЦІЇ ТРАДИЦІЙНИХ ПІДХОДІВ МУТАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ДО СИСТЕМ З МАШИННИМ НАВЧАННЯМ

Постановка проблеми та її актуальність. Протягом останніх десяти років моделі машинного навчання (МН), зокрема глибокого навчання, стали широко використовуватися і впроваджуватися у різні галузі, що вимагають високої точності та надійності, таких як медицина, фінанси, енергетика та оборонна промисловість. Якість та стабільність має бути на високому рівні задля уникнення критичних наслідків.

Через стохастичну природу та унікальні особливості моделей МН їх тестування є доволі важкою задачею. До того ж традиційні методи тестування часто потребують адаптації для можливості їх використання до моделей МН, бо процеси розробки таких систем відрізняються. Не виключенням є й мутаційний аналіз, який добре зарекомендував себе для традиційних систем. Найбільші складнощі в адаптації виникають при визначенні об'єктів тестування та створенні мутаційних операторів, здатних дійсно імітувати можливі помилки розробників.

Саме тому аналіз проблем використання тестування мутаціями в контексті моделей машинного навчання й розробка стратегічних напрямків їх вирішення є актуальними і необхідними завданнями.

Аналіз останніх досліджень. Тема мутаційного аналізу в традиційних системах ретельно досліджена в працях Ю. Цзя та М. Гармана [1], а також Ц. Чжу, А. Панічелли й Е. Зайдмана [2]. Проте застосування мутаційного аналізу до систем з МН лише починає формуватися як окремий науковий напрям. Серед перших робіт варто відзначити дослідження Л. Ма, Ф. Чжан, Цз. Сунь, М. Сю, Бо Лі та Ф. Цзюфей-Су [3], у якому представлено мутаційні оператори на рівні коду й навченої моделі. Майже у той самий час В. Шен, Цз. Ван та Чж. Чен [4] представили методику тестування, орієнтовану виключно на рівень моделі.

Однак ці напрацювання зазнають критики через недоліки в урахуванні стохастичної природи навчання й неефективність мутаційних операторів. Так, наприклад, А. Панічелла й С. Лієм [5] наголошують на потребі правильного визначення об'єкта тестування й пропонують план дій для подолання виявлених проблем.

Попри зростання зацікавленості світової спільноти в цьому напрямі, у вітчизняному науковому середовищі тема все ще залишається недостатньо вивченою, що підтверджує її актуальність.

Формулювання мети. Метою дослідження є аналіз й систематизація проблем, які виникають під час адаптації традиційних підходів мутаційного аналізу до систем машинного навчання та визначення напрямків їх потенційних рішень.

Основна частина. Концепція мутаційного аналізу бере свій початок у 1970-х роках, її згадування можна прослідкувати у роботі Р. ДеМілло, Р. Ліптон та Ф. Сейвард [6]. Для традиційних систем тестування мутаціями описується як процес, під час якого генерується велика кількість копій вихідної системи, кожна з яких містить незначну зміну зроблену оператором мутації, як, наприклад, заміна операції додавання на віднімання. Потім для кожного мутанта запускається тестовий набір, що дає змогу оцінити повноту та ефективність тестового покриття. Мутанти, які пройшли тестування, допомагають визначити потенційні проблеми в тестовому наборі.

Однак для моделей МН не можливо використати мутаційний аналіз без адаптації, адже процес їх розробки, підтримки та впровадження суттєво відрізняється від класичних систем. У перших дослідженнях в цій сфері [3, 4] автори намагаються зіставити концепції, зазначивши, що джерела помилок у моделей МН можуть бути значно різноманітнішими ніж у звичайному програмному забезпеченні. Так, наприклад мутаціям можуть піддаватися тренувальні дані, гіперпараметри, розташування шарів, ваги та інші елементи моделей. Л. Ма разом з іншими авторами [3] пропонують застосовувати оператори, які вносять модифікації до тренувальної програми, навчального набору та готової моделі. Натомість В. Шен, Цз. Ван і Чж. Чен [4] сфокусувалися лише на змінах структурних елементів вже навченої моделі. Обидва підходи показали ефективність та спроможність винаходити слабкі місця моделей, проте жоден з авторів не відповідає на фундаментальне питання: «Що саме має піддаватися мутаціям під час аналізу у моделях МН?»

Для визначення проблематики питання насамперед слід повернутися до класичного розуміння мутаційного аналізу в традиційних системах [1, 2]. Згідно з ним об'єктом мутацій є вихідний код, а об'єктом аналізу – тестовий набір. У контексті моделей МН для ролі об'єкта мутацій є кілька можливих кандидатів: навчальна вибірка, тренувальна програма та безпосередньо навчена модель. Об'єктом аналізу для таких систем є тестова вибірка, яка являє собою підмножину вихідного датасету. Розглянемо кожен з вищезгаданих кандидатів на предмет їх придатності на роль «вихідного коду» для мутацій.

На перший погляд, тренувальна програма, яка визначає структуру та гіперпараметри моделі, виглядає перспективним кандидатом, адже зміни в ній безпосередньо впливають на модель. Втім, як відзначають А. Панічелла та С. Лієм [5], вона радше виконує роль генератора коду, а не є справжнім вихідним кодом. Інакше кажучи, трактувати тренувальну програму як «вихідний код» – це приблизно те саме, що вважати фреймворк повноцінним вихідним кодом WEB-сервера. До того ж як зазначають самі автори [3] у рамках проведеного експерименту щодо впливу змін на результат моделей, мутаційні оператори рівня тренувальної програми породжують мутантів, які не переживають процес тестування, а отже, не сприяють оцінюванню тестового набору.

Тренувальні дані теж можуть зазнавати мутацій, проте такі зміни насамперед впливають на логіку моделі, а не дають змогу оцінити повноту та якість тестового набору. Фактично ми перевіряємо стійкість тренувальної програми до змін у даних, що не відповідає цілям тестування мутаціями, де об'єктом аналізу є тестовий набір, а не вихідна програма.

Навчену модель часто розглядають як найбільш доцільний об'єкт для внесення мутацій, адже вона найближча до поняття “вихідного коду” на етапі експлуатації. Водночас постає питання, чи можуть зміни на цьому рівні дійсно імітувати помилки, притаманні розробникам. Адже зазвичай навчання моделі відбувається фреймворком за чітко визначеним алгоритмом, де немає місця випадковим модифікаціям, як, наприклад, додавання чи вилучення шару мережі. Щобільше, така зміна може взагалі не позначитися на поведінці моделі чи, навпаки, мати непередбачувані відхилення, які нічого не скажуть про якість тестів.

Таким чином, пропонується список порад для розробників програмного забезпечення, які дозволять не лише інтегрувати мутаційний аналіз у процес тестування моделей машинного навчання, а й зберегти першооснови класичного методу:

1. Під час проєктування операторів мутацій важливо чітко розмежувати вихідний код та тестовий набір.
2. Підтверджувати реалістичність мутаційних операторів шляхом виконання емпіричних досліджень.
3. Консультуватися з експертами у сфері розробки моделей МН для виявлення потенційних проблем у мутаційних операторах та мінімізації ризиків неконтрольованих відхилень у поведінці моделі.

Висновки. Проведений аналіз підтвердив, що адаптація традиційного мутаційного тестування до систем машинного навчання ставить перед дослідниками низку специфічних завдань. Зокрема, виявлено труднощі у чіткому визначенні об'єкта, який підлягає мутаціям, а також проблеми, пов'язані зі стохастичною природою процесу навчання моделей. Тому, для вирішення виявлених проблем доцільно вдосконалювати як теоретичні, так і практичні підходи мутаційного аналізу. Така інтегрована стратегія надасть дослідникам і розробникам чіткіші механізми оцінювання якості тестового набору моделей МН, що сприятиме підвищенню їх стабільності та надійності.

Перелік посилань:

1. Jia Y., Harman M. An Analysis and Survey of the Development of Mutation Testing. IEEE Transactions on Software Engineering. 2011. Vol. 37, no. 5. P. 649–678. URL: <https://doi.org/10.1109/tse.2010.62> (дата звернення: 23.02.2025).
2. Zhu Q., Panichella A., Zaidman A. A systematic literature review of how mutation testing supports quality assurance processes. Software Testing, Verification and Reliability. 2018. Vol. 28, no. 6. P. e1675. URL: <https://doi.org/10.1002/stvr.1675> (date of access: 23.02.2025).
3. DeepMutation: Mutation Testing of Deep Learning Systems / L. Ma et al. 2018 IEEE 29th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE), Memphis, TN, 15–18 October 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/issre.2018.00021> (дата звернення: 23.02.2025).
4. Shen W., Wan J., Chen Z. MuNN: Mutation Analysis of Neural Networks. 2018 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C), Lisbon, 16–20 July 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/qrs-c.2018.00032> (дата звернення: 23.02.2025).
5. Panichella A., Liem C. C. S. What Are We Really Testing in Mutation Testing for Machine Learning? A Critical Reflection. 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results (ICSE-NIER), Madrid, ES, 25–28 May 2021. 2021. URL: <https://doi.org/10.1109/icse-nier52604.2021.00022> (дата звернення: 23.02.2025).
6. DeMillo R. A., Lipton R. J., Sayward F. G. Hints on Test Data Selection: Help for the Practicing Programmer. Computer. 1978. Vol. 11, no. 4. P. 34–41. URL: <https://doi.org/10.1109/c-m.1978.218136> (дата звернення: 24.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Майоров І.Д.

¹ Доц., к.т.н. Варава І.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=nbGdH3wAAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ ГІДРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасних умовах підвищеної уваги до моніторингу підводного середовища та забезпечення морської безпеки аналіз гідроакустичних сигналів набуває особливого значення. Основною проблемою є класифікація сигналів, що характеризуються низьким відношенням сигналу-шуму та нестационарністю. Традиційні методи спектрального аналізу часто виявляються недостатньо ефективними для виділення локальних особливостей сигналу, що є критично важливими при розпізнаванні об'єктів у підводному просторі. Сучасні підходи до аналізу сигналів потребують застосування більш гнучких методів, здатних адаптуватися до змінних умов спостереження.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження, опубліковані у IEEE Transactions on Signal Processing [1], IEEE Journal of Oceanic Engineering [2] та Applied Acoustics [3], демонструють успішне застосування вейвлет-підходів для класифікації підводних сигналів. Ці роботи свідчать про підвищення точності класифікації за рахунок використання адаптивних методів попередньої обробки та інтеграції з алгоритмами машинного навчання. Незважаючи на досягнуті результати, існує потреба у подальшій розробці методик, які враховують специфіку гідроакустичних сигналів, зокрема наявність шумів та складну часову структуру.

Формулювання мети. Для кращої класифікації нелінійних і нестационарних сигналів у підводному середовищі виникає потреба у дослідженні та розробці методики застосування вейвлет-перетворень.

Основна частина. Вейвлет-перетворення є ефективним інструментом для аналізу нестационарних сигналів завдяки здатності забезпечувати детальний частотно-часовий аналіз. Основні принципи вейвлет-аналізу полягають у тому, що сигнал розкладається на підсигнали різних масштабів, що дозволяє виділити як глобальні, так і локальні особливості [4]. У зашумлених середовищах традиційні методи, зокрема Фур'є-перетворення, базуються на глобальних базисних функціях і не здатні точно локалізувати тимчасові характеристики сигналу, що є критичним при аналізі сигналів із високим рівнем шуму. Вейвлет-перетворення, навпаки, забезпечує багаторівневий частотно-часовий аналіз, який дозволяє ізолювати короточасні, локалізовані компоненти навіть у присутності значних завад. Завдяки застосуванню алгоритмів порогового відсікання у вейвлет-домені, можливе зменшення впливу шуму при збереженні суттєвих характеристик сигналу, що дозволяє покращити якість відновленого сигналу і забезпечити високу точність розпізнавання важливих особливостей для ефективного моніторингу та аналізу у складних умовах.

Алгоритми порогового відсікання вейвлет-доменів дозволяють ефективно відокремити корисну інформацію від шумових компонентів, встановлюючи поріг для коефіцієнтів розкладання. Менш значущі коефіцієнти, які знаходяться нижче цього порогу, відкидаються, що сприяє підвищенню якості відновленого сигналу та зменшенню впливу випадкових завад. Завдяки адаптивному вибору порогових значень, цей підхід може автоматично налаштовуватися під конкретні умови низького відношення сигналу-шуму, що є критично важливим для аналізу гідроакустичних сигналів у складних середовищах.

Особливу актуальність використання вейвлет-перетворення має у класифікації гідроакустичних сигналів, які характеризуються нестационарністю, що часто супроводжується короткочасними імпульсами та різкими переходами. Завдяки здатності одночасно аналізувати сигнал у часовій та частотній областях, вейвлет-перетворення дозволяє точно локалізувати важливі події та відокремити їх від шумових компонентів, що зазвичай розподіляються рівномірно по всіх масштабах. При виконанні цього перетворення отримуються коефіцієнти, що відображають енергетичний розподіл сигналу на різних масштабах, і ці ознаки, включаючи локальні зміни енергії, амплітудні піки та часові переходи, є ключовими для класифікації. Особливістю вейвлет-перетворення є його адаптивність, що дозволяє налаштовувати параметри під конкретні умови роботи системи, забезпечуючи тим самим високу точність розпізнавання та стійкість класифікаційної моделі навіть у зашумлених середовищах.

Окрім вейвлет-перетворення, ще одним потужним методом аналізу складних сигналів є метод головних компонент (РСА), який використовується для зменшення розмірності та пошуку найінформативніших ознак у наборі даних. Основна ідея РСА полягає у знаходженні ортогональних векторів (головних компонент), які максимізують дисперсію сигналу, дозволяючи відокремити найбільш суттєві його характеристики та відфільтрувати незначущі або шумові складові [5]. Це дозволяє зменшити кількість вимірів сигналу, що є особливо корисним при обробці великих обсягів даних та пришвидшує роботу класифікаційних алгоритмів.

Хоча РСА та вейвлет-перетворення мають спільну мету – виділення ключових ознак сигналу – їхні принципи роботи суттєво відрізняються. РСА працює у просторі ознак, знаходячи напрямки найбільшої дисперсії, тоді як вейвлет-перетворення діє у просторі частот, розкладаючи сигнал на масштабні компоненти для аналізу його локальних змін. У той час як РСА добре справляється з виявленням глобальних тенденцій у сигналі, вейвлети дають змогу розглядати локальні імпульси та короткочасні особливості, що є особливо важливим для аналізу гідроакустичних сигналів, які містять різкі переходи або короткі звукові імпульси.

Висновки. Підсумовуючи проведений аналіз, можемо зробити висновок, що вейвлет-перетворення дозволяють краще локалізувати короткочасні події у гідроакустичних сигналах з низьким відношенням сигналу-шуму завдяки багатомасштабному частотно-часовому розбору. Алгоритми порогового відсікання, застосовані у вейвлет-доміні, ефективно зменшують вплив шуму, що сприяє покращенню якості відновлення сигналу та точності його класифікації.

Перелік посилань:

1. Pham D.T., Nguyen V.V. Underwater Acoustic Signal Classification Using Wavelet Packet Decomposition and Support Vector Machines. IEEE Transactions on Signal Processing. 2009. V. 57, № 8 P. 3057–3068.
2. Liu J., Zhang X. Wavelet-Based Feature Extraction for Underwater Acoustic Target Classification. IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2011. V. 36, № 4 P. 555–564.
3. Zhang S., Li Y., Sun P.. Underwater Acoustic Signal Classification Based on Wavelet Transform and Neural Networks. Applied Acoustics. 2009. V. 70, № 3, P. 412–421.
4. LabVIEW Advanced Signal Processing Toolkit API Reference. URL: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview-advanced-signal-processing-toolkit-api-ref/page/lvasptconcepts/wa_intro.html?srltid=AfmBOoo-KDiE4Rds_nL5-E8IHIE7vwCbb-SdPGFoSHMJP_-j4lnVyKE9 (дата звернення: 03.03.2025)
5. Soszyński P., Gloza I.. Application of PCA as an acoustic signal processing tool for object classification purposes. 2005. P. 193–198

¹ Аспірант 1 курсу Передера В.Р.

¹ Доц., д.т.н. Недашківський О.Л.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=qT72SMYAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ, ВИКЛИКИ ТА ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ ТА АВТОРСТВА ТЕКСТУ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Проблематика та постановка задачі. З поширенням соціальних мереж та онлайн-ЗМІ інформація розповсюджується надзвичайно швидко, що ускладнює ідентифікацію її першоджерела. Це питання є критично важливим для фактчекінгу, боротьби з дезінформацією та аналізу авторства текстів. Однак, існує низка проблем, що ускладнюють цей процес. Відсутність єдиної бази даних для аналізу походження інформації призводить до фрагментованості досліджень і обмежує можливості автоматизованого аналізу. Висока швидкість поширення контенту в соціальних мережах ускладнює його відстеження, оскільки новини можуть миттєво тиражуватися без посилань на першоджерело. Додаткову складність створює навмисне спотворення текстів, коли інформація редагується або перефразовується з метою приховування її походження або імітації іншого автора. Останнім викликом є закритість платформ, які раніше надавали доступ до своїх даних для досліджень, але згодом значно обмежили або взагалі припинили можливість збору інформації.

Аналіз існуючих рішень. Серед найпоширеніших методів ідентифікації джерела інформації використовуються наступні методи.

Аналіз часових міток. Є одним із найпростіших підходів до визначення першоджерела – ідентифікація найпершої згадки певного твердження або новини у відкритих джерелах. Для соціальних мереж це може бути аналіз публікацій, ретвітів або коментарів за часом їх появи.

Мережевий аналіз. Базується на побудові графа поширення інформації, де вершини представляють документи або пости, а ребра – зв'язки між ними (цитування, ретвіти, перефразування). В ідеальному випадку граф дозволяє визначити першоджерело за напрямком зв'язків. У дослідженні IEEE INFOCOM 2016 було встановлено, що точне виявлення джерела інформації в мережах залежить від розміру та щільності зв'язків між вузлами [1]. Використання нейронних мереж у детекції неправдивої інформації дозволяє досягти високої точності аналізу великих масивів даних. Було досліджено також сучасні алгоритми аналізу текстів, що використовують штучний інтелект, зокрема глибокі нейронні мережі [2]. Зазначається, що інтеграція різних джерел даних та аналіз контексту дозволяє покращити точність ідентифікації фейкових новин. Однак дослідники підкреслюють, що основними проблемами залишаються високі вимоги до обчислювальних ресурсів та складність інтерпретації результатів.

Обробка природної мови (NLP) для аналізу текстових змін. Дозволяють оцінювати схожість текстів, виявляти перефразування або автоматично генеровані маніпуляції. У роботі Rashkin та ін. (2017) було показано, що фейкові новини часто використовують емоційно забарвлену лексику та надмірні узагальнення, що дозволяє їх виявляти за лінгвістичними характеристиками [3]. Визначення авторства також можливе за рахунок аналізу стилістичних особливостей автора. У дослідженні 2022 року розглянуто різні методи визначення авторства текстів румунською мовою, включаючи стилістичний аналіз, глибокі нейронні мережі та традиційні статистичні методи [4]. Висновки показують,

що сучасні мовні моделі можуть ефективно відрізняти авторів, але ефективність залежить від обсягу доступних текстів.

Аналіз метаданих та цифрових слідів. Метадані, такі як часові мітки, геолокація або ідентифікатори пристрою, можуть містити цінну інформацію про джерело публікації. Втім, не всі платформи дозволяють доступ до таких даних. На відміну від визначення джерела інформації, проблема авторства менш гостра, оскільки у відкритому доступі є багато текстів відомого авторства. Дослідження Zhou & Zafarani (2020) показало, що точність авторської атрибуції залежить не лише від текстових особливостей, а й від використання метаданих та поведінкових характеристик автора [5]. Це дозволяє формувати базу стилістичних особливостей і визначати автора нового тексту за подібністю до наявних зразків. Проте у деяких випадках може бути недостатньо текстів для побудови надійної стилістичної моделі, що ускладнює точну ідентифікацію автора. Крім того, тексти можуть бути навмисно змінені, щоб імітувати стиль іншого автора або, навпаки, приховати справжнє авторство. Також можлива ситуація, коли текст створений за допомогою нейромережі, спеціально навченої на зразках конкретного автора, що значно ускладнює визначення його справжнього походження.

Основна частина. В рамках дисертаційного дослідження було висунуто ідею створення штучного середовища даних для тестування та порівняння ефективності різних мовних моделей та проведено експеримент для моделювання процесу поширення інформації. Для цього створено тестову базу даних, яка наближено відображає реальні умови. У базі містилися документи зі схожим змістом, але без чітких посилань на джерело, що ускладнювало процес виявлення першоджерела. Визначення джерела інформації зводилося до пошуку найдавнішої згадки певного твердження, що є одним із базових методів аналізу. Проте, через відсутність явних зв'язків між документами, граф поширення будувався лінійно, що лише приблизно і не зовсім точно відображало справжнє походження інформації.

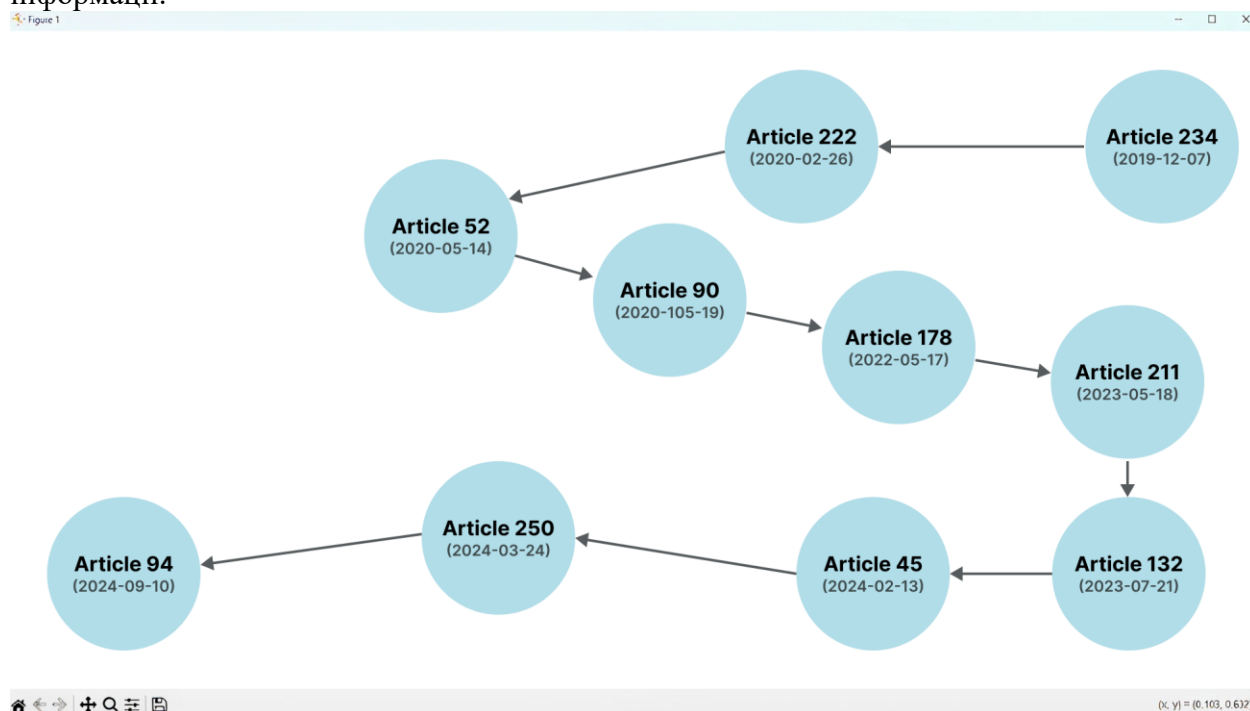


Рисунок 1 – Граф поширення інформації в штучно згенерованому середовищі даних

В результаті алгоритм показав здатність відстежувати ранні згадки інформації, але через структуру даних отриманий граф не завжди точно відображав реальні взаємозв'язки між джерелами.

Ще одним викликом при роботі з визначенням авторства стала відсутність даних та закритість платформ. Раніше платформи, такі як Reddit та Twitter (X), надавали доступ до

своїх API, що дозволяло дослідникам збирати великі обсяги даних для аналізу поширення інформації. Однак зараз це стало значно складнішим. Twitter (X) запровадив жорсткі обмеження на доступ до API, що зробило його використання дорогим або практично неможливим. Reddit також змінив політику доступу до API, через що безкоштовний доступ до даних був значно обмежений, що ускладнює дослідження механізмів поширення інформації та змушує науковців шукати альтернативні джерела даних. У роботі Lu et al. (2023) підкреслюється, що закриття доступу до великих обсягів даних значно ускладнило можливості автоматизованого виявлення фейкових новин і обмежило масштабованість сучасних підходів до перевірки фактів [6].

Висновки. Ідентифікація джерела інформації в Інтернеті є складною задачею через відсутність чітких посилань, навмисні спотворення та закритість платформ. Для ефективного визначення джерела необхідно комбінувати часовий аналіз, NLP, мережевий підхід та аналіз метаданих. Проте навіть у контрольованих умовах модель побудови графа може спотворювати картину реального поширення інформації. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на покращення методів реконструкції зв'язків між документами, а також на пошук альтернативних джерел даних для аналізу.

Перелік посилань:

1. Zhu K., & Ying L. Information source detection in networks: Possibility and impossibility results. IEEE INFOCOM 2016 – The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications. 2016. С. 9. URL: <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2016.7524363> (дата звернення: 02.03.2025).
2. Гнатишин М.С., Недашківський О.Л. Аналіз методів та програмного забезпечення для виявлення неправдивої інформації у мережі інтернет на основі нейронних мереж. Журнал «Зв'язок». Випуск 4. 2024. С. 52–57.
3. Rashkin H., Choi E., Jang J.Y., Volkova S., & Choi Y. Truth of varying shades: Analyzing language in fake news and political fact-checking. Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2017. С. 2931–2937
4. Avram S.-M., Oltean M. A comparison of several AI techniques for authorship attribution on romanian texts. Mathematics. 2022. Т. 10, № 23. С. 4589. URL: <https://doi.org/10.3390/math10234589> (дата звернення: 28.02.2025).
5. Zhou X., Zafarani R. A survey of fake news. ACM computing surveys. 2020. Т. 53, № 5. С. 1–40. URL: <https://doi.org/10.1145/3395046> (дата звернення: 01.03.2025).
6. Sustainable development of information dissemination: a review of current fake news detection research and practice / L. Yuan та ін. Systems. 2023. Т. 11, № 9. С. 458. URL: <https://doi.org/10.3390/systems11090458> (дата звернення: 01.03.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Підгірний В.М.

¹ Доц., к.т.н. Залевська О.В.

<https://scholar.google.com/citations?user=v4Quig0AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИБОРУ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ НАВИЧОК, ПРОФЕСІЙНИХ ЦІЛЕЙ ТА ВИМОГ РИНКУ ПРАЦІ

Постановка проблеми та її актуальність. Мінливі вимоги ринку праці створили значні виклики у формуванні ефективних індивідуальних освітніх траєкторій для студентів у вищій школі. Традиційні підходи до вибору навчальних дисциплін часто не враховують динамічний характер необхідних компетенцій та зростаючу складність кар'єрних траєкторій. Така невідповідність між освітніми програмами та вимогами роботодавців призводить до розривів у навичках та зниження конкурентоспроможності випускників на ринку праці. Існуючі освітні платформи стикаються з кількома обмеженнями, серед яких використання ручних або застарілих інструментів для формування індивідуальних траєкторій, недостатнє врахування особистісних характеристик студентів, попередніх знань та кар'єрних цілей, повільна адаптація до змін на ринку праці, а також обмежена здатність опрацьовувати великий обсяг доступних дисциплін та їх взаємозв'язків. Розробка програмного забезпечення для вибору навчальних дисциплін на основі аналізу навичок, професійних цілей та вимог ринку праці набуває значення, оскільки воно може зменшити розрив між освітою та потребами промисловості, дозволяючи студентам приймати рішення щодо своєї освітньої траєкторії, забезпечуючи при цьому відповідність набутих компетенцій поточним вимогам ринку праці.

Аналіз останніх досліджень. Нещодавні дослідження в галузі освітнього програмного забезпечення для вибору дисциплін ілюструють значний прогрес в інтеграції оцінки навичок, професійних амбіцій та тенденцій на ринку праці. Дослідження, проведене у 2024 році, було зосереджене на розробці удосконаленої адаптивної моделі рекомендацій щодо навчального шляху на основі аналітики навчання в режимі реального часу [1]. Результати порівняння з трьома існуючими моделями показують кращу продуктивність запропонованого підходу з середнім підвищенням точності на 30 % у прогнозуванні навчального шляху на основі очікуваної тривалості навчання та на 27,8 % у прогнозуванні очікуваного результату за допомогою другої за продуктивністю моделі. У 2025 році було проведене дослідження щодо використання ШІ для виявлення та усунення прогалин в існуючих навчальних програмах [2]. У дослідженні 2022 року представляється інтелектуальна модель рекомендацій з вибору курсу шляхом аналізу, відбору та модифікації ефективних технологій рекомендацій з вибору курсів [3]. Отримані результати показали, що запропонована методологія моделі є ефективним способом підвищення ефективності систем рекомендацій студентів. Це також вказує на те, що куратори та студенти можуть заощадити більше часу завдяки ефективним та дієвим рекомендаціям щодо курсів під час реєстрації на курс. У 2025 році було проведено дослідження щодо розробки та застосування саморегульованого навчального опитувальника в контексті масштабного цифрового навчання [4]. У сукупності ці досягнення підкреслюють стійку тенденцію до вдосконалення освітнього планування шляхом інтеграції сучасної аналітики та технологій штучного інтелекту.

Формулювання мети. Розробка інтерактивної системи, яка дозволяє користувачам (абітурієнтам, студентам, викладачам) отримувати рекомендації щодо навчальних дисциплін, навичок та професійного розвитку на основі аналізу їхніх потреб і вимог роботодавців.

Основна частина. Останні роки інтеграція цифрових технологій та швидкі темпи глобалізації трансформували вищу освіту, створивши потребу в персоналізованих та адаптованих освітніх траєкторіях. Ця тенденція зумовлена сучасними інформаційними технологіями та діджиталізацією, які вимагають від випускників володіти компетенціями, що тісно пов'язані з постійно мінливими потребами ринку праці. Розробка програмного забезпечення для вибору навчальних дисциплін на основі аналізу навичок, професійних цілей та вимог ринку праці вирішує ці виклики, адаптуючи вибір курсів до індивідуальних профілів студентів, враховуючи їхні інтереси, здібності та професійні цілі. В основі цієї системи лежить графова модель, яка відображає залежності між компетентностями та навчальними дисциплінами, підвищуючи тим самим точність прогнозування результатів навчання.

Система спирається на інфраструктуру даних, що складається з декількох взаємопов'язаних баз даних. Основна база даних містить інформацію про курси. База даних силабусів доповнює її, зберігаючи описи та онлайн-посилання на навчальні плани курсів, що дозволяє користувачам оцінювати актуальність курсів. База даних навичок відображає компетенції, що надають різні курси. База даних вакансій відображає поточні потреби ринку праці, зберігаючи деталі робочих місць та відповідні вимоги до навичок.

Для кінцевих користувачів система пропонує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який розрахований на абітурієнтів, студентів та викладачів. Абітурієнти можуть отримати варіанти навчання, побачити зв'язок між змістом курсу та майбутніми кар'єрними шляхами і прийняти рішення на основі аналізу того, як конкретні дисципліни сприяють розвитку навичок. Студенти отримують персоналізовані рекомендації, що базуються на їхніх кар'єрних прагненнях або бажаних компетенціях. Вони можуть обрати курси, які покращать їхній набір навичок, а також отримати пропозиції щодо додаткових дисциплін, які можуть ще більше посилити їхній професійний профіль. Викладачі можуть використовувати систему для аналізу тенденцій на ринку праці, переглядаючи автоматизовані звіти, які виявляють прогалини у пропонованих навичках, що виникають, і таким чином дають їм змогу вдосконалити зміст навчальних програм, щоб краще відповідати вимогам ринку.

Ключовою особливістю системи рекомендацій є її динамічна інтеграція з платформами аналізу ринку праці, що здійснюється за допомогою автоматизованого API, який постійно збирає та оновлює дані з онлайн-сайтів з працевлаштування. Це допомагає реагувати на поточні тенденції, узгоджуючи академічні пропозиції з вимогами роботодавців. Для аналізу компетенцій пропонується використання алгоритмів машинного навчання, за допомогою таких інструментів, як BeautifulSoup і Selenium для парсингу даних та sklearn. Це ще більше розширює можливості системи обробляти великі масиви даних. Автоматизований збір та аналіз даних дозволяє системі генерувати своєчасні ідеї та вдосконалювати алгоритм рекомендацій, тим самим сприяючи тому, що поради, які надаються студентам та викладачам, залишаються актуальними.

З технічної точки зору, внутрішня логіка системи, яка обробляє запити та керує логікою рекомендацій, реалізується за допомогою JavaScript, тоді як користувацька частина використовує React та Express, щоб забезпечити привабливий і зручний інтерфейс.

Система розроблена з акцентом на оцінці ефективності та зворотному зв'язку з користувачами. Тестування на реальних наборах даних, зібраних як з академічних джерел, так і з онлайн-платформ для працевлаштування, підвищує точність і надійність рекомендацій. У систему вбудовано цикл зворотного зв'язку, що дозволяє студентам, абітурієнтам і викладачам безпосередньо впливати на отримані рекомендації, що, в свою чергу, сприяє ітеративному вдосконаленню моделі. Цей цикл оцінювання та вдосконалення є важливим для підтримки актуальності системи в освітньому та професійному середовищі, що постійно змінюється.

Висновки. Загалом, запропонована система являє собою прогрес у персоналізації освітніх траєкторій. Завдяки використанню графової моделі залежностей компетентностей

та інтеграції ринкових даних, система не лише спрощує процес планування освіти, але й забезпечує кращу підготовку випускників до задоволення поточних потреб ринку праці. Цей підхід може підвищити якість освіти, подолати розрив між академічними колами та промисловістю і, зрештою, сприяти підготовці конкурентоспроможної робочої сили.

Перелік посилань:

1. Raj N.S., Renumol V.G. An improved adaptive learning path recommendation model driven by real-time learning analytics. J. Comput. Educ. 11, 121–148 (2024). URL: <https://doi.org/10.1007/s40692-022-00250-y> (дата звернення 28.02.2025).
2. Murana, Asimiyu. (2025). Smart Curriculum Design: Using AI to Identify and Address Skill Gaps in Existing Curricula. URL: https://www.researchgate.net/publication/389085798_Smart_Curriculum_Design_Using_AI_to_Identify_and_Address_Skill_Gaps_in_Existing_Curricula (дата звернення 28.02.2025).
3. Tilahun L.A., Sekeroglu B. An intelligent and personalized course advising model for higher educational institutes. SN Appl. Sci. 2, 1635 (2020). URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03440-4> (дата звернення 28.02.2025).
4. Kuo B.C., Chang F.T.Y. Development and application of a self-regulated learning questionnaire in the large-scale digital learning context. Educ Inf Technol (2025). URL: <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13438-3> (дата звернення 28.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Сєверцев М.С.

¹ Асист., к.т.н. Єрошкін Ю.М.

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ХМАРНОЇ ПЛАТФОРМИ SAP ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ

Постановка проблеми та її актуальність. Енергетична галузь потребує ефективних рішень для управління даними та автоматизації бізнес-процесів. Багато підприємств України продовжують використовувати ERP-систему SAP версії Enterprise Core Component 6.0 (ECC 6.0), яка забезпечує управління основними бізнес-процесами підприємства, такими як: фінанси, логістика, виробництво, управління персоналом тощо. Це остання основна версія класичної ERP-платформи SAP, яка використовується багатьма компаніями, проте вона є технологічно застарілою, оскільки SAP поступово переводить користувачів на SAP S/4HANA. SAP ERP ECC 6.0 має обмежені можливості інтеграції з сучасними цифровими платформами. Впровадження гібридної архітектури на основі SAP Business Technology Platform (SAP BTP) дозволяє поєднувати наземні системи ERP із хмарними рішеннями, зберігаючи їхню функціональність та забезпечуючи гнучкість і масштабованість цифрової інфраструктури [1].

Мета дослідження. Ця робота спрямована на дослідження можливостей гібридної архітектури, що об'єднує SAP BTP та SAP ERP ECC 6.0, для підвищення ефективності управління даними в енергетичному секторі.

Основна частина. SAP BTP – це комплексна технологічна платформа, яка об'єднує інструменти для інтеграції, аналітики, розробки та розширення бізнес-додатків у хмарному, локальному та гібридному середовищах [2]. Вона включає такі основні компоненти, що сприяють інтеграції із SAP ERP ECC 6.0:

1. SAP Integration Suite – забезпечує безперервний обмін даними між SAP ECC 6.0 та хмарними додатками через API, OData та event-driven архітектуру.

2. SAP Data Intelligence – дозволяє здійснювати консолідацію, аналіз та управління великими обсягами даних у гібридному середовищі.

3. SAP IoT – підтримує моніторинг та управління IoT-пристроями, що використовуються для збору даних про енергоспоживання.

4. SAP HANA Cloud – забезпечує масштабоване зберігання та аналітику великих даних, дозволяючи підприємствам ефективніше керувати інформаційними потоками.

Архітектура гібридної інтеграції дозволяє підприємствам залишатися в екосистемі SAP ECC 6.0, поступово переходячи до хмарних технологій та більш сучасну ERP-систему – SAP S/4HANA. Основні аспекти такого підходу:

1. Інтеграція через SAP Cloud Connector для безпечного обміну даними між локальними та хмарними системами [3].

2. Автоматизація бізнес-процесів із використанням SAP Build Process Automation.

3. Застосування аналітики та прогнозування завдяки поєднанню SAP HANA Cloud із SAP Analytics Cloud.

Приклад архітектури інтеграції SAP BTP з SAP ERP ECC 6.0 у гібридному середовищі представлено на рис. 1.

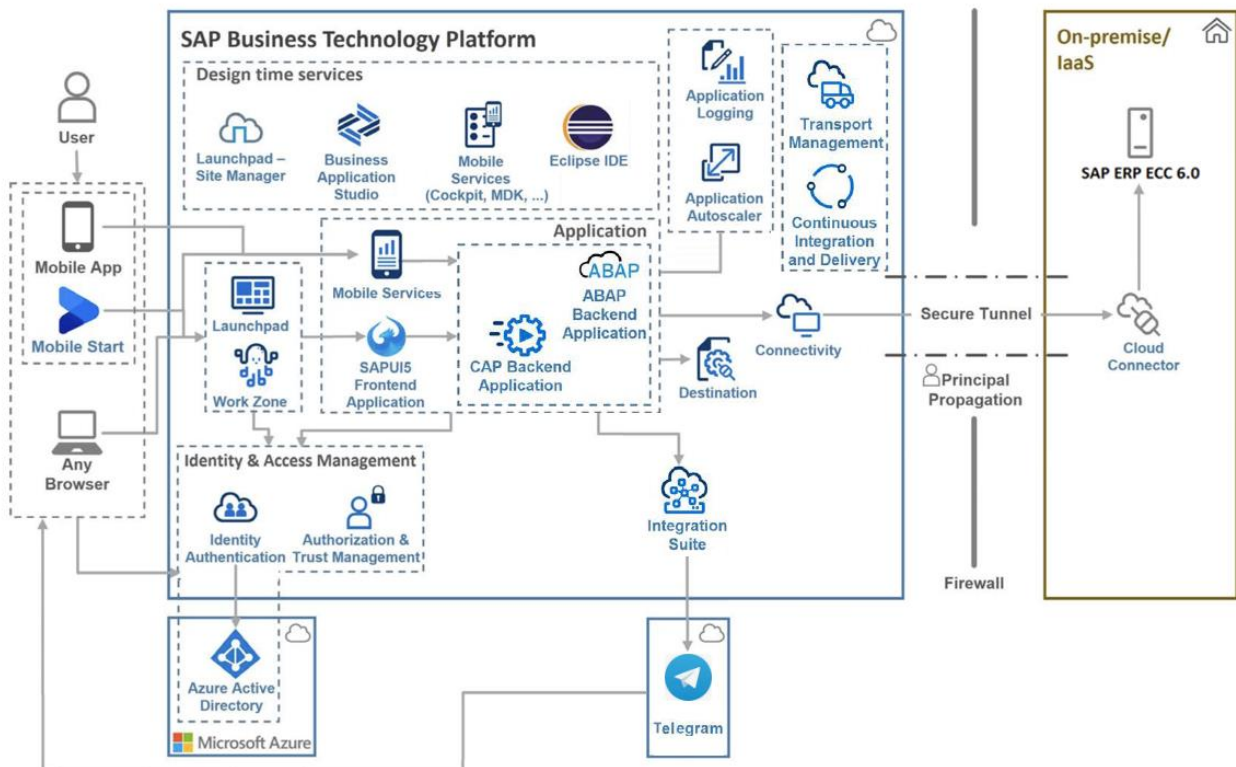


Рисунок 1 – Приклад архітектури інтеграції SAP BTP з SAP ERP ECC 6.0 у гібридному середовищі

Основні елементи схеми (рис. 1):

1. SAP BTP (Ліва частина).

- Включає дизайнерські сервіси (Eclipse IDE, Business Application Studio, Mobile Services).
- Інструменти інтеграції та управління процесами: SAP Integration Suite, API Management, транспортні сервіси.
- Автентифікація та безпека через Identity & Access Management (Azure AD, SAP IAS).
- Підтримка мобільних та веб-додатків із можливістю інтеграції через браузер або мобільний застосунок.

2. On-premise / IaaS середовище (Права частина).

- Представлено SAP ERP ECC 6.0, що працює локально або в інфраструктурі як сервіс (IaaS).
- Використовується Cloud Connector для безпечного з'єднання між SAP BTP та SAP ECC 6.0.
- Передача даних здійснюється через принципальну пропagaцію (Principal Propagation) для збереження рівнів доступу.

3. Зовнішні інтеграції

- Використання Microsoft Azure для автентифікації.
- Інтеграція з Telegram для нотифікацій або комунікації.

Очікувані результати від застосування SAP BTP та SAP ECC 6.0:

- Покращення інтеграції між традиційними та хмарними рішеннями.
- Підвищення ефективності управління даними та прогнозування енергоспоживання.
- Оптимізація витрат завдяки поступовій модернізації ERP-систем.

Висновки. Гібридна архітектура, що об'єднує SAP BTP та SAP ECC 6.0, дозволяє підприємствам енергетичного сектору підвищити операційну ефективність та розширити можливості управління даними. Використання хмарних технологій SAP відкриває перспективи для гнучкої та безперервної цифрової трансформації галузі.

Перелік посилань:

1. “The power of SAP BTP with ECC: why you shouldn’t wait for SAP S/4HANA” // SAP Community. URL: <https://community.sap.com/t5/enterprise-resource-planning-blogs-by-members/the-power-of-sap-btp-with-ecc-why-you-shouldn-t-wait-for-sap-s-4hana/ba-p/13551151> (дата звернення 19.02.2025).
2. SAP Business Technology Platform: Integration and Application Development Guide // SAP. URL: <https://www.sap.com/products/business-technology-platform.html> (дата звернення 20.02.2025).
3. “Lowest SAP ECC Version That Can Be Integrated with SAP BTP Through Cloud Connector” / SAP Community. URL: <https://community.sap.com/t5/technology-q-a/lowest-sap-ecc-version-that-can-be-integrated-with-sap-btp-through-cloud/qaq-p/13678510>, вільний (дата звернення 19.02.2025).

¹ Аспірант 1 курсу Ситнік І.О.

¹ Доц., к.т.н. Шпурик В.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=6PzQlhWA8HAC>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙМОВІРНІСНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Здебільшого найважливіші питання проектного менеджменту є завданнями теорії ймовірностей. Для аналізу ймовірнісних завдань необхідно побудувати ймовірнісну модель, в якій описується простір можливих результатів і кожному з них якимось чином зіставляється числова ймовірність. Байєсівські і марківські ланцюги, як формальні мови для побудови ймовірнісних моделей, мають дуже обмежені виразні можливості. З іншого боку, обчислювальні потужності сьогодні настільки дешеві, що є можливість дозволити собі піти іншим шляхом, а саме шляхом ймовірнісного програмування. Цей шлях набагато практичніший, тому що він надає засоби інтеграції зі вже існуючими застосунками проектного менеджменту та не вимагає математичного втручання на кожному кроці, тобто ми фактично усуваємо необхідність у часто важких для сприйняття математичних викладках для розуміння байєсівських методів.

Ідея полягає в тому, що процеси проектного менеджменту можна розглядати як ймовірнісну модель, якщо ввести деякі стохастичні елементи і визначити зміст менеджменту як ймовірність кожного можливого шляху виконання.

Для обґрунтування використання даної моделі необхідно провести порівняння з аналогічними засобами планування та керування проектами. Для цього потрібно оцінити те, як впливає дана модель на хід проекту розробки ПЗ. «Ефективність ймовірнісної моделі» означає, наскільки добре модель, передбачає або описує реальний процес або явище. Тож, з метою оцінки ефективності даної моделі необхідно отримати метрики продуктивності самого процесу управління проектом при застосуванні даної моделі та порівняти ці результати із вимірами проектів, які використовують аналоги даного рішення.

Аналіз останніх досліджень. Ймовірнісні міркування є одним із основних підходів до машинного навчання, де модель описує те, що відомо з досвіду. Ймовірнісні міркування можна використовувати для прогнозування майбутнього, отримання висновків про минуле та вивчення минулого для кращого прогнозування майбутнього [1]. Саме під цим кутом зору аналізуються можливі шляхи вирішення проблем проектного менеджменту за допомогою сучасних технологій.

Формулювання мети. Розробка методики оцінки ефективності ймовірнісної моделі управління процесом розробки програмного забезпечення шляхом порівняння з існуючими методами планування та керування проектами.

Основна частина. Метрики виміру продуктивності проекту можна поділити на дві групи: кількісні та якісні.

Кількісні метрики – це об'єктивні характеристики, що можуть бути отримані з програмного забезпечення для управління проектами. Дані метрики використовуються у проектному менеджменті для оцінки точності планування та ефективності керування проектом [2]. Їх точність залежить від умінь менеджера вести проектну документацію та користуватися ПЗ управління проектами. Кількісні метрики та бажаний результат порівняння вимірів проектів надані у табл. 1.

Якісні метрики за своєю природою є суб'єктивними, проте є не менш важливими ознаками ефективності менеджменту. Їх збір передбачає використання таких методів, як інтерв'ю, опитування, спостереження тощо. Порівняння якісних даних вимагатиме

використання таких методик, як: текстовий аналіз для ідентифікації трендів, комбінація з кількісними метриками для підкріплення якісних даних та категоризація для розбиття відгуків на спільні теми, щоб полегшити порівняння [3]. Якісні метрики та способи їх виміру надані у табл. 2 [4].

Таблиця 1 – Кількісні метрики продуктивності

Назва	Опис	Бажаний результат
Відхилення бюджету (cost variance, CV)	Різниця між заробленою вартістю (EV) та актуальними витратами (AV). $CV = EV - AV$	Збільшення
Відхилення від розкладу (schedule variance, SV)	Різниця між заробленою вартістю (EV) та запланованою вартістю (PV). $SV = EV - PV$	Збільшення
Індекс продуктивності розкладу (schedule performance index, SPI)	Відношення заробленої вартості (EV) до запланованої вартості (PV). $SPI = EV / PV$	Збільшення
Індекс ефективності витрат (cost performance index, CPI)	Відношення заробленої вартості (EV) до фактичних витрат (AC) $CPI = EV / AC$	Зменшення

Таблиця 2 – Кількісні метрики продуктивності

Назва	Спосіб виміру
Задоволеність стейкхолдерів	Опитування (оцінка від 1 до 10)
Відгук про продуктивність команди	Ретроспективи команд, форми відгуків
Чіткість процесу та простота використання	Інтерв'ю, опитування
Ефективність комунікацій	Відгук команди, спостереження
Стійкість до змін і швидкість прийняття	Спостереження, відстеження прийняття

При відсутності покращень показників або при їх погіршенні необхідно визначити недоліки та покращити модель. Також, у той час як тенденції у кількісних метриках можуть вказати на факт погіршення або покращення стану проекту, якісні метрики можуть натякнути на причини цих змін, що допоможе в ідентифікації напрямків розвитку моделі.

Порівняльний аналіз дозволяє визначити переваги ймовірнісної моделі над іншими підходами. Очікується, що застосування такого підходу сприятиме підвищенню точності планування, зменшенню відхилень від графіку та покращенню адаптивності керування проектами.

Перевірка ефективності ймовірнісних моделей передбачає оцінку точності передбачень, здатності адаптації до нових даних та здатності мінімізувати похибки. Запропонована методика надає засоби для оцінки цих критеріїв у контексті сфери менеджменту проектів розробки ПЗ.

Важливо зазначити, що кожен проект є унікальним і для більшої точності порівняння необхідно отримати дані з декількох проектів розробки ПЗ.

Висновки. Запропонована методика дозволяє кількісно та якісно оцінити ефективність ймовірнісної моделі управління проектами, зокрема її вплив на дотримання бюджету, термінів та якості комунікації в команді. Результати дослідження можуть бути використані для адаптації підходів до управління ІТ-проектами, підвищення прогнозованості виконання завдань та ефективності розподілу ресурсів.

Перелік посилань:

1. Pfeffer A. Practical Probabilistic Programming. Manning Publications, 2016. 456 p.
2. Horine G. Project Management Absolute Beginner's Guide. Pearson Education, Limited, 2017.
3. Qualitative Data Analysis: A Complete Guide [2025] – SixSigma.us. SixSigma.us. URL: <https://www.6sigma.us/six-sigma-in-focus/qualitative-data-analysis>.
4. Measuring Change Management Effectiveness | Change Adaptive. Change Adaptive. URL: <https://changeadaptive.com/measuring-change-management-effectiveness/>.

АРХІТЕКТУРНИЙ ДИЗАЙН «МОДУЛЬНИЙ МОНОЛІТ»

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасному світі програмної інженерії важливою складовою успішної розробки є глибоке розуміння архітектури проекту. Розробники повинні слідувати загальноприйнятим стандартам та стилю проекту, що сприяє зручності роботи в команді та спрощенню залучення нових учасників. Серед сучасних архітектурних підходів особливу увагу привертає модульний моноліт, який поєднує переваги традиційної монолітної архітектури та гнучкість модульного дизайну. Його використання дозволяє уникнути надмірної складності мікросервісної архітектури на ранніх етапах розвитку продукту, зберігаючи можливість майбутньої еволюції системи.

Аналіз останніх досліджень. Модульний моноліт як архітектурний підхід базується на давно відомих принципах «Separation of Concerns» та «Information Hiding» [1]. Це дозволяє організовувати програмні системи таким чином, щоб кожен модуль був незалежним та інкапсулював власну логіку. Використання патернів проєктування, таких як «Command/Query Bus», «Factory» та «Repository», сприяє створенню гнучких і розширюваних систем. Дослідження також показують, що розділення серверної частини на модулі покращує розуміння коду та пришвидшує процес його розробки та тестування [2].

Формулювання мети. Головною метою роботи є аналіз і дослідження модульного моноліту як архітектурного підходу в розробці програмних систем. Зокрема, необхідно розглянути основні переваги цього підходу, такі як інкапсуляція, структуризація коду, зниження технічного боргу та покращення адаптації нових розробників до проєкту. Крім того, буде розглянуто важливість правильного проєктування взаємодії між модулями з метою мінімізації залежностей, що суттєво впливає на масштабованість та підтримуваність системи. У рамках дослідження буде проведено аналіз впровадження модульного моноліту та його вплив на якість програмного продукту.

Основна частина. Успішний програмний інженер повинен глибоко розуміти архітектурні принципи та патерни, які застосовуються у проєкті, а також чітко дотримуватись узгодженого стилю коду. Це дозволяє забезпечити ефективну підтримку та розвиток продукту, а також покращує взаємодію як між членами команди, так і для користувачів. Вибір архітектурного підходу має відповідати потребам та специфіці системи, оскільки універсальних рішень не існує. Зокрема, архітектурний дизайн охоплює широкий спектр концепцій, тому його поверхневий аналіз не дозволяє приймати стратегічно важливі рішення, і для глибшого розуміння варто детально вивчати цю тему.

Одним із популярних підходів у сучасному розробленні є модульний моноліт, який поєднує гнучкість модульного підходу з цілісністю традиційної монолітної архітектури [3]. Це рішення дозволяє уникнути передчасних складнощів мікросервісної моделі, водночас зменшуючи ризик надмірної взаємозалежності компонентів. Основою такого підходу є концепції поділу відповідальностей («Separation of Concerns») та приховування інформації («Information Hiding»), що сприяють кращій структурованості коду. Усередині модулів також застосовуються перевірені патерни проєктування, серед яких «Command/Query Bus», «Factory», «Repository» та інші, що сприяють організованому управлінню функціональністю системи.

Монолітна архітектура програмної системи передбачає об'єднання всіх її складових у єдину структуру, де різні компоненти, такі як введення та виведення даних, їх обробка, управління помилками і користувацький інтерфейс, функціонують у межах одного процесу.

Це означає, що система розгортається як єдина одиниця, без чітко відокремлених незалежних частин. Проте сучасні підходи до розробки дозволяють уникнути недоліків класичного моноліту шляхом поділу системи на модулі, що зменшує її складність та покращує підтримку.

У модульній архітектурі програмне забезпечення будується як набір окремих, логічно завершених компонентів, що взаємодіють через визначені інтерфейси. Важливою характеристикою є слабка зв'язність між модулями, що забезпечує їх незалежність: вони можуть взаємодіяти, передаючи результати роботи, але не розкривають деталей реалізації. Це спрощує зміну та розширення функціональності без ризику порушити загальну працездатність системи [4].

Модульне програмування як методологія розробки передбачає побудову програм з автономних, взаємозамінних блоків, кожен з яких відповідає за певний функціональний аспект. Визначений інтерфейс модуля визначає, які можливості він надає іншим частинам системи, а також які ресурси потребує для своєї роботи. Реалізація модуля містить його вихідний код, що відповідає цьому інтерфейсу, дозволяючи ефективно інтегрувати його у більш масштабні програмні рішення.

Одним із ключових аспектів архітектури модульного моноліту є рівень взаємозв'язку між його модулями. Оптимізуючи модульну структуру, важливо зосередитися не лише на зменшенні кількості модулів, що взаємодіють між собою, а й на обмеженні їхньої залежності. Це означає, що слід мінімізувати кількість методів, через які модулі обмінюються даними та викликають функції один одного. Чим менше таких точок взаємодії, тим більш автономними залишаються модулі, що сприяє їхній гнучкості, простоті супроводу та зменшенню ризиків неконтрольованих змін у системі.

Висновки. Підсумовуючи, архітектурний дизайн програмної системи відіграє ключову роль у її підтримці, масштабованості та ефективності розробки. Модульний моноліт поєднує в собі гнучкість модульного підходу та цілісність традиційної монолітної архітектури, дозволяючи уникнути передчасних складнощів мікросервісної моделі. Використання незалежних модулів зі слабкими зв'язками забезпечує кращу структурованість коду, спрощує його розширення та підтримку. Мінімізація взаємозалежностей між модулями є критично важливою для збереження гнучкості системи та її стабільної роботи. Таким чином, правильний вибір архітектурного підходу дозволяє створювати надійні, добре масштабовані та зрозумілі програмні рішення.

Перелік посилань:

1. Pautasso Cesare, et al. Microservices in practice, part 1: Reality check and service design. IEEE software, 2017, 34.01: 91–98.
2. Pimenidis Elias; Martin Robert C. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftmanship. ITNow, 2009, 51.1: 31-31.
3. Evans Eric. Domain-driven design: tackling complexity in the heart of software. Addison-Wesley Professional, 2004.
4. Richards Mark. Software architecture patterns. Vol. 4. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472: O'Reilly Media, Incorporated, 2015.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЕПІДЕМІЙ У ВІРТУАЛЬНІЙ РЕАЛЬНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРИВИМІРНИХ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

Постановка проблеми та її актуальність. Моделювання поширення епідемій є критично важливим завданням у сучасному світі через загрози, які інфекційні захворювання становлять для здоров'я населення та економіки. Традиційні моделі не завжди враховують локальні просторово-часові взаємодії, тоді як використання тривимірних клітинних автоматів дозволяє створювати більш точні та деталізовані симуляції.

Інтеграція віртуальної реальності у ці моделі відкриває нові можливості для візуалізації та аналізу динаміки епідемій, що сприяє покращенню стратегій стримування захворювань та ефективності реагування. Розробка відповідного програмного забезпечення може значно підвищити якість прогнозування, оптимізувати заходи контролю та полегшити навчання фахівців у галузі охорони здоров'я.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження в галузі моделювання поширення епідемій демонструють активний розвиток математичних моделей та їх застосування для прогнозування динаміки інфекційних захворювань. Наприклад, у 2020 році робоча група з математичного моделювання при НАН України представила прогноз розвитку епідемії COVID-19 в Україні, використовуючи дві незалежні моделі для аналізу динаміки поширення вірусу [1]. У 2023 році дослідники розглянули підходи до навчання студентів медичних коледжів моделюванню поширення епідемій, акцентуючи увагу на аналізі процесів поширення вірусів у популяції та факторів, що впливають на швидкість і масштаб їх розповсюдження [2]. Крім того, у 2020 році було запропоновано динамічну модель для опису поширення епідемій, яка враховує різні соціальні та економічні сценарії, що дозволяє будувати стратегії контролю та пом'якшення наслідків епідемій [3].

Формулювання мети. Метою роботи є розробка та реалізація ефективних методів і алгоритмів моделювання динаміки об'єктів віртуальної реальності на основі тривимірних клітинних автоматів, що дозволить підвищити реалістичність та обчислювальну ефективність симуляцій у віртуальних середовищах

Основна частина. Клітинні автомати (КА) – це дискретні динамічні системи, які використовуються для моделювання складних процесів, що розвиваються у просторі та часі. Вони складаються з регулярної решітки клітин, кожна з яких може перебувати в одному з кінцевого набору станів. Стан клітини змінюється на основі визначених правил, що залежать від її власного стану та станів сусідніх клітин. Така локальна взаємодія дозволяє моделювати складні системи без необхідності глобального управління.

У контексті моделювання поширення епідемій клітинні автомати є ефективним підходом, оскільки вони природним чином описують локальні взаємодії між індивідами в популяції. Зміна стану клітини може відповідати зміні епідемічного статусу особи (здоровий, інфікований, одужалий тощо), а правила оновлення відображають механізми передачі інфекції, наприклад, через безпосередній контакт із зараженими сусідами.

Використання клітинних автоматів для моделювання епідемій має кілька переваг. По-перше, вони дозволяють створювати моделі з високим рівнем деталізації, що включають

різні фактори, такі як мобільність населення, наявність імунітету або ефективність карантинних заходів. По-друге, їх можна легко адаптувати для дослідження різних сценаріїв поширення інфекцій, змінюючи правила оновлення клітин. По-третє, КА є обчислювально ефективними та придатними для масштабування, що робить їх корисними для симуляцій великих популяцій.

Концепція виконання симуляції поширення епідемій за допомогою клітинних автоматів базується на використанні дискретного простору, в якому кожен об'єкт (особа або перешкода) представлений клітиною або групою клітин. Моделювання здійснюється шляхом ітераційного оновлення станів клітин відповідно до заданих правил взаємодії між сусідніми клітинами, що визначають динаміку поширення інфекційних захворювань. Кожній клітині надається початковий стан, і на кожному кроці симуляції здійснюється оновлення станів клітин на основі локальних взаємодій і ймовірностей передачі інфекції, одужання або смерті. Оновлення станів клітин є паралельним, що дозволяє моделювати взаємодії на великому числі елементів одночасно.

Запровадження тривимірних клітинних автоматів розширює можливості моделювання, оскільки дозволяє враховувати складніші структури середовища, такі як багаторівневі соціальні взаємодії або розподіл населення у багатоповерхових будівлях. Крім того, інтеграція таких моделей у віртуальну реальність забезпечує наочне представлення результатів, що сприяє кращому розумінню епідемічних процесів і допомагає ухвалювати обґрунтовані рішення щодо заходів стримування інфекцій.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було розроблено та представлено концепцію використання тривимірних клітинних автоматів для моделювання поширення епідемій у віртуальній реальності. На основі цього підходу вдалося створити ефективну модель, що дозволяє детально вивчати динаміку інфекційних процесів, враховуючи просторово-часові взаємодії між окремими елементами системи. Використання клітинних автоматів забезпечує гнучкість та точність моделювання, дозволяючи інтегрувати різноманітні фактори, такі як соціальна взаємодія, мобільність населення, зміни в поведінці під впливом різних заходів стримування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у застосуванні тривимірних клітинних автоматів для аналізу епідеміологічних процесів у віртуальних середовищах, що дозволяє створити нові методи прогнозування розвитку епідемій, а також оцінки ефективності заходів боротьби з ними. Водночас модель має високу обчислювальну ефективність, що є важливим аспектом для досліджень з великими обсягами даних.

Розроблені методи можуть бути використані в галузях охорони здоров'я, епідеміології, урядових органах для прогнозування поширення інфекцій, а також у розробці стратегій управління кризовими ситуаціями. Крім того, отримані результати можуть бути корисними для створення навчальних симуляцій та візуалізацій, що дозволяють підвищити обізнаність населення і фахівців про потенційні загрози та ефективні стратегії їхнього подолання.

Перелік посилань:

1. Прогноз розвитку епідемії COVID-19 в Україні / Робоча група з математичного моделювання при НАН України.. URL: https://www.unicef.org/ukraine/media/10441/file/COVID19_Ukraine_forecast_33.pdf (дата звернення: 28.02.2025).

2. Yaremiy S., Yaremiy I., Moyseenko M., Shulepa S., Lisovska S. Study of the infection spread using mathematical modeling in professional higher medical educational institutions. URL: https://www.researchgate.net/publication/376401468_STUDY_OF_THE_INFECTION_SPREAD_USING_MATHEMATICAL_MODELING_IN_PROFESSIONAL_HIGHER_MEDICAL_EDUCATIONAL_INSTITUTIONS/fulltext/6576fd94cbd2c535ea1763fb/STUDY-OF-THE-INFECTION-SPREAD-USING-MATHEMATICAL-MODELING-IN-PROFESSIONAL-HIGHER-MEDICAL-EDUCATIONAL-INSTITUTIONS.pdf (дата звернення: 28.02.2025).

3. Lukyanets S., Gandzha I., Kliushnichenko O. Modeling and Controlling the Spread of Epidemic with Various Social and Economic Scenarios. URL: <https://arxiv.org/abs/2006.08375> (дата звернення: 28.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Шевченко В.Г.

¹ Доц., к.т.н. Кузьмич В.О.

<https://scholar.google.com/citations?user=xtZ1iBwAAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРВИННИЙ АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ПОТОЧНИХ ДАНИХ

Постановка проблеми та її актуальність. Зі зростанням обсягу даних, що постійно генеруються у різних сферах, від медицини до фінансів, виникає потреба їх ефективної обробки та аналізу. Величезна кількість інформації створює як нові можливості, так і значні виклики. Первинний аналіз та оцінка даних є важливим етапом у процесі прийняття обґрунтованих рішень в різних сферах діяльності, зокрема в бізнесі, науці та державному управлінні. Здатність виявляти закономірності, класифікувати дані та оцінювати їхню достовірність є критично важливими в сучасному світі.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз останніх досліджень, опублікованих у наукових статтях та конференціях, демонструє ефективне використання сучасних методів кластеризації та алгоритмів виявлення аномалій, таких як K-Means, DBSCAN, Isolation Forest [1, 2] для обробки великих даних. Наведені дослідження свідчать про високу результативність окремих підходів, які використовуються для аналізу та оцінки даних. Незважаючи на це, досі існує потреба у системі, яка поєднуватиме багатокрокову обробку даних, від їх вилучення з джерел до автоматичної кластеризації та пошуку аномалій.

Формулювання мети. Для первинного аналізу та оцінки поточних даних можна використовувати існуючі методології в поєднанні з розробленими алгоритмами, що дозволить класифікувати інформацію за заданими характеристиками та виявляти аномалії.

Основна частина. Первинний аналіз даних базується на використанні методів, які забезпечують якісну обробку інформації, оцінку її достовірності та виявлення будь-яких відхилень. Одним із початкових етапів є отримання даних з джерел, ними можуть виступати різноманітні бази даних, API, текстові звіти. Для роботи з текстовою та числовою інформацією використовується комбінація методів попередньої обробки, зокрема нормалізація, усунення викидів та заповнення відсутніх значень [3]. Це дозволяє підготувати дані до подальшої аналітики, мінімізуючи викривлення та зменшуючи вплив шумів на подальші результати. Доповнення первинного аналізу даних алгоритмом Isolation Forest, дозволяє ефективно знаходити аномальні значення, які можуть вказувати на потенційні несправності, або будь-які інші нетипові події. На відміну від багатьох традиційних методів виявлення аномалій, які фокусуються саме на визначенні нормальних даних і вже потім на відхиленні від них, алгоритм Isolation Forest працює за іншим принципом. Він полягає в тому, щоб ізолювати аномалії, а не описувати нормальні дані [2]. Це робить його надзвичайно ефективним у випадках, коли аномалії є рідкісними та відмінними від основної маси даних. Окрім того, ключовими перевагами Isolation Forest є його швидкість та ефективність. Він використовує дерева рішень для ізоляції аномалій, і, як правило, для цього потрібно менше обчислювальних ресурсів, ніж для інших методів. Також Isolation Forest добре масштабується на великі набори даних, що особливо корисно при роботі з значними обсягами інформації. Загалом цей підхід є ефективним для виявлення будь-яких відхилень, також він легко адаптується до різних структур даних, що в свою чергу робить його хорошим вибором при вирішенні задач моніторингу стану складних систем.

Наступним кроком, при аналізі та оцінці вхідних даних, виступає кластеризація за допомогою методу K-Means, який дозволяє розподіляти вхідні дані на групи залежно від їхніх характеристик. Основний принцип роботи K-Means полягає у тому, що алгоритм

спочатку випадково ініціалізує центроїди кластерів, після чого кожна точка даних присвоюється найближчому центроїду на основі евклідової відстані. Після цього центроїди оновлюються за допомогою визначення середнього значення всіх точок, що до них належать, і процес повторюється, поки зміни в положенні центроїдів не стануть незначними, або ж поки не буде досягнуто встановленої кількості ітерацій. Такий підхід дозволяє швидко згрупувати подібні дані та виокремити в них типові патерни.

На відміну від ієрархічної кластеризації, яка має високу обчислювальну складність і погано масштабується для значних наборів даних, метод K-Means є суттєво швидшим і ефективнішим при роботі з великими масивами інформації. Якщо порівнювати з методом DBSCAN, який в свою чергу краще працює з даними складної геометричної форми, K-Means демонструє вищу продуктивність у випадках, коли дані розподілені більш рівномірно та мають чітко визначені групи. Крім того, K-Means дозволяє заздалегідь визначати кількість кластерів, що робить його кращим вибором для системи, яка потребує структурованого групування даних. Метод DBSCAN, хоч і має змогу автоматично знаходити кластери, з іншого боку може мати проблеми з вибором оптимальних параметрів щільності, що призводить до певної невизначеності в кількості знайдених груп. Також DBSCAN погано масштабується при збільшенні розмірності простору, тоді як K-Means залишається стабільним і швидким навіть при роботі з великими обсягами інформації [4].

Поєднання цих компонентів дозволяє побудувати ефективну систему первинного аналізу та оцінки. Спочатку здійснюється первинна обробка даних, включаючи нормалізацію та очищення, а також пошук можливих відхилень за допомогою алгоритму Isolation Forest. Це допомагає усунути аномалії, які могли б спотворювати структуру даних та значно ускладнити подальший аналіз. Після чого, метод K-Means використовується для кластеризації отриманих груп даних на основі їхніх характеристик, що дозволяє зменшити складність аналізу та спростити виявлення закономірностей. Такий підхід є ефективним у сценаріях, де важливо правильно класифікувати дані, та виявляти потенційні проблеми, що може бути особливо корисно у сфері кібербезпеки, при фінансовому аналізі, а також при оцінці ризиків у бізнесі. В енергетиці така система дозволить аналізувати потоки даних з датчиків та виявляти можливі несправності обладнання. У фінансовій сфері така система може використовуватися для виявлення підозрілих транзакцій та аналізу ризиків. У державному управлінні вона допоможе покращити аналіз статистичних показників та контролювати ефективність різноманітних програм.

Висновки. Застосування комплексного підходу, що включає методи первинної обробки даних, кластеризації та виявлення аномалій, дозволяє підвищити якість оцінки поточних даних на різноманітних підприємствах. Впровадження перерахованих методів в рамках однієї системи може посприяти підвищенню надійності багатьох систем, своєчасному виявленню відхилень у даних та оптимізації управлінських рішень. Подальші дослідження можуть зосередитися на адаптації алгоритмів до специфічних потреб підприємств та вдосконаленні методів первинної обробки даних.

Перелік посилань:

1. K-Means vs DBSCAN – Clustering Algorithms for Grouping Data. URL: <https://stephen-cheng.github.io/2024/09/03/K-Means-vs-DBSCAN-Clustering-Algorithms-for-Grouping-Data> (дата звернення 01.03.2025).
2. Гавриленко С.Ю., Шевердін І.В., Системи на основі алгоритму “Isolation forest” : кваліф. роб. канд. техн. наук : Київ, 2021. 12 с.
3. Kuzminykh V.O., Koval O.V., Svistunov S.Y., Xu Beibei, Zhu Shiwei. Data collection for analytical activities using adaptive micro-service architecture // ISSN1560-9189 / Registration, storage and processing of data, 2021, Т. 23, № 1 с.67–79 DOI: 10.35681/1560-9189.2021.23.1.235408
4. Koval O.V., Kuzminykh V.O., Husyeva I.I., Xu B., Zhu S. Construction Optimizing of Search and Data Processing Scerario Based on a Graphical Model,CEUR Workshop Proceedings, 2023, 3887, pp. 63–72.

¹ Аспірант 2 курсу Макарчук А.В.¹ Проф., д.т.н. Барабаш О.В.<https://scholar.google.com/citations?user=PCPdRKwAAAAJ&hl=uk>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ

Постановка проблеми та її актуальність. Активне використання інформаційних систем в ряді задач вимагає попереднє їх моделювання та дослідження на функціональну стійкість на запланованому проміжку часу. На даний момент розроблені методи опису зміни деяких показників функціональної стійкості в часі, але ці методи передбачають урахування певних числових характеристик елементів системи, однак, способів їх обчислення не розроблено. Це спонукає розробити способи обчислення бажаних характеристик елементів розглядуваної інформаційної системи, при яких можна забезпечити задовільну функціональну стійкість.

Аналіз останніх досліджень. В ряді робіт, як от в [1], наголошується увага на живучість інформаційної системи та її елементів. Це досить важлива характеристика, яку часто необхідно враховувати. З другої сторони, є поняття функціональної стійкості інформаційної системи, яку чисельно можна представити за допомогою ймовірності зв'язності [2, 3]. Як показують певні результати досліджень, ймовірність зв'язності можна представити з урахуванням чисельного представлення живучості елементів системи [4]. Головну проблему становить таке питання: як за допомогою такого представлення оцінювати необхідну живучість елементів розглядуваної інформаційної системи?

Формулювання мети. При експлуатації інформаційної системи в автономному режимі досить важливим є визначення певних характеристик елементів цієї системи, вагомим для забезпечення достатньої функціональної стійкості. Дану задачу можна вирішити за допомогою встановлення певних обмежень на показники функціональної стійкості.

Основна частина. Розглянемо такий підхід на прикладі ймовірності зв'язності R_{ij} тобто ймовірності передачі інформації між наперед вибраною парою вершин (v_i, v_j) . Згідно з [4], якщо ми знаємо детермінований вплив $c_{e_m} = c_{e_m}(t)$ на елемент e_m та коефіцієнт його зношуваності $K_{e_m} = \text{const} \geq 0$, то, згідно з означенням ймовірності зв'язності, в загальному випадку, буде функцією від часу тобто $R_{ij} = R_{ij}(t)$. Оскільки, як показують експерименти, має місце твердження

$$\forall i, j = \overline{1, n}, i \neq j, h, t > 0: R_{ij}(t + h) \leq R_{ij}(t),$$

а експлуатація системи відбувається на проміжку часу $[0, T]$, як умову достатньої функціональної стійкості розглядуваної системи можна розглядати $\min_{\substack{i, j = \overline{1, n} \\ i \neq j}} R_{ij}(T) \geq R$, де R – наперед задана порогова ймовірність. Використовуючи її можна знайти максимально допустиме значення коефіцієнтів зношення елемента системи, вирішивши задачу

$$\operatorname{argmax}_{K_{e_m}} \left(\min_{\substack{i, j = \overline{1, n} \\ i \neq j}} R_{ij}(T) \geq R \right).$$

Продемонструємо описаний підхід до встановлення характеристик елементів системи на прикладі. Нехай проектується інформаційна система з топологією, представленою на рис. 1.

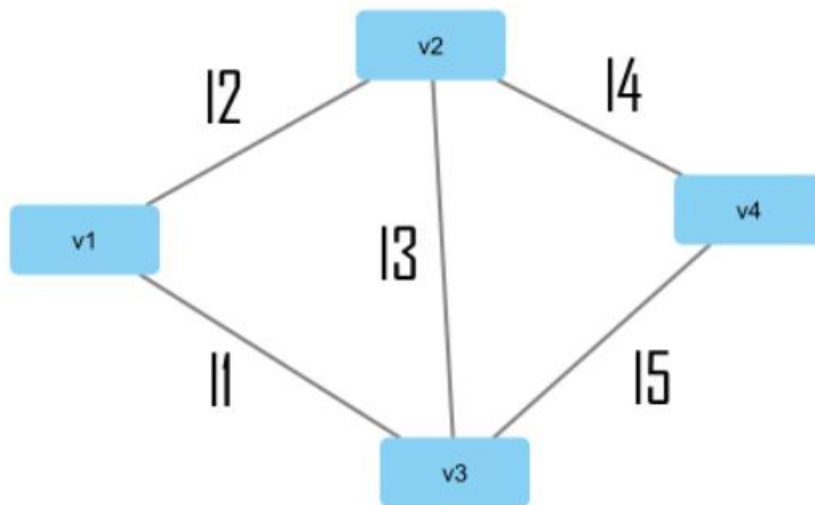


Рисунок 1 – Приклад топології інформаційної системи

Якщо покласти, що на час експлуатації тривалістю в 30 діб машини $v_i, i = \overline{1,4}$ є абсолютно справними, а на лінії зв'язку здійснюється навантаження, яке можна описати формулами як

$$\forall i = \overline{1,5}: c_{li}(t) = \frac{1}{3} \cos(\pi \sqrt{i} t) + \frac{2}{3},$$

причому, очікується, що порогове значення ймовірності зв'язності рівне 0,8, то можна показати, що

$$\forall i = \overline{1,5}: K_{li} \leq 0,1,$$

тобто всі лінії зв'язку повинні бути досить живучими тобто, другими словами, для експлуатації інформаційної системи з топологією, представленою на рис. 1, в автономному режимі за зазначених умов слід передбачити високонадійні лінії зв'язку.

Висновки. В роботі продемонстровано спосіб оцінки необхідної живучості елементів інформаційної системи у випадку її автономної роботи на час експлуатації. Попри обчислювальну складність цей спосіб допомагає непогано оцінювати необхідну живучість всіх елементів за рахунок виставлення вимог до функціональної стійкості системи ще на етапі проектування.

Перелік посилань:

1. Барабаш О.В. Побудова функціонально стійких розподілених інформаційних систем. Київ: НАОУ, 2004. 226 с.
2. Гук О.М., Пермяков О.Ю., Нестеров О.М., Уварова Т.В. Аналіз існуючих підходів щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем військового призначення. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2020. № 39(3). С. 39–44.
3. Барабаш О.В., Макарчук А.В., Саланда І.П. Дослідження ймовірнісного показника функціональної стійкості розподілених інформаційних систем. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. № 1. С. 45–50.
4. Барабаш О., Свинчук О., Макарчук А. Спосіб представлення ймовірнісного показника функціональної стійкості інформаційної системи як функції від часу. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. 2024. Т. 341, № 5. С. 123–127.

¹ Бакалаврант 4 курсу Демський І.С.; ¹ Аспірант 3 курсу Голець В.О.

¹ Проф., д.т.н. Коваль О.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=zI4-oasAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ГРАНИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Постановка проблеми та її актуальність. В епоху стрімкого розвитку технологій і неухильного зростання обсягу даних пошук нових шляхів обробки інформації та керування нею стає ключовим для підвищення ефективності. Один із найзначніших технологічних проривів останніх років – граничні обчислення. Вони стали справді революційним рішенням, що дозволяє ефективніше керувати даними та покращити загальну продуктивність [1].

Аналіз останніх досліджень. Розумні підстанції, необхідні для сучасних систем передачі та розподілу електроенергії, стикаються зі складними проблемами в оцінці стану обладнання. Швидкий розвиток штучного інтелекту (АІ) покращив моніторинг і оцінку обладнання підстанцій, підвищивши надійність і ефективність системи. Технологія штучного інтелекту надійно підтримує безпечну та економічну роботу сучасних енергосистем. Розумні підстанції генерують величезну кількість багатовимірних робочих даних, включаючи температуру, механічні параметри та силове навантаження. Традиційні ручні методи аналізу забирають багато часу та піддаються помилкам. Алгоритми штучного інтелекту ефективно обробляють дані за допомогою інтелектуального аналізу даних і машинного навчання, перетворюючи необроблені дані на цінну інформацію [2].

Формулювання мети. Спостереження за станом обладнання. Використання граничних числень з ціллю економії ресурсів.

Основна частина. Бездротова сенсорна мережа, що складається з n вузлів може бути представлена як множина вузлів:

$$H = \{H_1, H_2, \dots, H_n\}, \quad (1)$$

де n – кількість вузлів. Бездротова сенсорна мережа містить множину сенсорів:

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}, \quad (2)$$

де k – кількість сенсорів. Інформація з кожного сенсору оброблюється зі своєю періодичністю. Тобто частота появи пакетів для k сенсорів є множиною:

$$f = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}, \quad (3)$$

де k – кількість сенсорів. Пакети даних сенсорів оброблюються робчислювачами:

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_p\}, \quad (4)$$

де p – кількість обчислювачів. Інформація з кожного сенсора оброблюється за допомогою підготовленої нейромережевої моделі, час виконання операцій обробки з кожного сенсора є множиною:

$$ts = \{ts_1, ts_2, \dots, ts_k\}, \quad (5)$$

де k – кількість сенсорів. Так як мережа, що моделюється, має здатність делегувати обробку пакетів іншим сумісним вузлам, час обробки (5) можна представити у вигляді:

$$tr = \{tr_1, tr_2, \dots, tr_k\}. \quad (6)$$

Для раціонального розподілу ресурсів в мережі у разі делегування обробки іншому вузлу необхідно мінімізувати витрати на пересилку пакетів між вузлами, тобто зменшити кількість «стрибків» h [3].

Використання методів ШІ може покращувати продуктивність мережі в багатьох субдоменах, таких як розподіл ресурсів, прогнозування й класифікація мережевого трафіку, контроль перевантаження та маршрутизація [4].

Методика навчання та застосування розробленої нейронної мережі полягає в наступному:

- для кожної вхідної та вихідної змінних дані нормалізуються у межах діапазону $[-1; 1]$;
- початкові ваги у прихованому шарі задаються у вигляді випадкових значень, що належать інтервалу $[-1; 1]$; початкові усунення встановлюються рівними нулю;
- матриця ваг множить на вхідні дані p , і додається зміщення так, щоб

$$n_k^h = \sum_{j=1}^J \omega_{kj}^h p_j + b_k^h, \quad k = 1, \dots, K, \quad (8)$$

де J, K – число вхідних змінних та прихованих нейронів. p, b^h, ω^h – вхідна змінна, зміщення та вага у прихованому шарі відповідно. Підрядкові індекси ваги записуються наступним чином: перший підрядковий індекс позначає нейрон, про який йдеться, другий - вхідну змінну, до якої належить вага. Розраховане значення n_k^h використовується у функції активації f^h для обчислення a_k^h . Як функцію активації використовується сигмоїдна функція з гіперболічним тангенсом

$$a_k^h = \frac{e^{n_k^h} - e^{-n_k^h}}{e^{n_k^h} + e^{-n_k^h}}; \quad (9)$$

- у вихідному шарі використовується та сама процедура, що й у прихованому шарі, за винятком того, що задіяний лише один нейрон

$$n_1^0 = \sum_{j=1}^K \omega_{1j}^0 a_j^h + b_1^0 \quad (10)$$

та лінійна функція для обчислення

$$a_1^0 = n_1^0. \quad (11)$$

Нейронна мережа з випадково заданими початковими вагами та усуненнями не дозволяє отримати результат з необхідною точністю. Для цього в процесі навчання ваги та усунення змінюються таким чином, щоб мінімізувати різницю між вихідним та цільовим значеннями моделі [5].

Висновки. Підсумовуючи, використання сітки з кривими Безьє є потужною

технікою для створення складних 3D-моделей у комп'ютерній графіці. Поєднання сили кривих Безьє з гнучкістю сіток, надало можливість створювати точні та складні форми та поверхні, яких було б важко (або неможливо) досягти за допомогою традиційних методів моделювання.

Перелік посилань:

1. Граничні обчислення: прорив у керуванні даними. Apix-Drive. URL: <https://apix-drive.com/ua/blog/useful/granichni-obchislennja-proriv-u-keruvanni-danimi> (дата звернення: 15.03.2025).
2. Skorobohatko S. & Fesenko H. Перспективи використання літальних апаратів, хмарних, граничних та туманних обчислень у системах моніторингу потенційно небезпечних об'єктів.. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 4. 2022 С. 145–152. DOI: 10.26906/SUNZ.2022.4.145.
3. Розподілення ресурсів сенсорної мережі в умовах граничних обчислень. Вісник сучасних інформаційних технологій, 2018, Vol. 1, № 1, С. 28–35.
4. Lee, Seon-Keun. State Evaluation of Electrical Equipment in Substations Based on Data Mining. Applied Sciences. DOI: 14. 2024 10.3390/app14167348.
5. Шевнина Ю.С. Управління системою контролю поверхневих дефектів виробів мікроелектроніки. 12 с.

¹ Бакалаврант 4 курсу Кривоконь А.О.

¹ Асист. Голець В.О.

https://scholar.google.com/citations?user=F_ZDBEAAAAAJ&hl=uk

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ АВТЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧА ЗА ВІДБИТКОМ ПАЛЬЦЯ ДЛЯ СКУД СИСТЕМИ КАФЕДРИ

Постановка проблеми та її актуальність. Системи контролю доступу (СКУД) зараз активно розвиваються і потребують надійних методів автентифікації. Зараз найбільш розповсюдженими є паролі чи картки для СКУД, але такі засоби мають недоліки – їх можна втрати або передати третім особам [1]. Основна задача розробки програмно-апаратного модуля для біометричної автентифікації в СКУД – підвищення рівня безпеки. Біометрична автентифікація за відбитком пальця забезпечує достатньо високий рівень безпеки, оскільки відбитки унікальні та незмінні [2].

Аналіз останніх досліджень. До прикладу, за останніми дослідженнями ефективність біометричних систем контролю доступу, зокрема тих, що базуються на розпізнаванні відбитків пальців підтверджена [3].

Однак, існують відомі способи обману біометричних систем контролю доступу за відбитком пальця. Наприклад, досліді японського криптографа Цутому Мацумото показали можливість фальсифікації відбитків пальців [4]. Тож дослідження інтеграції біометричних систем автентифікації в СКУД є актуальним напрямом, щоб забезпечити підвищення рівня безпеки та ефективність управління доступом.

Формулювання мети. Розробити та впровадити програмно-апаратний модуль для СКУД кафедри, що використовує біометричну автентифікацію за відбитком пальця.

Основна частина. Розробка програмно-апаратного модуля для біометричної автентифікації за відбитком пальця в системі контролю та управління доступом (СКУД) кафедри передбачає використання мікрокомп'ютера Raspberry Pi та модуля ємнісного сканера відбитків пальців (Рис. 1) :



Рисунок 1 – Модуль ємнісного сканера відбитків пальців

Для апаратної частини було вирішено використовувати мікрокомп'ютер Raspberry Pi Zero, саме ця версія мікрокомп'ютера Raspberry Pi доволі гнучка у підключенні через інтерфейси (GPIO, UART та USB), що дозволить легко інтегрувати сканер відбитків пальців. Також перевагою Raspberry Pi Zero є його дешева ціна на ринку, що зробить розробку пристрою відносно дешевою [5].

Модуль ємнісного сканера відбитків пальців буде використано від WaveShare. Проаналізувавши ринок, було обрано саме цей модуль через його широку підтримку програмного забезпечення та бібліотек для Arduino, Raspberry Pi, STM32 тощо. Розміри саме цього модуля і датчика дозволяють зробити пристрій компактним: розмір модуля: 45 × 30 мм (рис. 2), розмір датчика: 33,4 × 20,4 мм.

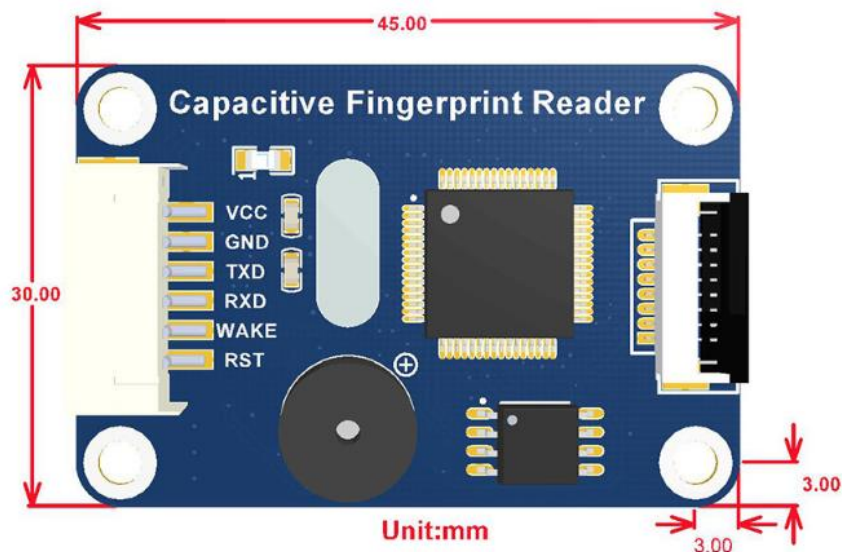


Рисунок 2 – Розміри модуля

Принцип роботи системи можна описати наступним чином:

1. Реєстрація користувача. Новий користувач прикладає палець до сканера, після чого зчитані дані обробляються та зберігаються у вигляді шаблону в базі даних.
2. Автентифікація. При спробі доступу користувач знову прикладає палець до сканера. Система порівнює зчитаний відбиток з наявними шаблонами.
3. Прийняття рішень. Буде працювати логіка при якій у разі збігу відбитка з шаблоном дозволяється доступ, і відповідний механізм (електронний замок) активується. У протилежному випадку доступ відхиляється, і може бути зафіксована спроба несанкціонованого доступу.

Висновки. Підсумовуючи, розробка програмно-апаратного модуля для аутентифікації користувачів за відбитком пальця на базі Raspberry Pi та ємнісного сканера від WaveShare є ефективним і дешевим рішенням для підвищення безпеки в системах контролю доступу. Така система забезпечує надійну ідентифікацію користувачів, гнучкість у налаштуванні та можливість інтеграції з існуючою інфраструктурою.

Перелік посилань:

1. Харківське охоронне агентство «ІМПЕРІЯ» URL: <https://imperia.org.ua/article/sistema-kontrolyu-dostupu-skud-princip-dii-sklad-osoblivosti-zastosuvannya> (дата звернення 10.03.2025)
2. ГК «ОХОРОНА І БЕЗПЕКА-КИЇВ». URL: <https://ohorona-kyiv.com.ua/blog/biometricheskij-kontrol-dostupa-po-otpechatku-palcza.html> (дата звернення 10.03.2025)
3. Дослідження ефективності методів біометричної автентифікації: URL: https://www.researchgate.net/publication/323728995_Doslizenna_efektivnosti_metodiv_biometrichnoi_avtentifikacii
4. Електронне наукове фахове видання – журнал «Проблеми телекомунікацій». URL: https://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2023/12/123_Pastushenko_biometric_.pdf
5. Тези доповідей науково-практичного семінару НДІ інфокомунікацій ДУІТЗ, м. Львів, 19 грудня 2023. URL: https://www.stimulus.com.ua/images/documents/seminarITSE_UKR-1.pdf.

¹ Бакалаврант 4 курсу Крутигорова В.О.

¹ Асист. Голець В.О.

https://scholar.google.com/citations?user=F_ZDBEAAAAAJ&hl=uk

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗА ПРИНЦИПОМ «INFRASTRUCTURE AS CODE» З ВИКОРИСТАННЯМ TERRAFORM І ANSIBLE ДЛЯ OPENSTACK, GITLAB ТА APACHE

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні ІТ-інфраструктури вимагають гнучкості, автоматизації та ефективного управління ресурсами, особливо при розгортанні комплексних систем у хмарних середовищах. Впровадження підходу Infrastructure as Code (IaC) дозволяє значно спростити процеси налаштування, масштабування та підтримки інфраструктури, зменшуючи ризик людських помилок та покращуючи повторюваність конфігурацій. Для автоматизації процесів розгортання широко використовуються такі інструменти, як Terraform для управління інфраструктурою та Ansible для конфігураційного менеджменту. Водночас платформи OpenStack, GitLab та Apache є ключовими компонентами сучасних хмарних та DevOps-орієнтованих екосистем. Однак інтеграція цих інструментів у єдину систему вимагає детального опрацювання методів автоматизації, що робить дослідження в цьому напрямку актуальним та практично значущим.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження в галузі автоматизації інфраструктури підтверджують зростаючу популярність підходу Infrastructure as Code (IaC) та його впровадження у різних ІТ-середовищах. Зокрема, Terraform широко використовується для декларативного управління ресурсами хмарних платформ, включаючи OpenStack, що дозволяє стандартизувати процес розгортання інфраструктури [1]. Водночас Ansible забезпечує ефективну автоматизацію конфігураційних процесів, зокрема керування сервісами, такими як GitLab і Apache, що спрощує розгортання та адміністрування серверних рішень [2]. Поєднання цих інструментів дає змогу створювати гнучкі та відтворювані інфраструктури, зменшуючи залежність від ручного налаштування та підвищуючи надійність системи [3]. Актуальні дослідження також демонструють переваги використання IaC у DevOps-процесах, сприяючи автоматизації CI/CD-пайплайнів, оптимізації ресурсів та підвищенню безпеки інфраструктури [4]. Це підтверджує необхідність подальшого розвитку методик інтеграції Terraform та Ansible у складні інфраструктурні рішення, зокрема для OpenStack, GitLab та Apache.

Формулювання мети. Метою роботи є розробка комплексної інфраструктури за принципом Infrastructure as Code (IaC) з використанням Terraform та Ansible для автоматизованого розгортання та управління сервісами OpenStack, GitLab та Apache.

Основна частина. Одним із ключових підходів до розгортання та управління ІТ-інфраструктурою є *Infrastructure as Code (IaC)*, який дозволяє описувати інфраструктуру у вигляді коду. Для реалізації цього підходу активно використовуються Terraform та Ansible.

Terraform дозволяє створювати та керувати ресурсами хмарних платформ за допомогою декларативної конфігурації, що значно спрощує процес розгортання інфраструктури. Формально, процес управління ресурсами можна подати у вигляді наступного рівняння:

$$S = f(C, P, R), \quad (1)$$

де S – поточний стан інфраструктури;

C – конфігурація ресурсів у коді Terraform;
 P – параметри змінного середовища;
 R – зовнішні ресурси та залежності.

Зміна будь-якого з цих параметрів призводить до оновлення або створення нових ресурсів відповідно до вказаної конфігурації.

Ansible використовується для автоматизації налаштувань серверів та розгортання програмного забезпечення. Його робота ґрунтується на виконанні Playbook, які складаються із завдань, що описують бажаний стан системи. Формально, роботу Ansible можна подати як:

$$C_{final} = Ansible(C_{initial}, P_{tasks}), \quad (2)$$

де $C_{initial}$ – початковий стан сервера;

P_{tasks} – набір завдань у Playbook;

C_{final} – кінцевий стан після виконання автоматизації.

Для ефективного розгортання інфраструктури необхідно інтегрувати такі ключові сервіси:

- OpenStack – керує віртуальними машинами та мережею, забезпечуючи масштабованість обчислювальних ресурсів;
- GitLab – використовується для керування вихідним кодом та автоматизації CI/CD-процесів;
- Apache – веб-сервер, що обслуговує веб-додатки та API.

Процес розгортання інфраструктури може бути поданий у вигляді наступного рівняння:

$$I = Terraform(Openstack) + Ansible(GitLab, Apache), \quad (3)$$

де $Terraform(Openstack)$ – автоматичне створення віртуальних серверів, мереж та сховищ у OpenStack;

$Ansible(Gitlab, Apache)$ – автоматизація встановлення GitLab та Apache.

Розроблена система має забезпечувати такі характеристики:

- Масштабованість – можливість автоматичного розширення ресурсів;
- Надійність – захист від збоїв за допомогою резервного копіювання;
- Гнучкість – адаптація до змін середовища.

Аналіз ефективності використання Terraform та Ansible. Для оцінки ефективності автоматизації проводиться аналіз споживання ресурсів до та після впровадження IaC.

Таблиця 1 – Порівняння часу розгортання інфраструктури

Метод розгортання	Час розгортання (хв)	Кількість помилок	Відтворюваність (%)
Ручне налаштування	120	5	60
Terraform + Ansible	15	0	100

Згідно з таблицею, автоматизація значно скорочує час розгортання та усуває людські помилки, що підвищує стабільність роботи системи.

Для підвищення продуктивності використовується балансування навантаження між серверами Apache. Це досягається за допомогою HAProxy, який рівномірно розподіляє запити між серверами.

Формально балансування можна описати рівнянням:

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n}, \quad (4)$$

де L – середнє навантаження на один сервер;

R_i – кількість запитів, що надходять на сервер I ;

n – загальна кількість серверів.

Балансування запобігає перевантаженню окремих серверів та забезпечує безперебійну роботу веб-додатків.

GitLab CI/CD автоматизує процеси тестування, збірки та розгортання додатків. Основні етапи пайплайну включають:

1. Компіляція коду – перевірка синтаксису та збірка проекту.
2. Тестування – виконання автоматизованих тестів.
3. Деплоймент – розгортання оновлень на сервери.

Це дозволяє мінімізувати ризик помилок при оновленні системи та пришвидшити впровадження нових функцій.

Висновки. Розроблена IaC-архітектура на базі Terraform та Ansible для OpenStack, GitLab та Apache дозволяє автоматизувати процеси розгортання, управління та масштабування інфраструктури. Автоматизація забезпечує:

- скорочення часу розгортання ресурсів у 8 разів;
- підвищення стабільності та відтворюваності конфігурацій;
- зменшення впливу людського фактору на роботу інфраструктури;
- ефективне балансування навантаження та оптимізацію ресурсів.

Застосування підходу *Infrastructure as Code* сприяє покращенню продуктивності та безпеки сучасних ІТ-систем, що підтверджує доцільність використання запропонованої методики у практичних розгортаннях хмарних сервісів.

Перелік посилань:

1. Schadler J., Smith K. OpenStack Cloud Computing Cookbook. Packt Publishing, 2016. 468 p.
2. Smith A., Harris B. GitLab CI/CD for DevOps. Packt Publishing, 2019. 320 p.
3. Apache Software Foundation. Apache Tomcat Documentation. URL: <https://tomcat.apache.org> (дата звернення 18.03.2025).
4. Patterson D. Infrastructure Automation with Terraform and Ansible. O'Reilly Media, 2020. 350 p.

¹ Бакалаврант 4 курсу Миколюк Б.В.

¹ Асист. Голець В.О.

https://scholar.google.com/citations?user=F_ZDBEAAAAAJ&hl=uk

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕГРАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ ТА ДОСТУПОМ (IAM) НА БАЗІ KEYCLOAK З ПІДВИЩЕНИМИ ВИМОГАМИ ДО БЕЗПЕКИ ІНФРАСТРУКТУРИ

Постановка проблеми та її актуальність. В умовах стрімкого розвитку хмарних технологій та збільшення кількості цифрових сервісів важливим є впровадження надійних систем управління ідентифікацією та доступом (IAM). Ефективне рішення цієї задачі потребує застосування сучасних платформ, таких як Keycloak, що забезпечують централізовану аутентифікацію, авторизацію та інтеграцію з різноманітними сервісами та додатками. Для забезпечення високого рівня безпеки необхідно впроваджувати жорсткі вимоги до безпеки серверів, а також автоматизувати процеси налаштування і моніторингу IAM. Складність сучасних інформаційних систем постійно зростає, що ускладнює ручне управління правами доступу та створює додаткові ризики витоку конфіденційних даних. Без централізованого підходу до керування ідентифікацією виникає фрагментованість політик доступу, що може призвести до появи вразливостей у системі. У таких умовах критично важливим є застосування гнучких, масштабованих та автоматизованих рішень, здатних адаптуватися до змін у корпоративному середовищі. Паралельно із цим зростає і кількість кібератак, що орієнтовані саме на компрометацію облікових даних. Це робить проблему впровадження ефективних IAM-рішень ще більш актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Використання платформи Keycloak є однією з ефективних стратегій централізованого керування ідентифікацією завдяки підтримці стандартів SSO, LDAP, OpenID Connect та OAuth 2.0. Платформа надає потужні можливості інтеграції з такими сервісами, як GitLab, Grafana, Kibana і Openstack. Завдяки наявності вбудованих механізмів MFA (багатофакторної автентифікації) та гнучких політик доступу Keycloak стає оптимальним рішенням для забезпечення захисту корпоративних ресурсів. Застосування відкритих стандартів, зокрема OpenID Connect та OAuth 2.0, дозволяє забезпечити сумісність із широким спектром сучасних веб- і мобільних додатків, що є важливою перевагою для розробників і адміністраторів. Підтримка LDAP і Active Directory спрощує міграцію на нову IAM-систему без необхідності значних змін у вже існуючій інфраструктурі підприємства. Keycloak також активно використовується у відкритих і комерційних проєктах, що підтверджує його надійність, масштабованість та підтримку спільнотою. Крім того, платформа має гнучкий механізм розширення за допомогою custom-плагінів, що дозволяє адаптувати її функціональність під специфічні вимоги конкретного середовища. Це робить Keycloak не лише засобом ідентифікації, а й повноцінною базою для побудови захищених рішень у сфері доступу до цифрових ресурсів.

Формулювання мети. Основною метою є розробка та впровадження автоматизованої системи IAM на базі Keycloak з високими вимогами до безпеки. Необхідно вирішити такі завдання: впровадження централізованої системи доступу, інтеграція з SSO, LDAP, OpenID Connect, створення гнучких політик автентифікації та авторизації, проведення security hardening, автоматизація розгортання та оновлень, а також організація ефективного моніторингу безпеки доступу. Впровадження централізованої IAM-системи дозволяє зменшити адміністративне навантаження та уникнути дублювання облікових записів у різних системах. Інтеграція з існуючими корпоративними сервісами через SSO забезпечує зручність для кінцевих користувачів, зменшуючи кількість паролів, які потрібно запам'ятовувати, та знижуючи ризики фішингу.

Створення гнучких політик доступу дозволяє точно контролювати, які ресурси доступні кожному користувачу залежно від його ролі в організації. Security hardening є обов'язковим компонентом побудови безпечної IAM-архітектури, оскільки унеможливорює використання базових конфігурацій, що можуть містити критичні вразливості. Автоматизація всіх етапів – від розгортання до оновлень – дозволяє забезпечити сталість середовища та уникнути людських помилок, які часто є джерелом проблем у системах безпеки. Нарешті, якісний моніторинг та аудит подій доступу є важливою передумовою для виявлення аномальної поведінки та своєчасного реагування на потенційні загрози.

Основна частина. Для забезпечення ефективності та безпеки впровадження IAM-рішення на базі Keycloak необхідно дотримуватись наступного алгоритму дій.

Загальний вигляд інтеграції Keycloak задається так:

Розгортання платформи у контейнерному середовищі (Docker, Kubernetes) з урахуванням вимог високої доступності (HA).

Інтеграція платформи Keycloak із зовнішніми джерелами ідентифікації, такими як LDAP або Active Directory, а також з використанням стандартів OpenID Connect та OAuth 2.0.

Створення та застосування політик доступу з підтримкою ролей, груп користувачів та багатфакторної автентифікації (MFA), включаючи технології OTP та WebAuthn.

Реалізація Security Hardening шляхом впровадження TLS/SSL, обмеження доступу до адміністративних інтерфейсів та регулярних оновлень.

Автоматизація процесів розгортання, налаштування та оновлення Keycloak з використанням CI/CD (Ansible, Terraform, Helm).

Впровадження моніторингу та аудиту подій безпеки, інтеграція з інструментами Prometheus, Grafana та SIEM.

Keycloak дозволяє створювати централізовану модель керування доступом до корпоративних ресурсів, забезпечуючи при цьому гнучкість та оперативність реагування на зміни. Такий підхід дозволяє централізовано управляти обліковими записами, правами доступу та політиками безпеки для великої кількості додатків і сервісів, що особливо актуально для середовищ з високим рівнем складності. Важливою характеристикою платформи є підтримка єдиного входу (SSO), що значно спрощує користувачам роботу з численними додатками, оскільки вхід до всіх систем здійснюється один раз, без потреби повторної автентифікації. Це не лише підвищує зручність, а й сприяє зниженню кількості інцидентів, пов'язаних із забутими паролями або їх повторним використанням.

З позиції DevOps-підходу значною перевагою Keycloak є високий ступінь автоматизації процесів розгортання та оновлення, завдяки чому скорочується час на впровадження змін і мінімізується кількість потенційних помилок, викликаних людським фактором. Можливість використання контейнеризованих середовищ, таких як Docker або Kubernetes, а також підтримка інструментів автоматизації (Ansible, Terraform, Helm) дає змогу забезпечити узгоджене, передбачуване розгортання в різних середовищах – від розробки до продуктивного середовища.

Впровадження CI/CD-процесів забезпечує безперервну інтеграцію та доставку оновлень, що сприяє підвищенню стабільності та безпеки системи. Крім того, це дозволяє своєчасно впроваджувати критичні оновлення без необхідності зупинки сервісів, що є особливо важливим для систем з високими вимогами до доступності.

Особливу увагу варто приділити процесу Security Hardening інфраструктури, який передбачає застосування комплексу заходів із захисту серверів. Це включає використання захищених протоколів передачі даних (TLS/SSL), налаштування чітких і суворих правил доступу (ACL) до критичних сервісів та адміністративних інтерфейсів, сегментацію мережевих зон, а також регулярне оновлення програмних компонентів з метою запобігання вразливостям. Також варто впроваджувати журнали доступу та системи виявлення аномалій. Такий комплексний підхід до безпеки дозволяє значно підвищити надійність

інфраструктури та уникнути критичних інцидентів, пов'язаних із несанкціонованим доступом або зловживанням правами користувачів.

Висновки. Підсумовуючи, інтеграція та автоматизація IAM-систем на базі Keycloak із застосуванням security hardening забезпечують високий рівень захисту інформаційних ресурсів підприємств. Використання централізованого управління доступом і гнучких механізмів інтеграції надає можливість ефективно керувати доступом у складних корпоративних середовищах.

Перелік посилань:

1. Red Hat Keycloak Documentation. URL: <https://www.keycloak.org/documentation> (дата звернення 04.03.2025).
2. OpenID Connect & OAuth 2.0 Standards. URL: <https://openid.net/developers/how-connect-works/> (дата звернення 04.03.2025).
3. Grafana Authentication with Keycloak URL: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/auth/keycloak/> (дата звернення 04.03.2025).
4. Kubernetes Security Best Practices. URL: <https://kubernetes.io/docs/concepts/security/> (дата звернення 04.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Ободовський А.В.

¹ Асист. Голець В.О.

https://scholar.google.com/citations?user=F_ZDBEAAAAAJ&hl=uk

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗГОРТАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ХМАРНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ OPENSTACK НА БАЗІ VMWARE ESXi ТА VCENTER З ВИКОРИСТАННЯМ TERRAFORM, PACKER І ANSIBLE

Постановка проблеми та її актуальність. Ручне розгортання OpenStack на базі VMware ESXi та vCenter вимагає великих часових ресурсів і збільшує ризик помилок. Немає уніфікованого механізму швидкого налаштування всіх компонентів (віртуальних машин, мережі, сховищ), а це ускладнює масштабування й введення нових сервісів. Одночасно використання різних версій OpenStack, VMware та додаткових систем (NAS, мережеві проксі) часто призводить до конфліктів і знижує загальну стабільність середовища. У світі DevOps підхід «Інфраструктура як код» уже став стандартом для прискорення й спрощення управління інфраструктурою. Інтеграція інструментів автоматизації (Packer, Ansible) із платформами віртуалізації (VMware ESXi, vCenter) та OpenStack дає змогу швидко, відтворювано та безпомилково розгортати й оновлювати хмарне середовище. Саме тому розробка уніфікованого рішення з автоматизації є необхідною для забезпечення гнучкості, стабільності та безперервності бізнес-процесів.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних публікаціях акцент робиться на поєднанні хмарної платформи OpenStack з рішеннями віртуалізації VMware та підходами DevOps. Зокрема, [1] описує автоматизоване управління обчислювальними ресурсами OpenStack, включно з методами оркестрації віртуальних машин на базі vCenter. У [2] розглянуто практичні кейси використання Ansible та «Інфраструктури як коду» (IaC) задля прискореного деплоюменту та зменшення кількості помилок. Документація Packer [3] демонструє можливості створення уніфікованих базових образів, що суттєво полегшує інтеграцію з VMware ESXi та OpenStack. Також у [4] відзначаються переваги резервування та масштабування у приватних і гібридних хмарах, побудованих із застосуванням VMware vSphere.

Формулювання мети. Метою є розробка та впровадження комплексного підходу до автоматизованого розгортання і подальшого управління хмарною інфраструктурою OpenStack на базі VMware ESXi та vCenter з використанням інструментів Packer і Ansible. Це передбачає створення уніфікованої методики формування базових образів, конфігурування мережі та систем зберігання, а також інтеграцію процесів балансування навантаження та моніторингу з метою досягнення високої надійності, масштабованості й ефективності інфраструктури.

Основна частина. Автоматизоване розгортання хмарної інфраструктури на базі OpenStack, інтегрованої з VMware ESXi та vCenter, передбачає низку послідовних етапів: створення уніфікованих образів віртуальних машин, налаштування мережевих підсистем, підключення сховищ (NAS), реалізація механізму балансування навантаження (Reverse Proxy) та запровадження засобів моніторингу. Підхід «Інфраструктура як код» (IaC) дає змогу описувати всі ці компоненти у вигляді декларативних конфігурацій, що полегшує розгортання, оновлення і масштабування системи.

Однією з ключових задач є уніфікація середовища, в якому працюють віртуальні машини. Для цього за допомогою інструмента Packer створюються так звані базові образи (base images). Фактично, Packer виконує послідовно всі кроки (встановлює необхідні пакунки, вносить системні зміни, керує службами) і формує відтворюваний образ, придатний для розгортання у середовищі VMware ESXi.

Для керування життєвим циклом віртуальних машин використовується vCenter як центральна точка моніторингу та адміністрування. Взаємодія OpenStack із vCenter дає змогу:

- динамічно створювати і видаляти віртуальні машини з урахуванням ресурсів кластера;
- розподіляти навантаження між хостами ESXi за допомогою DRS (Distributed Resource Scheduler);
- забезпечувати високу доступність (HA) у разі збою на одному з хостів.

При цьому Nova (компонент OpenStack, що керує обчислювальними ресурсами) викликає API vCenter для створення віртуальних машин, використовуючи підготовлені образи.

Для повноцінної роботи хмарного середовища важливо правильно спроектувати мережу:

- Внутрішні VLAN – для обміну даними між компонентами OpenStack (Nova, Glance, Keystone та ін.).

- Зовнішня мережа – для доступу до Інтернету та надання послуг кінцевим користувачам.

- NAS-сховище – підключається по мережі (NFS, iSCSI чи інші протоколи) та використовується як єдиний простір для баз даних або образів віртуальних машин (Glance).

Для забезпечення безперервного функціонування сервісів (наприклад, Horizon, Keystone чи API OpenStack) доцільно налаштувати Reverse Proxy (Nginx або HAProxy). Він приймає зовнішні запити та розподіляє їх між кількома вузлами, що дозволяє:

- уникнути простоїв у разі відмови одного з вузлів (HA);
- масштабувати обчислювальні ресурси без переривання для клієнтів.

Для швидкого реагування на несправності та аналізу продуктивності використовують:

- Prometheus або Zabbix – збір та візуалізація метрик із вузлів OpenStack, хостів ESXi, NAS-сховищ;

- ELK Stack (Elasticsearch, Logstash, Kibana) – централізоване збирання й аналіз логів.

Важлива перевага полягає в тому, що налаштування моніторингу та логування так само можуть бути описані у вигляді Ansible-рецептів, що забезпечує уніфікованість підходу й спрощує підтримку середовища.

Висновки. Таким чином, реалізація автоматизованої інфраструктури OpenStack на базі VMware за допомогою Packer та Ansible забезпечує високу керованість, гнучкість і надійність, задовольняючи сучасні вимоги до швидкості розгортання та експлуатації хмарних середовищ.

Перелік посилань:

1. OpenStack Documentation. URL: <https://docs.openstack.org> (дата звернення: 15.03.2025).

2. Ansible Documentation. Red Hat, Inc. URL: <https://docs.ansible.com> (дата звернення: 15.03.2025).

3. Packer Documentation. HashiCorp. URL: <https://www.packer.io/docs> (дата звернення: 15.03.2025).

4. VMware vSphere Documentation. VMware, Inc. URL: <https://docs.vmware.com/en/VMware-vSphere> (дата звернення: 15.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Омельченко А.О.; ¹ Аспірант 3 курсу Голець В.О.

¹ Проф., д.т.н. Коваль О.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=zI4-oasAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЛАНУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ОСНОВІ ДАНИХ ПРО СТАН ОБЛАДНАННЯ СПОЖИВАЧА

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасний світ стикається зі зростанням вимог до енергоефективності та зниження витрат на енергоресурси. Це зумовлено обмеженістю ресурсів, зростанням цін на енергоносії та необхідністю зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Проте традиційні методи планування енергоспоживання часто не враховують реальний стан обладнання споживачів, що призводить до неефективного використання ресурсів. Однією з ключових задач у цьому контексті є розробка систем планування енергоспоживання, які дозволять оптимізувати використання енергії та зменшити навантаження на мережі.

Аналіз останніх досліджень. На сьогодні існує тенденція до використання інноваційних технологій, таких як граничні обчислення та хмарні сервіси, що забезпечують адаптивне управління енергоспоживанням. Застосування штучного інтелекту для прогнозування енергоспоживання є одним із найефективніших інструментів завдяки своїй здатності аналізувати великі обсяги даних у реальному часі. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть враховувати стан обладнання, температуру навколишнього середовища, час доби та історичні дані про споживання енергії. Це дозволяє робити точні прогнози та швидко реагувати на зміни [1]. Однак ШІ має як переваги, так і недоліки. Серед переваг – висока точність прогнозів, здатність оптимізувати використання енергії та адаптивність до змін.

Формулювання мети. Метою дослідження є розробка програмного забезпечення для планування енергоспоживання, яке враховує дані про стан обладнання споживачів, використовуючи сучасні методи прогнозування та хмарні технології для забезпечення ефективного управління енергоресурсами.

Основна частина. Прогнозування енергоспоживання – складний процес, який потребує врахування багатьох факторів: від стану обладнання до зовнішніх умов, таких як погода чи час доби. Тому серед низки моделей для планування енергоспоживання, доцільно виділити наступні методи: використання штучного інтелекту, лінійний регресійний аналіз та Хольта-Вінтерса.

Наприклад, якщо датчики показують аномалії у споживанні, алгоритми можуть запропонувати конкретні заходи для їх усунення. Із недоліків можна виділити наступне: для ефективної роботи ШІ потрібні високоякісні та точні дані. Якщо дані неповні або містять помилки, це може призвести до неточних прогнозів; деякі методи ШІ, такі як нейронні мережі, є досить складними для інтерпретації, що ускладнює прийняття рішень на основі таких прогнозів [2].

Лінійний регресійний аналіз – це статистичний метод, який використовується для виявлення залежності між незалежними змінними (наприклад, температурою, часом доби, станом обладнання) та залежною змінною (енергоспоживанням). Цей метод особливо ефективний, коли дані мають лінійну залежність, що часто спостерігається в енергетичних системах [3]. Лінійна регресія може прогнозувати енергоспоживання на основі історичних даних, враховуючи такі фактори, як сезонні зміни (наприклад, збільшення споживання взимку через опалення) або стан обладнання. Для цього дані про знос, частоту відмов або ефективність роботи обладнання включаються в модель як незалежні змінні. Переваги

методу – простота реалізації, легкість інтерпретації результатів та низькі вимоги до обчислювальних ресурсів.

Одним із найпопулярніших методів прогнозування часових рядів є метод Хольта-Вінтерса. Цей метод є розширенням простого експоненційного згладжування і особливо ефективний для даних із чіткими сезонними коливаннями. Він використовує три рівняння для оновлення компонентів: перше визначає базове значення ряду (рівень), друге враховує зростання або зменшення значень з часом (тренд), а третє відповідає за періодичні коливання (сезонність). Це дозволяє робити точні прогнози для даних із сезонними закономірностями, таких як енергоспоживання, яке часто зростає в зимовий період через опалення або влітку через кондиціонування [4]. Однією з головних переваг методу Хольта-Вінтерса є його здатність враховувати сезонність та довгострокові тенденції. Це робить його ідеальним для короткострокового прогнозування, наприклад, для планування енергоспоживання на основі історичних даних. Однак метод має обмеження: він не підходить для даних із складними нелінійними залежностями та вимагає наявності якісних історичних даних для налаштування моделі [4].

Для реалізації цих підходів необхідно розробити програмне забезпечення, яке інтегрує методи прогнозування з хмарними технологіями, та IoT, що дозволяє підключати датчики, системи моніторингу та інші пристрої, до єдиної мережі для збору даних у реальному часі, що включатимуть інформацію про стан обладнання, температуру, вологість, час доби та інші параметри, які впливають на енергоспоживання [5]. У цьому контексті можна використати хмарні платформи, такі як Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure або Google Cloud Platform (GCP). Наприклад, AWS IoT Core забезпечує зручне підключення IoT-пристроїв, управління ними та обробку отриманих даних, що дозволяє ефективно інтегрувати інформацію з сенсорів у систему прогнозування. Microsoft Azure надає сервіси на основі машинного навчання, які можна використати для побудови моделей прогнозування енергоспоживання, а GCP пропонує платформи для обробки великих масивів даних у реальному часі, що сприяє оперативному аналізу. Отже, ПЗ буде отримувати дані про стан обладнання за допомогою IoT-пристроїв, передавати їх на хмарну платформу та використовувати обрані методи (наприклад, лінійний регресійний аналіз або метод Хольта-Вінтерса) для аналізу та прогнозування енергоспоживання. Наприклад, використання AWS IoT Core разом із сервісом AWS Lambda може забезпечити автоматичний запуск обчислень для оперативного реагування на аномалії в енергоспоживанні.

Висновки. Підсумовуючи, використання сітки з кривими Безьє є потужною технікою для створення складних 3D-моделей у комп'ютерній графіці. Поєднання сили кривих Безьє з гнучкістю сіток, надало можливість створювати точні та складні форми та поверхні, яких було б важко (або неможливо) досягти за допомогою традиційних методів моделювання.

Перелік посилань:

1. Digital Collections, San Diego State University // San Diego State University. URL: <https://digitalcollections.sdsu.edu/do/39ffe7a3-5851-4aa2-8046-578af047093c#page/6/mode/2up> (дата звернення: 14.03.2025).
2. KPI Open Archive // Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/844637f2-989f-4545-a09f-5893b80a68e0/content> (дата звернення: 14.03.2025).
3. Linear Regression Analysis to Predict Energy Consumption // Research Square. – Режим доступу: <https://www.researchsquare.com/article/rs-4590592/v1> (дата звернення: 14.03.2025).
4. Hyndman R. J., & Athanasopoulos, G. Forecasting: principles and practice. – 2nd ed. – Melbourne: OTexts, 2018. 382 p.
5. Енергетичний менеджмент: підручник / О. П. Ковальчук, В. О. Олійник. – Тернопіль: Економічна думка, 2020. – 452 с.

¹ Бакалаврант 4 курсу Піховкіна К.В.; ¹ Аспірант 3 курсу Голець В.О.

¹ Проф., д.т.н. Коваль О.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=zI4-oasAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОБУДОВИ ТАКСОНОМІЇ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасна енергетична галузь характеризується постійним зростанням обсягів інформації, зокрема, нормативно-правової, технічної та ринкової. Ефективне управління цими даними та їх аналіз є критично важливим для планування енергоспоживання підприємствами та іншими організаціями, оптимізації виробничих процесів та забезпечення стабільності енергосистеми. В умовах зростаючої конкуренції та вимог до енергоефективності, підприємства потребують інструменти, що дозволяють швидко знаходити та аналізувати необхідну інформацію для прийняття обґрунтованих рішень. В Україні, де енергетичний сектор зазнає значних трансформацій, таких як перехід до розподіленої генерації та лібералізація ринку електроенергії, гостро постає проблема ефективного управління знаннями. Зокрема, у статті [1] підкреслюється необхідність організаційно-економічного забезпечення розвитку енергетичного сектору. Відсутність інструментів для систематизації та стандартизації даних призводить до ускладнень у прогнозуванні, затримок у прийнятті рішень, збільшення операційних витрат та ризиків для надійності енергопостачання. Таксономія, як основа для подальшої розробки онтологій, є важливим кроком для інтелектуалізації процесів обробки інформації в енергетиці, що дозволить підвищити ефективність та прозорість процесів планування енергоспоживання. Державна політика у сфері енергетики відображена в Енергетичній стратегії України [2].

Аналіз останніх досліджень. Дослідження в галузі семантичних технологій та інженерії знань активно розвиваються. Існують роботи, присвячені застосуванню онтологій в енергетиці для різних цілей, таких як управління енергоспоживанням, діагностика обладнання та підтримка прийняття рішень. Наприклад, дослідження [3] демонструє застосування онтологій для інтелектуального управління енергоспоживанням. Інше дослідження [4] підкреслює важливість таксономій для організації знань в енергетичних системах. Проте, етап формування таксономії, як первинної структури знань, часто залишається недостатньо висвітленим у контексті створення спеціалізованих інструментів для експертів предметних областей. Аналіз існуючих програмних продуктів (Intelligent Taxonomy Manager, Multites Pro, PoolParty, Protege, KMS) показує наявність потужних, але часто складних у використанні, рішень. Необхідним є розробка більш доступного та орієнтованого на експертів інструменту для створення таксономій в енергетичній сфері.

Формулювання мети. Метою даної роботи є розробка безкоштовного, експерто-орієнтованого веб-додатку для ручного створення та редагування таксономій предметної області енергоспоживання. Система має забезпечити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для експертів, генерацію структур даних, придатних для онтологій (RDF), та візуалізацію таксономії. Дослідження зосереджено на регуляторній базі енергоспоживання України, з метою таксономічного представлення нормативних документів, бізнес-процесів та моделей прогнозування. Розроблений інструмент дозволить експертам швидко та ефективно систематизувати знання, покращити навігацію в нормативних документах та створити основу для автоматизації процесів аналізу даних в енергетичній галузі. Розроблений інструмент стане фундаментом для майбутньої онтологічної моделі предметної області.

Основна частина. Існуючі програмні рішення для управління таксономіями, такі як Intelligent Taxonomy Manager, Multites Pro, PoolParty, Protege та KMS, є потужними інструментами, проте більшість з яких є комерційними продуктами, що робить їх використання менш доступним для багатьох дослідницьких та освітніх установ. Крім того, вони часто орієнтовані на загальне застосування та можуть бути надмірно складними для швидкого створення та редагування таксономій експертами в предметній області енергоспоживання. Тому існує нагальна потреба у розробці спеціалізованого, user-friendly та безкоштовного інструменту, який би дозволив експертам безпосередньо, без глибоких знань в інформаційних технологіях, створювати, структурувати та редагувати таксономії, використовуючи їхні предметні знання. На відміну від існуючих рішень, наша розробка зосереджена на інтеграції з інструментами семантичної павутини та пропонує спрощений інтерфейс, орієнтований на швидке прототипування.

Розроблене програмне забезпечення реалізовано у вигляді веб-додатку (Python, FastAPI, React) з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що дозволяє експертам створювати, редагувати та структурувати таксономії, а також встановлювати ієрархічні зв'язки між вузлами. В основі лежить графова база даних GraphDB, яка ідеально підходить для вирішення цієї задачі, оскільки забезпечує ефективне зберігання семантично насичених даних, підтримує стандарти семантичної павутини та RDF, що дозволяє легко інтегрувати дані з різних джерел. Інформацію про особливості GraphDB можна знайти в [5]. Для візуалізації використано бібліотеку, що дозволяє масштабувати і навігувати по таксономії. Експорт даних здійснюється у формат RDF, який забезпечує сумісність із онтологічними інструментами, такими як Protégé, та спрощує інтеграцію з іншими системами. Для тестування було використано фрагменти регуляторної бази України в енергетичній сфері, представлені у форматі RDF, що дозволило оцінити працездатність системи за такими метриками, як час створення таксономії, точність представлення знань та зручність використання інтерфейсу. Для формування таксономій використовувались Кодекс систем розподілу [6], Кодекс системи передачі [7], Правила ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку [8], Правила ринку [9], Кодекс комерційного обліку електричної енергії [10], Правила роздрібного ринку електричної енергії [11].

Для досягнення поставленої мети використано методологію розробки програмного забезпечення, що включає етапи аналізу вимог, проектування, розробки та тестування. При розробці інтерфейсу користувача застосовано принципи user-centered design [12] для забезпечення зручності та інтуїтивної зрозумілості. Для структурування таксономії використано ієрархічні моделі представлення знань. В якості джерела даних для демонстрації роботи системи та проведення досліджень використано регуляторну базу України в енергетичній сфері, зокрема, кодекси та правила ринку, опубліковані на Офіційному порталі Верховної Ради України. Модифікацій методів не вносилося, використано стандартні підходи до розробки програмного забезпечення та представлення знань.

Висновки. Розроблене програмне забезпечення є доступним, user-friendly та безкоштовним інструментом, що дозволяє експертам енергетичної галузі ефективно створювати та структурувати таксономії предметної області. Програмний продукт генерує структури даних, придатні для подальшого використання в процесі побудови онтологій, та візуалізує таксономію для кращого розуміння та аналізу. Розроблене рішення сприяє інтелектуалізації процесів управління знаннями в енергетичній сфері, надаючи експертам інструмент для швидкого створення та обміну структурованою інформацією. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення функціоналу програмного забезпечення, зокрема, шляхом інтеграції з інструментами автоматичного вилучення понять з текстових джерел та розробки алгоритмів для автоматичної перевірки узгодженості таксономії.

Перелік посилань:

1. Ярова, О.А., and Я.В. Леонов. "Механізм організаційно-економічного забезпечення розвитку енергетичного сектору." Економіка та держава 9 (2021): 119–122. [URL:https://www.google.com/url?sa=E&q=https%3A%2F%2Fgraphdb.ontotext.com%2Fdocumentation%2F10.3%2Findex.html](https://www.google.com/url?sa=E&q=https%3A%2F%2Fgraphdb.ontotext.com%2Fdocumentation%2F10.3%2Findex.html) (дата звернення: 15.03.2025).

2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text> (дата звернення: 15.03.2025).
3. Cuenca, Javier, Felix Larrinaga, and Edward Curry. «A Unified Semantic Ontology for Energy Management Applications». In WSP/WOMoCoE@ ISWC, 2017 P. 86–97.
4. IRENA (2024), Energy taxonomy: Classifications for the energy transition, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Mar/IRENA_Energy_taxonomy_2024.pdf (дата звернення: 15.03.2025).
5. URL: <https://graphdb.ontotext.com/documentation/10.3/index.html> (дата звернення: 15.03.2025).
6. Про затвердження Кодексу систем розподілу. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18> (дата звернення: 15.03.2025).
7. Про затвердження Кодексу системи передачі. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18> (дата звернення: 15.03.2025).
8. Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18> (дата звернення: 15.03.2025).
9. Про затвердження Правил ринку. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18> (дата звернення: 15.03.2025).
10. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0311874-18#Text> (дата звернення: 15.03.2025).
11. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0312874-18#Text> (дата звернення: 15.03.2025).
12. Abras, Chadia, Diane Maloney-Krichmar, and Jenny Preece. «User-centered design». Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications 37, 2004 no. 4 : P. 445–456.

СЕКЦІЯ № 9

**Комп'ютерний
еколого-економічний
моніторинг
та геометричне
моделювання процесів
і систем**

¹ Бакалаврант 4 курсу Тимкова А.В.

¹ Ст.викл. Беспала О.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=gLUrLHUAAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РУШІЙНОГО ФАКТОРУ НА ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. В Україні внаслідок багаторічного домінування ресурсо- та енергоємних галузей, сировинної орієнтації експорту та концентрації виробництва у промислових регіонах сформувалася неефективна економічна та екологічно небезпечна структура управління. До цих проблем додався вплив бойових дій, що руйнують інфраструктуру, виробничі потужності і природні екосистеми, що спричиняє додаткові економічні ризики, забруднене довкілля та деградацію природних ландшафтів [1].

Водночас стратегічне бачення сталого розвитку України, викладене у проєкті довгострокового розвитку країни, базується на політичних, економічних, соціальних, екологічних, моральних і культурних цінностях та передбачає проведення структурних реформ, екологічно невиснажливе зростання і створення сприятливих умов для господарської діяльності [2].

Досягнення сталого розвитку вимагає комплексного аналізу взаємодії ключових показників, що впливають на соціально-економічні, енергетичні та екологічні процеси, для визначення масштабу впливів і формування ефективних управлінських рішень. Сучасні методи машинного навчання, здатні аналізувати великі обсяги даних і моделювати багатофакторні залежності, відкривають можливості для точної оцінки впливу змінних, зокрема у часових тенденціях, що дозволяє виявити довготривалі взаємозв'язки.

Поєднання традиційних статистичних підходів із сучасними алгоритмами машинного навчання дозволить глибше зрозуміти механізми впливу та сприятиме формуванню обґрунтованої політики, що адаптує стратегії розвитку до сучасних викликів.

Аналіз останніх досліджень. Методи перевірки причинно-наслідкового зв'язку в часових рядах уперше були запропоновані Грейнджером. Подальші розробки підкреслюють необхідність забезпечення стаціонарності даних для коректного оцінювання моделей. У сфері машинного навчання алгоритми Random Forest та XGBoost [3] ефективно виявляють складні залежності завдяки ансамблевим підходам. Сучасні дослідження інтегрують причинно-наслідковий аналіз із методами машинного навчання для оцінки економічних та екологічних процесів, зокрема впливу бойових дій та зовнішніх шоків на макроекономічні показники. Адаптивні моделі дозволяють оперативно виявити зміни у динаміці показників, що свідчить про актуальність розробки гнучких аналітичних інструментів.

Формулювання мети. Метою дослідження є моделювання та прогнозування впливу рушійних факторів на систему, що спостерігаються за певний період часу.

Основна частина. Для досягнення поставленої мети, з відкритих електронних ресурсів України було зібрано вхідні набори статистичних даних, які містять спостережувані значення за певні періоди часу [4].

За результатами сучасних досліджень, бойові дії виступають як важливий чинник, що негативно впливає на екологічну систему, зокрема на якість повітря в Україні [5]. Руйнування інфраструктури, промислових об'єктів та транспортних мереж, що супроводжується масштабними пожежами, спричиняє збільшення обсягів шкідливих викидів, при цьому вплив проявляється з певним часовим лагом через поступове

накопичення забруднюючих речовин. Паралельно, зростання інфляції слугує критичним економічним чинником, що формує монетарну політику, зокрема через регулювання ставок Національного Банку України, реакція на зміну яких також має часові затримки. Для достовірного встановлення причинно-наслідкових зв'язків у даних системах необхідно застосовувати методи аналізу часових рядів, що дозволяють врахувати як затримки в екологічних, так і в економічних показниках, а також інтегрувати вплив додаткових зовнішніх чинників.

Одним із ефективних методів визначення того, чи має певний рушійний фактор причинний вплив на досліджуваний параметр, є тест Грейнджера. Його основна ідея полягає в оцінці того, наскільки добре минулі значення одного ряду (потенційної причини) допомагають прогнозувати значення іншого ряду (досліджуваного параметра) понад інформацію, яку дають його власні попередні значення. Суть методу полягає в порівнянні двох моделей: першою, де досліджуваний параметр залежить лише від своїх минулих значень, та другою, де до моделі додається можливий вплив іншого ряду, що дозволяє виявити додаткову предиктивну силу. Якщо при додаванні потенційного рушійного фактора (наприклад, інфляції) до моделі результату виявляються статистично значущі коефіцієнти, це вказує на те, що цей фактор має причинний вплив на досліджуваний параметр. Це означає, що зміни у значенні інфляції можуть передувати змінам у ставках Національного Банку України або інших економічних показниках.

Для коректного застосування методу всі часові ряди мають бути стаціонарними, тобто їх статистичні властивості не повинні змінюватися з часом. Тому перед застосуванням тесту Грейнджера кожен з рядів перевіряється на стаціонарність за допомогою критерію Дікі-Фуллера, і у разі необхідності, ряди приводяться до стаціонарного вигляду через різницювання, тощо.

Для покращення результатів було прийнято рішення застосувати попередньо виявлені впливи рушійного фактору, зокрема вплив інфляції на ставки Національного Банку України. Після цього було застосовано метод Random Forest для прогнозування значень. Використання цієї комбінації призвело до покращення результатів, зокрема, спостерігалось значне зменшення середньоквадратичної помилки порівняно з іншими методами. Це свідчить про підвищену точність прогнозування та ефективність вибраної стратегії, що включає інтеграцію впливу зовнішніх факторів і використання потужних алгоритмів машинного навчання.

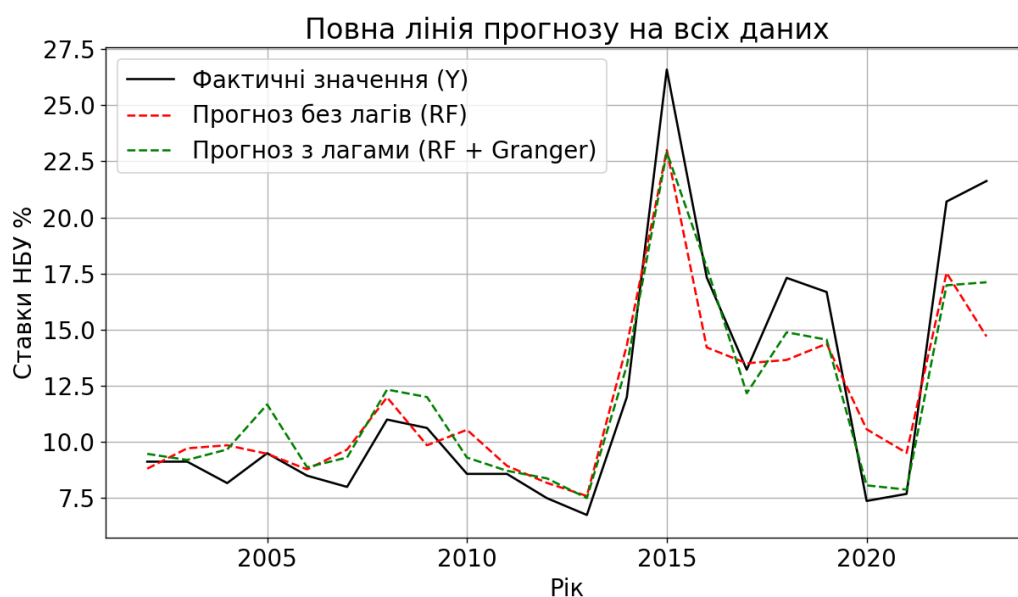


Рисунок 1 – Порівняння фактичних та прогнозованих ставок Національного Банку України

Під час застосування тесту Грейнджера було визначено оптимальну кількість лагів, за якої випереджувальний вплив інфляції на ставки Національного Банку України виявився статистично значущим (p -значення $< 0,05$). Це дозволяє стверджувати про наявність причинно-наслідкового зв'язку між інфляційними процесами та регулюванням ставок центрального банку. На рис. 1 наведено порівняння фактичних значень ставок з прогнозами, побудованими за допомогою методу Random Forest: без урахувань часових зсувів та з урахуванням часових лагів, визначеним тестом Грейнджера. Спостерігається, що врахування часових лагів підвищує точність прогнозу, що додатково підтверджує випереджувальний характер інфляційних чинників у формуванні монетарної політики.

Одержані результати узгоджуються з висновками попередніх досліджень, які підтверджують важливість урахування часових зсувів для підвищення ефективності прогнозування. Водночас, при застосуванні аналогічного аналізу для оцінювання впливу бойових дій на якість повітря, було виявлено причинний зв'язок, проте його сила виявилася менш вираженою. Це свідчить про те, що окрім військової активності, на стан атмосфери впливають й інші істотні чинники. Отже, модель потребує подальшого уточнення та розширення переліку змінних аби підвищити точність оцінювання й прогнозування.

Висновки. Використання методу Грейнджера та алгоритмів машинного навчання доводить високу результативність під час аналізу часових рядів, що описують як екологічні так і економічні процеси. Тест Грейнджера допомагає визначити статистично значущі випереджувальні впливи між змінними, уточнюючи розуміння послідовності подій у динаміці даних. Моделі машинного навчання дають змогу ефективно працювати з великими обсягами інформації та виявляти складні закономірності, включно з часовими затримками. Результати таких досліджень мають практичне значення для ухвалення управлінських рішень у сферах екології та макроекономіки, адже точні прогнози дають змогу своєчасно вживати заходів щодо стабілізації економічної ситуації та покращення стану довкілля. Подальший розвиток у цій сфері передбачає розширення переліку чинників, інтеграцію додаткових джерел даних, застосування ще складніших моделей та міждисциплінарний підхід із залученням фахівців різних галузей. Такий комплексний аналіз дозволить підвищити адекватність прогнозів, гнучкість обраних стратегій і загальну ефективність регуляторних заходів.

Перелік посилань:

1. Olga T. Impact of hostilities on the environment of the northern region of Ukraine // Results – OpenURL Connection – EBSCO. URL: https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A9%3A19258409/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A181837872&crl=c&link_origin=scholar.google.com.ua (дата звернення: 28.02.2025).
2. Про стратегію сталого розвитку України до 2030 року: Закон України від 07.08.2018 № 9015. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JH6YF00A?an=332> (дата звернення: 28.02.2025).
3. Wohlgend B. Decision Tree, Random Forest, and XGBoost: An Exploration into the Heart of Machine Learning. URL: <https://medium.com/@brandon93.w/decision-tree-random-forest-and-xgboost-an-exploration-into-the-heart-of-machine-learning-90dc212f4948> (дата звернення: 24.02.2025).
4. Облікова ставка НБУ (1992-2025) // Ставки, індекси, тарифи. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/banks/nbu/refinance/> (дата звернення: 26.02.2025).
5. Liu B., Qi Z., Gao L. Enhanced Air Quality Prediction through Spatio-temporal Feature Sxtraction and Fusion: A Self-tuning Hybrid Approach with GCN and GRU // Water, Air, & Soil Pollution. – 2024. – Vol. 235, № 8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-024-07346-4> (дата звернення: 26.02.2025).

СЕКЦІЯ № 10

**Інформаційні
технології
та комп'ютерне
моделювання**

MS's programme 1st year Huryn I.A.

¹ Assoc.prof., cand.eng.sc. Shapovalova S.I.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=biglE98AAAAJ&hl=en>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

INTELLIGENT PERSONALIZATION METHODS BASED ON THE USER'S HISTORY FOR RECOMMENDATION SYSTEM

Statement of the problem and its relevance. Modern online services are actively using recommendation systems in order to improve the personalization of content and to attract new audiences. However, existing approaches often face challenges such as the lack of customer history and the difficulty of taking into account all the preferences of other users. That's why it's important to optimize algorithms on a case-by-case basis to improve the accuracy and relevance of recommendations. This ensures an individual approach to each customer and can also take into account changes in user preferences in real time.

Analysis of the latest research. Recommendation systems are an important part of many online platforms, enabling users to find relevant content or products based on their preferences and behavior. For example, Netflix [1] uses collaborative filtering, which generates recommendations based on other users' views and ratings. However, this method has limitations in the context of a cold start, when a new user does not have enough information to make accurate recommendations.

As for Spotify [2], it combines collaborative filtering with a content-oriented approach that takes into account not only user behavior but also the characteristics of music tracks, such as genre, tempo and mood. This approach does not always work effectively with new or rare content elements. When there is insufficient user interaction, the system struggles to generate relevant recommendations.

The online platform Amazon [3] also uses a hybrid approach to help it provide high-quality recommendations to its users. However, scaling data can present several challenges, including increased computational complexity, difficulties in maintaining data consistency and sparsity issues, which can significantly impact the accuracy and effectiveness of recommendations.

Each of the reviewed services uses its own unique approaches, which significantly depend on the scale of the data, the specifics of the platform, and its requirements. Therefore, when implementing recommendation systems, it is important to analyze each approach in detail to choose the most effective and optimal one for a particular system.

The goal is to create a testing environment based on collaborative, context-oriented and hybrid approaches to experimentally select the most effective approach.

Main part. As part of the work, the main methods of recommendation systems are implemented. Each of them has its own peculiarities and is applied to achieve maximum accuracy of personalized recommendations based on the user's history.

1. Collaborative filtering is an information retrieval method that provides recommendations to users based on how other users with similar preferences and behaviors have interacted with particular items. In other words, collaborative filtering algorithms group users based on similarities in their behavior and use the common characteristics of the group to recommend items to other users. Collaborative recommendation systems assume that users with similar preferences have similar interests and tastes [4].

2. The content-based approach in recommendation systems allows personalization of the user's experience by offering content similar to what they have already interacted with. The algorithm analyses content characteristics, such as keywords, topics or genres and recommends

other content with similar characteristics. As a result, user A will receive different recommendations than user B. This method often uses cosine similarity, which estimates the similarity between the user's preference vector and the item profile [5].

3. A hybrid method is an algorithm that combines collaborative filtering and a content-based approach to achieve more accurate performance while minimizing the disadvantages of individual methods. This technology allows to get recommendations that take into account not only the similarities between users or their behavior, but also the characteristics of the items themselves. The hybrid approach allows for more accurate and relevant recommendations, reducing the risk of errors that can occur when using only one method.

To develop an effective recommendation system, it is essential to determine the method that ensures the highest accuracy of recommendations. For this purpose, the Yelp dataset is used, which contains detailed information about various business establishments, including their categories, user ratings, textual reviews and additional attributes. This dataset enabled the modeling of real-world scenarios in which recommendation systems operate, allowing for an in-depth analysis of user preferences based on their past interactions. By examining user ratings and reviews, the system can identify trends and preferences, while incorporating business attributes like categories and pricing to provide more accurate and personalized recommendations.

During the study, three primary recommendation methods are implemented: collaborative, content-based and hybrid. Each of these techniques is tested on the selected dataset to evaluate its accuracy in generating relevant recommendations. Given the diverse nature of the data, the algorithms underwent optimization to enhance their performance and better accommodate the dataset's specific characteristics. This step ensured that the recommendations provided are more precise and aligned with user preferences. The optimization process included fine-tuning model parameters and adapting the methods to handle potential biases and data sparsity issues. Additionally, continuous evaluation and iteration are conducted to identify areas of improvement and refine the methods further. This thorough approach allows for the development of a robust and reliable recommendation system that can effectively meet the needs of its users.

Through a series of experiments, the most effective recommendation method, the one that delivered the highest accuracy in recommendations, is identified. The insights gained from this research can be served as a foundation for further algorithmic improvements and practical applications in real-world recommendation systems. Future enhancements may include the refinement of existing models, the incorporation of additional contextual factors such as time trends and user demographics, or the exploration of deep learning techniques to further improve recommendation accuracy.

Conclusions. The collaborative filtering, content-based approach and hybrid methods for recommendation systems are implemented and tested. The accuracy of the recommendations of each algorithm is evaluated and their strengths and weaknesses are identified by means of a comparative analysis of performance on the selected data set. Based on the tests and optimizations, the most effective recommendation method for this dataset is determined – the hybrid method.

References:

1. Netflix. URL: <https://www.netflix.com/browse/m/trending-now> (access date 28.02.2025).
2. Made For You | Spotify. *Spotify*. URL: <https://open.spotify.com/genre/0JQ5DA0t0bjZptfcdMSKl3> (access date 28.02.2025)
3. Amazon.com. URL: <https://www.amazon.com/gp/yourstore/recs> (access date 28.02.2025).
4. Jacob Murel, Eda Kavlakoglu. What is collaborative filtering? *IBM*. URL: <https://www.ibm.com/think/topics/collaborative-filtering> (access date 28.02.2025).
5. Hashim S., Waden J. Content-based filtering algorithm in social media. *Wasit Journal of Computer and Mathematics Science*. 2023. Vol. 2, no. 1. P. 21–26. URL: <https://doi.org/10.31185/wjcm.112> (access date 28.02.2025).

¹ MS's programme 1st year Len V.V.

¹ Assoc.prof., cand.econ.sc. Karaieva N.V.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=Hm5tTagAAAAJ&hl=uk&authuser=2>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

IMPROVING THE SWOT ANALYSIS OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IMPLEMENTATION IN HIGHER EDUCATION

Statement of the problem and its relevance. In Ukraine, the higher education system is faced with the need for modernization against the backdrop of the rapid implementation of artificial intelligence (AI) technologies, which, in the context of globalization and digitalization, have significant potential for improving the quality of education and adapting the educational process to the competitive demands of the labor market.

The development of the implementation of AI technologies in education is taking place in three directions: 1) student-oriented (i.e. to support learning); 2) teacher-oriented (to support the educational process); 3) focused on the effectiveness of management of educational institutions.

In the context of developing strategic directions for the modernization of domestic higher education, it should be taken into account that the application of AI technologies is associated with both new opportunities and the emergence of new challenges, threats, and risks.

The use of AI in education brings along numerous advantages such as:

- personalized learning experiences;
- immediate feedback;
- increased accessibility;
- preparing students for the 21st century.

Additional advantages of AI implementation include automation of routine teaching tasks, allowing educators to focus on creative aspects of pedagogical activity, and expanded capabilities for learning analytics that enable data-driven decision making.

That is why, among various analytical tools for strategic planning of higher education in the context of the rapid implementation of AI technologies, SWOT analysis is a universal tool for strategic management, allowing to identify strengths (opportunities) that can be used as strategic advantages, and weaknesses (threats, risks) that need to be eliminated or minimized.

Analysis of the latest research. SWOT analysis is widely used in the development of various aspects of the strategy for the development of higher education, in particular:

- in the development of a strategy for the internationalization of higher education institutions [1];
- as a tool for identifying the scientific and pedagogical potential of universities [2];
- as a tool for analyzing the process of transformation of professional development of employees in Ukraine [3], etc.

At the same time, according to [4], SWOT analysis has certain limitations, such as the subjectivity of expert assessments and the lack of depth of analysis, if it is not supplemented by other analytical methods. In addition, the lack of prioritization (ranking) of opportunities, threats and risks complicates the interpretation and visualization of the result of SWOT analysis.

Goal formulation. In order to increase the effectiveness of SWOT analysis, it is advisable to additionally use expert assessment methods.

Main part. The general algorithm of expert assessment includes the following main stages:

- formation of expert's respondent groups;
- formation of questions and compilation of questionnaires;
- work with experts;

- formation of the rules for determining the total assessment based on the answers of each of the experts;

- analysis and processing of expert assessments.

With the help of quantitative methods, the opinions of experts are most often summarized, the statistical significance of the obtained results is checked, and the quality of the expertise is confirmed (or questioned) in general.

Let's consider the main provisions that should be taken into account when checking the quality of examinations:

- inaccuracy and contradiction of expert assessments. The main reasons for the inaccuracy and inconsistency of expert assessments are the insufficient competence of experts, the insufficient preparation of the expertise, the imperfection of the used expert technologies, the use of unsubstantiated methods of comparing contradictory judgments, the imperfection of the used methods of processing expert information;

- inconsistency during collective examination. Among the reasons for this phenomenon, the insufficient competence of experts, their different understanding of the purpose of the examination, and the opposite interests of experts are most often mentioned.

The ranking system of expert evaluation is usually used when:

- it is difficult to build a reference scale for the assessed quality (group of qualities);
- the final goal is to determine the place of the object among its peers (for example, determining the winners of a certain competition).

The initial stage of the group expert assessment methodology is to determine the level of competence of each of the experts. To determine competence, it is suggested to use the methods of questionnaire survey and self-assessment. For a questionnaire, the competence coefficient is determined by the formula:

$$K_a = \frac{\sum_i \sum_j Y_{ij}}{\sum_i Y_i},$$

where Y_{ij} – the weight of the j -th characteristic (selected by the expert), which is evaluated in the i -th point gradation;

Y_i – the maximum weight of the i -th point gradation.

When the coefficient of competence of each of the experts is greater than 0.5, then the expediency of their involvement in the further analysis is fully justified.

After the expert data is processed, it is necessary to assess the degree of consistency of expert opinions. For this, we will use the concordance coefficient (W), which is determined by the formula:

$$W = \frac{12S}{N^2(n^3 - n)},$$

where S – total sum of squared deviations,

N – number of experts, n – number of sustainable development risks.

The total sum of squared deviations is determined by the formula:

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2,$$

where (Δ_i^2) – the square of deviations for each risk and is calculated as the deviation of the sum of ranks of each parameter (R_i) from the average sum of ranks (T): $\Delta_i = R_i - T$. The sum of the

ranks of each indicator is equal: $R_i = \sum_{l=1}^N r_{il}$.

The total amount of ranks is determined by the formula:

$$R_{ij} = \frac{Nn(n+1)}{2}.$$

The concordance coefficient takes on values from 0 to 1. The higher the concordance coefficient value, the more consistent the experts' opinions are.

When $W = 1$, there is complete agreement of experts' opinions; if $W = 0$, then the information is completely inconsistent.

If there is a discrepancy in the opinions of the experts, it is advisable to continue the analysis to identify the reasons for their heterogeneity, for which a check is carried out for the consistency of opinions, during which experts whose opinions differ significantly from the general opinion of the group are identified.

It should be noted that in the case of involving different experts in the evaluation of the same group of objects, as a rule, we get a set of alternative rankings. At the same time, to make a decision, it is important to integrate the judgments of experts and establish a final ranking. The challenge of aggregating multiple expert rankings becomes particularly significant when evaluating AI implementation factors in higher education, where perspectives may vary substantially between technological specialists, educators, and administrators.

Many methods of obtaining such rankings are described in the literature. In particular, such a ranking can be considered final, the sum of the distances from which to each individual ranking is minimal. The methods of average arithmetic ranks and median ranks are considered the simplest.

Conclusions. The lack of prioritization (ranking) of opportunities, threats, and risks complicates the interpretation and visualization of the results of the SWOT analysis. In order to increase the effectiveness of the SWOT analysis of the implementation of AI in higher education, it is advisable to additionally use expert assessment methods.

Finally, results of this enhanced SWOT analysis approach can serve as a foundation for developing institutional roadmaps for AI integration that balance innovation opportunities with necessary precautions against identified risks, particularly those related to data privacy, academic integrity, and equal access to educational resources.

References:

1. Verbovska, L.S., Stepaniuk, H.S., & Kushlyk, O.Yu. (2019). Vykorystannia metodyky Swot-analizu pry rozrobtsi stratehii internatsionalizatsii zakladiv vyshchoi osvity [The use of the SWOT analysis method in the development of the internationalization strategy of higher education institutions]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu. Ekonomika ta upravlinnia v naftovii i hazovii promyslovosti* [Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Economics and management in the oil and gas industry], 1(19), 142–154. DOI: [https://doi.org/10.31471/2409-0948-20191\(19\)-142-154](https://doi.org/10.31471/2409-0948-20191(19)-142-154) [in Ukrainian].
2. Skyba Yu. (2020). Swot-analiz yak instrument vyivlennia naukovo-pedahohichnoho potentsialu ukrainskykh universytetiv [SWOT analysis as a tool for identifying the scientific and pedagogical potential of Ukrainian universities]. *Osvitohichnyi dyskurs* [Educational discourse], 3, 86–109. DOI: <https://doi.org/10.28925/2312-5829.2020.3.6>. [in Ukrainian].
3. Horpynchenko O. V. (2019). Swot-analiz protsesu transformatsii profesiinoho rozvytku pratsivnykiv v Ukraini [Swot analysis of the process of transformation of professional development of employees in Ukraine]. *Efektivna ekonomika* [Efficient economy], 2. DOI: <https://doi.org/10.32702/23072105-2019.2.61> [in Ukrainian].
4. Kopchak Yu., Lobunets T., & Lukovskyi R. (2024). SWOT-analiz yak vazhlyvyi instrument u rozrobtsi stratehii biznesu [SWOT analysis as an important tool in developing a business strategy]. *Ekonomika ta suspilstvo* [Economy and society], 61. URL : <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-146> [in Ukrainian] (assessed 25 February 2025).

BS's programme 4th year Shust K.E.

BS's programme 4th year Bratchykova N.V.

¹ Prof., doc.eng.sc. Shushura O.M.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=beUGko0AAAAJ&hl=uk&oi=sra>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

DEVELOPMENT OF AN E-COMMERCE SYSTEM FOR ONLINE TRADING

Statement of the problem and its relevance. With the active development of e-commerce, online platforms are becoming a key tool for the sale of goods and services. The main challenges in creating such systems are ensuring a convenient user interaction with the platform, automating order processing, and the scalability of the architecture. Special attention should be paid to the organization of the seller's cabinet, which must provide functionality for adding products, viewing sales statistics, and managing orders.

The relevance of this work is determined by the need to create a universal e-commerce system that combines functionality for both buyers and sellers, considering modern approaches to software architecture design.

Analysis of the latest research. Currently, there are many ready-made solutions for creating online stores, such as Shopify, WooCommerce, and OpenCart. Most of them are focused on creating monolithic applications or use outdated architectural approaches.

Modern approaches to building web applications, such as feature-sliced design on the frontend and module-driven architecture on the backend, significantly improve scalability, responsibility distribution, and code maintainability.

In [1], a modular architecture approach for the backend based on Spring Boot is presented, which provides flexible integration of new features. Research [2] describes the concept of the feature-sliced approach in frontend development for better structuring of business logic.

Goal formulation. The aim of this work is to create a comprehensive e-commerce system that provides a seamless and efficient experience for both buyers and sellers. Buyers will be able to browse and search for products, add items to their cart, place orders, make secure payments, and track their order history. Meanwhile, sellers will have access to a dedicated management panel that allows them to list and update products, monitor inventory, analyze sales performance, and receive detailed reports on customer behavior and market trends. Additionally, the system will incorporate modern architectural principles to ensure scalability, security, and ease of maintenance.

The main part.

The developed system consists of two independent parts:

1. Frontend – implemented using React with the feature-sliced design approach, which divides functionality into domains (features, entities, widgets, shared).
2. Backend – built on Spring Boot based on the module-driven architecture, where each functional module is responsible for a specific business process.

The system provides comprehensive functionality for both users and sellers. It includes user registration and authorization, allowing users to create accounts and protect personal data. Registered users can view their order history, manage personal information by updating contact details and profile settings. For convenient product search, the system implements keyword search and product filtering by categories. The system also offers product recommendations based on the user's previous purchases.

Sellers gain access to a personal dashboard where they can add, edit, and delete products, as well as view sales statistics to analyze their business performance.

The system features a convenient order processing mechanism, including the selection of payment and delivery methods. To enhance user interaction, a feedback and product rating functionality is implemented. The seller's dashboard includes tools for monitoring product availability and managing prices.

Figure 1 shows the overall system workflow diagram.

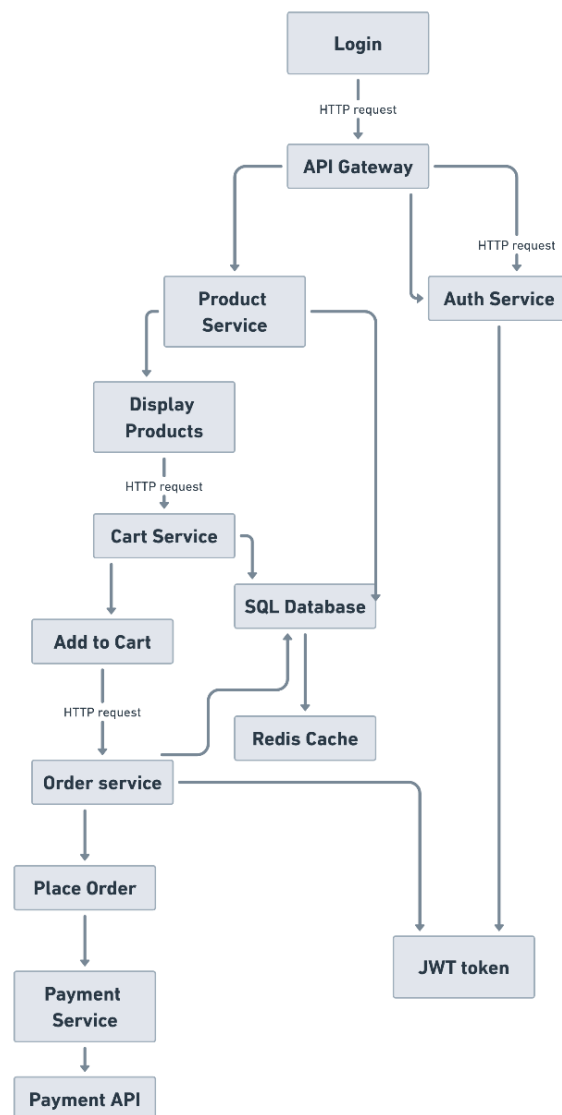


Figure 1 – Generalized diagram of the online trading system

Key points include:

1. Frontend (React, Redux, React Query):
 - a) Feature-sliced structure;
 - b) Interaction through Axios;

- c) Query caching through Redux;
- d) Authorization via JWT.
- 2. Backend (Spring Boot + Microservices Architecture):
 - a) Security Layer for access contro;
 - b) Separate services for authentication, products, cart, orders, and payments;
 - c) Database (SQL);
 - d) Redis for product caching;
 - e) API protection through JWT;
 - f) Integration with third-party payment services.
- 3. Main interaction scenarios:
 - a) Authorization (Login);
 - b) Retrieving the product list;
 - c) Adding a product to the cart;
 - d) Placing an order;
 - e) Payment confirmation.

The e-commerce system is built on a client-server architecture with interaction through a REST API. The React frontend uses a feature-sliced approach, Axios for HTTP requests, and caching via Redux. Authorization is implemented using JWT tokens.

The Spring Boot backend follows a modular architecture, where each service is independently responsible for core functionalities such as authentication, product management, cart handling, order processing, and payments. This modularity allows for easy scalability and flexibility in extending or modifying services. Data is stored in an SQL database, providing reliable and structured storage, while Redis is used for caching products to enhance the speed and efficiency of data retrieval. API security is maintained through JWT, protecting against unauthorized access and ensuring secure data transmission.

The system is designed to handle key scenarios such as user authorization, product viewing, cart management, order placement, and payment processing. It ensures smooth user interactions by validating input data, storing necessary information in the database, and updating order statuses in real time. Additionally, the modular approach allows for continuous improvement and the seamless integration of new features as the e-commerce platform evolves.

Conclusions. The e-commerce system ensures secure and efficient interaction between users and the platform through modern technologies. It supports registration, authorization, product search and filtering, as well as personal data management. To enhance user experience, product recommendations, order history viewing, and a seller's personal dashboard for managing products and sales statistics are implemented. Integration with payment services and API protection through JWT make the system fully functional for online commerce.

References:

1. DDD Bounded Contexts and Java Modules. URL: <https://www.baeldung.com/java-modules-ddd-bounded-contexts> (access date 14.02.2025).
2. Feature-Sliced Design. Architectural methodology for frontend projects. URL: <https://feature-sliced.design/> (access date 20.02.2025).

¹ Postgraduate 1st year Titov V.M.

¹ Assoc.prof., cand.eng.sc. Shapovalova S.I.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=biglE98AAAAJ&hl=en>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF ANOMALY CLASSIFICATION METHODS IN HIGH-LOAD NETWORK SYSTEMS

Statement of the problem and its relevance. Modern distributed computer systems, particularly those used for management in high-load information environments, face security and data transmission efficiency challenges. Traditional network traffic analysis methods, such as signature-based analysis and threshold algorithms, have limited effectiveness due to their inability to adapt to new types of attacks and the complexity of processing large data streams in real-time. Therefore, the development of a software suite for network traffic analysis with the most accurate anomaly classification method in an information system is relevant and practically significant. To effectively solve this problem, a set of interrelated tasks must be addressed: 1) formalizing the problem for an artificial intelligence model; 2) identifying machine learning models for detecting network traffic anomalies; 3) defining parameters and hyperparameters of the models and training them; 4) conducting computational experiments to determine the optimal model for detecting network traffic anomalies in a high-load information system in terms of accuracy and speed.

Objective. The objective is to determine a machine learning model for the effective analysis of network traffic in an information system.

Problem Formulation for the AI Model. One of the modern approaches to solving this problem is the use of binary classification, where the output is a prediction of the presence of an anomaly: 1 (anomaly detected) or 0 (no anomaly). Some models can also provide a probabilistic distribution between these two classes. Compared to n-class classification (where $n > 2$), the binary approach simplifies the model, facilitating more efficient training, reducing the risk of overfitting in neural networks, accelerating the prediction process, and lowering computational costs. During computational experiments on selected models using the Recursive Feature Elimination (RFE) method, the 10 most significant features for anomaly prediction were identified. Based on this, the Network Intrusion Detection dataset [1] was transformed into a reduced dataset that includes the following key network traffic parameters: 1) protocolType – type of protocol used (TCP, UDP, ICMP); 2) flag – TCP connection flag state; 3) srcBytes – number of bytes transmitted from the source to the recipient; 4) dstBytes – number of bytes received by the sender from the recipient; 5) count – number of connections to the same host within the last 2 seconds; 6) sameSrvRate – proportion of connections using the same service; 7) diffSrvRate – proportion of connections belonging to different services; 8) dstHostSrvCount – number of connections to a specific service of the destination host within the last 2 seconds; 9) dstHostSameSrvRate – percentage of connections to the same service on the destination host; 10) dstHostSameSrcPortRate – proportion of connections from the same source port to the destination host.

Machine Learning Models for Detecting Network Traffic Anomalies. Various artificial intelligence approaches were applied to solve this problem [2]. Both neural network models (MLP, RNN, LSTM) and classical machine learning algorithms (KNN, Logistic Regression, Decision Tree, GBM) were explored. When selecting the optimal model, the specifics of the classification task were considered, particularly the need to analyze network traffic sequences [3]. Recurrent Neural Networks (RNNs) and their enhanced version, Long Short-Term Memory (LSTM) networks [4], were found to be the most effective for this task. Other methods were considered as traditional classification approaches. For example, in [5], a comparative analysis of KNN and

LightGBM algorithms was conducted for predicting energy metrics of wind turbines. In [6], a solution to this problem for a distributed computer system with energy facilities was presented.

Implementation of Machine Learning Models. Based on the results of the Recursive Feature Elimination (RFE) method, the importance of each input feature for all models was determined. For LSTM, the most significant parameters were: 1) srcBytes – number of bytes transmitted from the source to the recipient (0.35); 2) dstBytes – number of bytes received (0.34); 3) dstHostSrvCount – number of connections to the same service of the destination host within the last 2 seconds (0.1); 4) dstHostSameSrcPortRate – proportion of connections from the same source port to the destination host (0.08). For RNN, the most significant parameters were: 1) srcBytes – amount of data sent by the sender (0.28); 2) dstBytes – amount of data received by the recipient (0.27); 3) flag – TCP connection flag state (0.21); 4) dstHostSrvCount – frequency of connections to the same service of the destination host within the last 2 seconds (0.1); 5) dstHostSameSrcPortRate – proportion of connections from the same source port to the destination host (0.067). Thus, SrcBytes and DstBytes are key parameters for both models, while Flag was more important for RNN than for LSTM.

Computational Experiments. All models were trained on the Network Intrusion Detection dataset. The training dataset accounted for 80 %, and the test dataset 20 % of the total data. The accuracy evaluation results using the F1-score metric showed that LSTM and RNN demonstrated the best performance in detecting network traffic anomalies. LSTM achieved 0.98 on the training set, 0.97 on test data, and 0.95 in real-world deployment, indicating high stability and generalization ability. RNN also showed high performance: 0.97 on the training set, 0.97 on test data, and 0.94 in operational environments.

Software Suite for Network Traffic Analysis. A software suite was developed to analyze network traffic using the most accurate anomaly classification method in an information system. The implementation includes: Network traffic analysis – Sharppcap library (for capturing and analyzing network traffic in C#; the component runs as a separate service). LSTM implementation – Python with TensorFlow and PyTorch (for anomaly detection and prediction). Operating system resource analysis – C++ with Windows.h, Psapi.lib libraries. Cross-platform user interface – Avalonia framework. Support functionalities and recommendations – .NET Framework, .NET Core in C#.

CONCLUSIONS:

1. Identified methods and tools for solving the anomaly classification problem in high-load network systems. Justified the use of LSTM and RNN for network traffic analysis.
2. Determined the resources required for developing the selected methods and models.
3. Based on computational experiments, the LSTM model was determined to be optimal in terms of accuracy (F1-score metric).

REFERENCES:

1. Network Intrusion Detection. Kaggle/Competitions.
2. Estévez-Pereira J.J., Fernández D., Novoa F.J. Network anomaly detection using machine learning techniques. Proceedings of 3rd XoveTIC Conference, 2020, 54(1), 8.
3. Hu F., Zhang S., Lin X. et al. Network traffic classification model based on attention mechanism and spatiotemporal features. EURASIP J. on Info. Security. 2023, 6.
4. Malhotra P., Vig L., Shroff G., Agarwal P. Long Short Term Memory Networks for Anomaly Detection in Time Series. ESANN 2015 proceedings.
5. Sushree S. P., Ashwin K. S., Rajesh P. A Comparative Analysis of KNN and Light GBM Algorithms for Wind Energy Forecasting. CCPIS. 2023. pp. 1–4. doi: 10.1007/978-3-031-45630-5-7.
6. Shapovalova S., Matiakh S., Titov V. Determination of network traffic anomalies in a distributed computer system with energy facilities . Vidnovluvana Energetika. 2024. # 2(77), P. 52–57.

¹ Аспірант 1 курсу Бараніченко О.М.

¹ Доц., к.т.н. Шаповалова С.І.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=biglE98AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ ІЄРАРХІЧНИМ ОБ'ЄКТОМ НА ОСНОВІ ПРОДУКЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

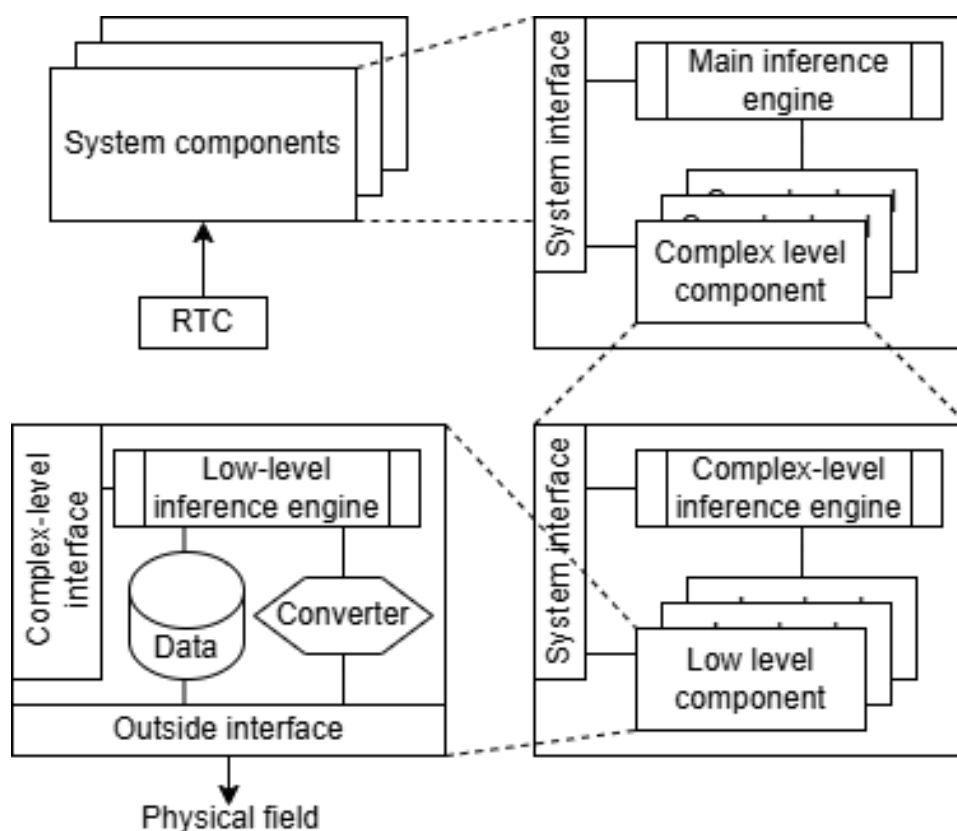
Постановка проблеми та її актуальність. Для реалізації більшості промислових об'єктів сьогодні використовуються автоматизовані системи диспетчерського управління (АСДУ). Вони реалізують функції контролю стану обладнання та дозволяють на основі отриманих даних виконувати автоматичне або диспетчерське керування компонентами системи. Однак через зростання рівня складності архітектури об'єктів автоматизації використання простих алгоритмічних методів реалізації цих функцій не завжди дає необхідний результат. Зазвичай це пов'язано з складністю реалізації алгоритмів в багаторівневих ієрархічних системах та обмеженою кількістю обчислювальних ресурсів. Більш того, більшість АСДУ є системами реального часу, а тому швидкість та послідовність обробки інформації є важливим критерієм. Окрім цього, такі системи є динамічними, а тому їх структура та алгоритм роботи може змінюватись під час роботи. На сьогоднішній день дедалі більше набирає популярності підхід до реалізації АСДУ на основі штучного інтелекту. Однак динамічний характер не дозволяє застосовувати існуючі підходи через необхідність виконання змін в програмному коді в процесі роботи системи, що є недопустимим для АСДУ реального часу. Тому дослідження та вдосконалення динамічних розподілених продукційних моделей є актуальним та має практичне значення.

Аналіз останніх досліджень. Типовим методом реалізації ядра АСДУ є математичні методи ПІД-регулювання (пропорційно-інтегрально-диференційне). Як правило ці методи застосовуються у випадках, коли ресурси є обмеженими, а алгоритми жорстко детермінованими. Вони здатні надавати високу точність результатів за короткий час. У роботі [1] був представлений підхід на основі PID-регулятора до контролю та керування гідродинамічною системою. У роботі [2] автори розглянули вдосконалений метод SMC-PID-AIO для керування нелінійними системами, та апробували його на роботі-маніпуляторі. Отримані результати показали високу ефективність, точність та швидкість виконання задач. Однак даний підхід реалізовувався лише для автоматизації окремого процесу. У випадку керування великими ієрархічними системами, застосовувати цей метод складно та нераціонально. Більш того, він не може бути застосований для динамічних систем, в яких вхідна інформація може мати неструктурований вигляд або ж межі параметрів є невизначеними.

Іншим варіантом реалізації ядра АСДУ є використання методів нечіткої логіки (Fuzzy logic) та нейронних мереж. Методи цього класу вже можливо застосувати для керування складними об'єктами. У роботі [3] Автори розглянули систему моніторингу стану вітрових турбін. Було визначено, що велика кількість помилкових тривог, простоїв та збоїв відбувається через некоректну і надто жорстку алгоритмічну обробку вхідних даних. Запропонована модель була апробована на наборі реального обладнання, а зменшення кількості помилкових тривог довели ефективність методу.

Підходом, який здатний надати системі достатню гнучкість, забезпечує високу швидкість обробки даних, і при цьому гарантує коректність результатів є використання продукційних моделей та експертних систем. У роботі [4] було розглянуто використання експертної системи для автоматизованого управління транспортними засобами. При цьому було показано, що використання такої системи на відміну від нейронної мережі є більш

інтуїтивним. Отримані результати підтвердили точність та ефективність руху на моделі робота. У роботі [5] автори розглянули використання продукційних моделей для системи диспетчерського управління і збору даних. Було показано важливість таких систем, представлено продукційну модель та доведено її надійність та ефективність. В межах роботи розглядалися лише процеси відстеження несправностей при роботі системи, однак запропоновані методи можна імплементувати і для керування системою.



Польовий рівень – це рівень який відповідає за обробку інформації з зовнішнього поля даних. Кожен компонент цього рівня реалізовано за власною продукційною моделлю з набором правил та робочою пам'яттю. Компоненти польового рівня агрегуються компонентом комплексного рівня. При цьому, подальша взаємодія з компонентом польового рівня стає недоступною, що забезпечує безпеку обробки даних. Компоненти комплексного рівня можуть агрегувати і інші компоненти цього ж рівня, що дозволяє будувати складні ієрархічні об'єкти. На рівні системи, складні архітектурні компоненти об'єднуються логікою їх взаємодії. Окрім власної інформації, кожен компонент містить набір метаданих, які використовуються машиною логічного виведення для коректної обробки системних станів.

За рахунок представленої архітектури стає можливою реалізація пріоритетності обробки правил. Цей процес полягає у такому алгоритмі:

1. Кожному пріоритету у області метаданих надається окремий пріоритет.
2. Створюється шаблон, що виокремлює пріоритетність кожного компоненту під час виведення та сортує їх.
3. Шабини групуються у черги обробки, які надаються машині виведення.

Представлена модель була апробована на задачі автоматичного вводу резерву – системи, яка забезпечує безперебійність електропостачання за умови вимкнення основного джерела живлення. Отримана система складалась з 13 компонентів польового рівня, 75 компонентів комплексного рівня та 4 компонентів системного рівня. При цьому, кожен компонент польового рівня в середньому містить 21 правило, компонент комплексного рівня - від 27 до 116 правил, компонент системного рівня - від 62 до 85 правил. Під час тестування системи було підтверджено повноту та коректність обробки всіх можливих станів системи з врахуванням часового фактору.

Висновки:

1. Визначено модель представлення багаторівневого об'єкту автоматизації, яка складається з трьох шарів: польового рівня, циклічного структурного рівня та інтерфейсного системного рівня.
2. Представлено програмну реалізацію системи на основі продукційної моделі CLIPS. Для програмного забезпечення використано платформу .Net Framework. Мови написання: C# – для бізнес-логіки, WPF – для графічного інтерфейсу, C++ – для взаємодії з CLIPS. Для збереження інформації застосовано зв'язок з системою керування базами даних MS SQL.
3. Проведено апробацію на тестовій системі автоматичного вводу резерву, який складається з 3-х генераторів, джерела безперебійного живлення та системи керування розподілом аварійного електропостачання.

Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка інтерфейсних механізмів для взаємодії з іншими моделями штучного інтелекту, зокрема нейронними мережами, на рівні компонентів, що дозволить реалізувати виконання класифікації та аналізу сигнальної та графічної інформації розподіленими апаратними засобами і подальшу обробку отриманих результатів продукційною моделлю.

Перелік посилань:

1. Pivarciova E., Qazizada M. E. (2018). Applications of process control system with SCADA and PID controller. *2018-ELEKTRO*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ELEKTRO.2018.8398312>.
2. Loucif F., Kechida S. (2020). Optimization of sliding mode control with PID surface for robot manipulator by Evolutionary Algorithms. *Open Computer Science*, 10, 396–407. <https://doi.org/10.1515/comp-2020-0144>.
3. García Márquez F.P., Benmessaoud T., Mohammedi K. et al. (2025). Alarms management with fuzzy logic using wind turbine SCADA systems. *Int J Syst Assur Eng Manag*, 16, 818–834. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02678-0>.
4. Zhanjun N., Qingshan L., Changting L. (2024). Vehicle fault diagnosis expert system. *Proc. SPIE: Second International Conference on Physics, Photonics, and Optical Engineering (ICPPOE 2023)*, 13075, 1–7. <https://doi.org/10.1117/12.3026168>.
5. Nerveen M.T., Fahmy H.M. (2022). A SCADA Expert System of Fuzzy Knowledge-based System for Fault Tracing of Marine Applications. *International Journal of Computer Applications*, 184, 18, 14–22. <https://doi.org/10.5120/ijca2022922187>.

¹ Магістрант 1 курсу Василенко М.А.

¹ Проф., д.т.н. Шушура О.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=beUGko0AAAAJ&hl=uk&oi=sra>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕГРАЦІЯ ХМАРНИХ ТЕЛЕФОННИХ СЕРВІСІВ З ІНФОРМАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ ODOO ДЛЯ ОБРОБКИ SMS

Постановка проблеми та її актуальність В умовах швидкого зростання підприємств та виходу їх на всесвітній ринок ефективна комунікація між компаніями та клієнтами відіграє ключову роль у забезпеченні конкурентоспроможності. Традиційні способи обміну інформацією, такі як телефонні дзвінки, електронна пошта та месенджери, мають певні обмеження, зокрема повільність реагування та залежність від доступу до інтернету. У цьому контексті SMS-повідомлення стають все більш затребуваним каналом зв'язку завдяки своїй швидкості, надійності та зручності.

Для того щоб забезпечити безпечний і стабільний обмін текстовими повідомленнями між працівниками та клієнтами, доцільно інтегрувати сучасні хмарні телефонні сервіси, такі як Zadarma [1] та Twilio [2], з інформаційною системою ODOO [3]. Такий підхід не лише підвищить ефективність комунікації, а й дозволить підприємствам оптимізувати витрати на зв'язок, використовуючи різних постачальників SMS-зв'язку залежно від бізнес-потреб.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження у сфері інтеграції хмарних телефонних сервісів та SMS-обміну підтверджують, що впровадження таких рішень сприяє значному підвищенню ефективності взаємодії між працівниками та клієнтами підприємства. Завдяки автоматизації комунікацій компанії можуть зменшити операційні витрати, оптимізувати робочі процеси та підвищити якість цифрового обслуговування. Інтеграція хмарних телефонних сервісів для використання SMS-повідомлень надає зручний та швидкий інструмент для обміну інформацією, що не лише покращує продуктивність співробітників, а й сприяє зростанню рівня задоволеності клієнтів завдяки швидкому та персоналізованому сервісу [4].

Формулювання мети. Метою роботи є розробка та впровадження модуля для інтеграції ODOO з сервісами Zadarma і Twilio для ефективного SMS-обміну. Інтеграція покращить комунікацію, автоматизує обробку повідомлень, знизить витрати та підвищить безпеку. Використання кількох провайдерів дозволить підприємству обирати оптимальний канал зв'язку за вартістю та якістю.

Основна частина. Основним завданням цього дослідження є розробка програмного модуля для системи ODOO, який забезпечить інтеграцію з хмарними сервісами Zadarma та Twilio для обміну SMS-повідомленнями. Модуль надасть можливість користувачам безкоштовно отримувати SMS-повідомлення та надсилати їх у будь-яку країну за оптимальними тарифами, що дозволить знизити витрати на комунікації. Крім того, реалізована підтримка шаблонів SMS дасть змогу автоматизувати процеси обміну повідомленнями, прискорити масові розсилки та підвищити ефективність комунікації.

Рішення також забезпечить гнучке управління постачальниками SMS-зв'язку, дозволяючи компаніям вибирати найкращий варіант залежно від вартості, якості та доступності послуг. Такий підхід підвищить ефективність внутрішніх і зовнішніх комунікацій та сприятиме покращенню клієнтського обслуговування. Також модуль надасть змогу перевіряти поточний баланс в системі ODOO, без потреби переходити в особистий кабінет на сайті телефонії. І також, буде доступний перегляд історії SMS-

повідомлень для ефективного управління комунікаціями. Основні вимоги до модуля можна позначити на діаграмі прецедентів (рис. 1).

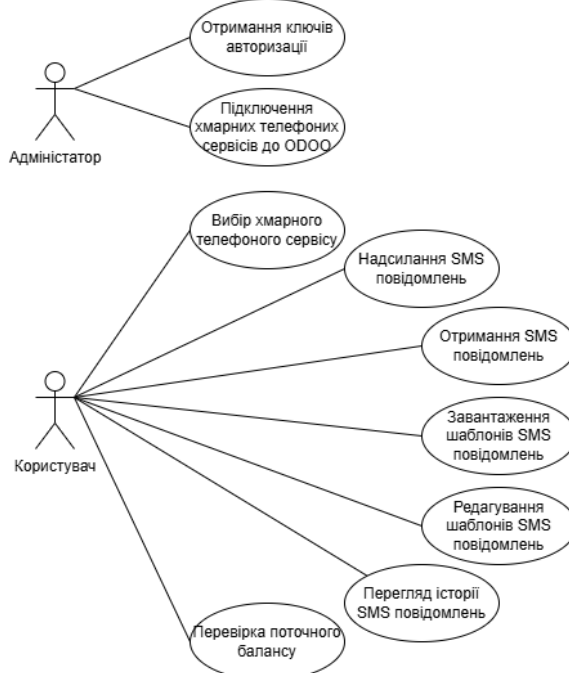


Рисунок 1 – Діаграма прецедентів модуля інтеграції хмарних телефонних сервісів

Розробка програмного модуля для ODOO передбачає кілька ключових етапів, кожен із яких потребує ретельного аналізу та реалізації:

- визначення функціональних можливостей модуля з урахуванням особливостей SMS-обміну через Zadarma та Twilio;
- розробка структури бази даних, створення зручного користувацького інтерфейсу та визначення логіки інтеграції з API постачальників SMS;
- написання коду на Python, налаштування взаємодії з базою ODOO та API постачальників SMS;
- перевірка роботи модуля, усунення помилок та оптимізація продуктивності;
- підготовка інструкцій із налаштування та використання модуля.

Окрім цього, модуль має бути масштабованим, щоб у майбутньому можна було легко додавати нових постачальників SMS-послуг і розширювати функціональність.

Висновки. Розроблений модуль покращить комунікацію підприємств, що використовують ODOO, забезпечуючи швидкий і зручний обмін SMS із клієнтами, партнерами та співробітниками. Він спростить підтвердження замовлень, маркетингові розсилки та роботу служби підтримки.

Інтеграція з API Zadarma та Twilio допоможе знизити витрати на SMS, підвищити якість сервісу та автоматизувати процеси завдяки шаблонам і масовим розсилкам. Оптимізація комунікаційних процесів підвищить ефективність роботи компаній, а використання надійних API гарантує безпеку та стабільність передавання повідомлень.

Перелік посилань:

1. Zadarma: API від Zadarma. URL: <https://zadarma.com/ua/support/api> (дата звернення: 21.02.2025).
2. Messaging API Overview | Twilio. *Communication APIs for SMS, Voice, Email & Authentication* | Twilio. URL: <https://www.twilio.com/docs/messaging/api> (дата звернення: 22.02.2025).
3. Відкритий код ERP та CRM | Odoo. *Odoo*. URL: https://www.odoo.com/uk_UA (дата звернення: 21.02.2025).
4. 7 ways to use SMS for business communication. URL: <https://sinch.com/blog/sms-for-business-communication/> (дата звернення: 24.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Лазоренко А.Р.

¹ Проф., д.т.н. Шушура О.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=beUGko0AAAAJ&hl=uk&oi=sra>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ПОВНОТЕКСТОВОГО ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМІ ODOO

Постановка проблеми та її актуальність. З розвитком цифрових технологій і зростанням кількості інформації, що мають обробляти бізнеси, питання швидкого і зручного доступу до необхідних даних стає все більш актуальним. ERP-системи, що об'єднують записи з різних джерел, відіграють ключову роль у цифровій трансформації бізнесу, тож ефективний пошук у них перетворюється з корисної додаткової функції на необхідність.

Odoo [1] є гнучкою ERP-системою з модульною архітектурою, що дозволяє адаптувати її під потреби компаній різного масштабу. Проте, пошуковий механізм у ній реалізований на рівні окремих моделей, що ускладнює роботу з великими масивами даних та не забезпечує глобального пошуку.

Для забезпечення зручної навігації в масиві даних можуть використовуватися різні підходи до пошуку – від простого фільтрування за заданими параметрами до складних аналітичних механізмів. Однак, при роботі з великими масивами даних, коли запити потребують гнучкості та точності, саме повнотекстовий пошук стає найефективнішим рішенням. Його методи дозволяють не лише знаходити релевантні результати, а й адаптувати алгоритми до специфіки бізнес-процесів.

Аналіз останніх досліджень. Повнотекстовий пошук поступово став невід'ємною частиною сучасних інформаційних систем, забезпечуючи швидкий і зручний доступ до великих обсягів даних. Спочатку ця технологія використовувалася переважно у пошукових системах, таких як Apache Lucene [2]. У 2010 році на його основі був створений Elasticsearch [3] – платформа, що забезпечує швидкий та масштабований пошук у великих обсягах текстових даних. Завдяки високій продуктивності та можливості роботи з розподіленими системами Elasticsearch швидко став популярним серед компаній, яким потрібна ефективна обробка текстової інформації.

Згодом повнотекстовий пошук почали впроваджувати й ERP-системи для спрощення доступу до інформації. Наприклад, у BAS ERP [4] він допомагає швидко знаходити потрібні дані, що підвищує ефективність роботи. Подібні рішення використовуються і в системах електронного документообігу, де повнотекстовий пошук значно скорочує час пошуку файлів та спрощує управління великими обсягами документації.

Крім бізнес-додатків, ця технологія активно застосовується в бібліотеках та архівах, забезпечуючи доступ до великої кількості наукових і історичних матеріалів.

Формулювання мети. Метою є розробка модуля повнотекстового пошуку для системи Odoo, оптимізованого для великих організацій із великими базами даних. Модуль має забезпечувати швидкий доступ до необхідної інформації, з урахуванням її актуальності та ефективного використання ресурсів.

Основна частина. У системі Odoo присутній стандартний точний пошук даних по окремих модулям і застосовується безпосередньо до записів конкретних таблиць. Такий підхід працює ефективно для невеликих обсягів даних, але у великих системах зростає навантаження на базу даних, що може призводити до значних затримок у виконанні запитів. Крім того, він не дозволяє здійснювати глобальний пошук по всіх даних системи, що обмежує можливості користувачів у швидкому доступі до необхідної інформації.

Розроблений модуль повнотекстового пошуку обходить ці обмеження, забезпечуючи централізовану індексацію даних із різних модулів у єдиній таблиці, оптимізований для швидкого пошуку. Основна перевага модуля – оптимізований механізм обробки та збереження даних, який дозволяє ефективно працювати навіть із великими базами даних. При встановленні модуля основні підготовчі процеси виконуються у фоновому режимі, не блокуючи роботу системи.

Оновлення пошукового індексу також відбувається поступово, за допомогою пакетної обробки даних (batch processing) [5]. Нові, змінені та видалені записи додаються до спеціальної черги оновлень, яка обробляється через заплановані дії кожні три хвилини. Такий підхід зменшує навантаження на систему і гарантує, що результати пошуку завжди актуальні без негативного впливу на продуктивність основних бізнес-процесів.

Крім того, модуль адаптується до можливостей бази даних: якщо в PostgreSQL доступне розширення pg_trgm [6], використовується триграмний індекс, що покращує точність і швидкість пошуку. В іншому випадку застосовується стандартний інвертований індекс, що гарантує коректну роботу навіть у системах із обмеженими можливостями конфігурації. Для кращого розуміння процесу на рис. 1 зображено ключові етапи встановлення модуля.

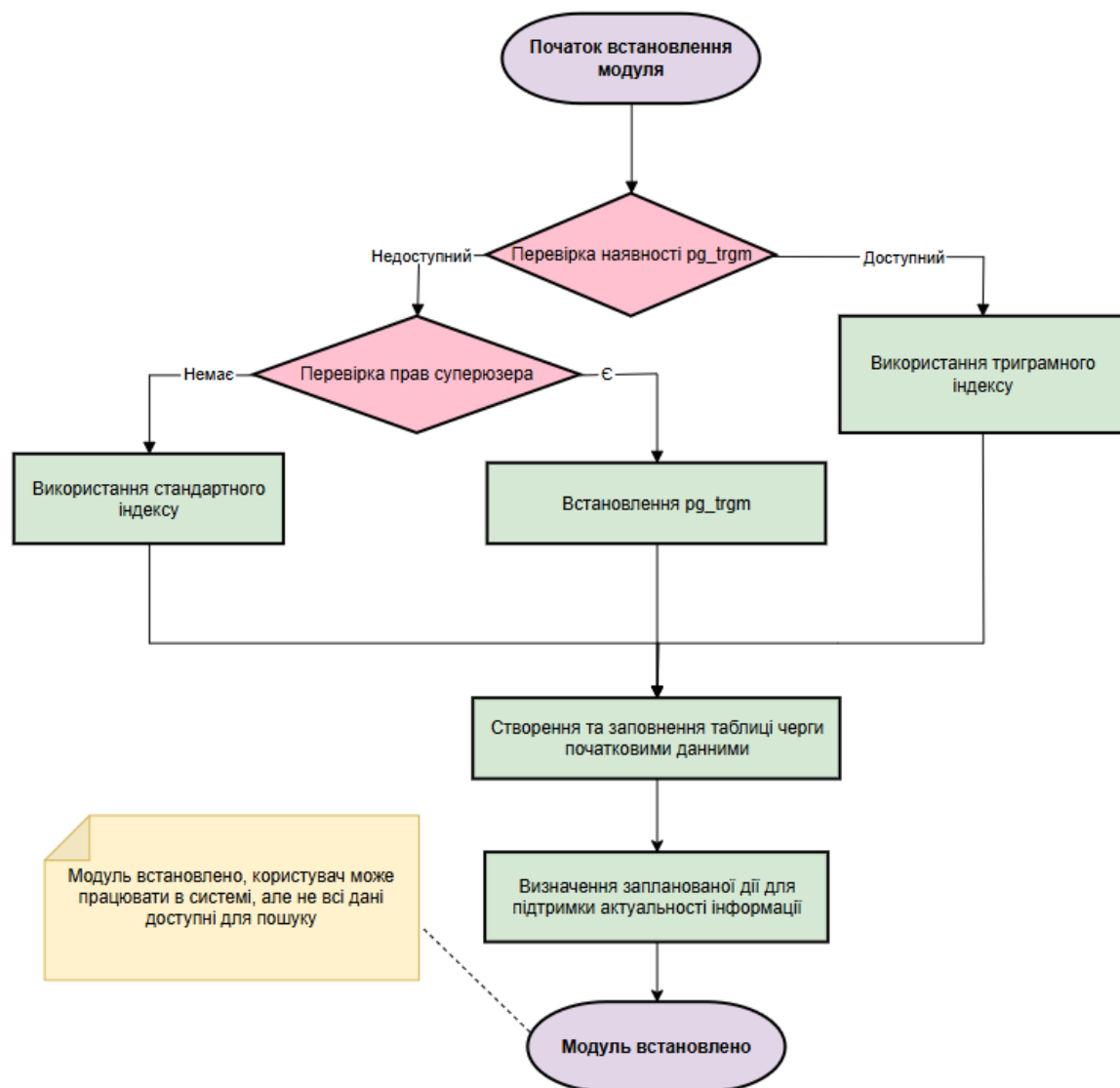


Рисунок 1 – Процес встановлення модуля

Спочатку перевіряється доступність розширення pg_trgm, і залежно від результату система або буде використовувати триграмний індекс, або стандартний. Після цього створюється таблиця черги, що містить початковий набір записів для пошуку, а також налаштовується механізм оновлення даних.

Для забезпечення актуальності даних налаштовані тригери на оновлення, додавання та видалення записів. Це дозволяє системі автоматично оновлювати дані та підтримувати актуальність у режимі реального часу. Процес оновлення пошукового індексу зображено на рис. 2.

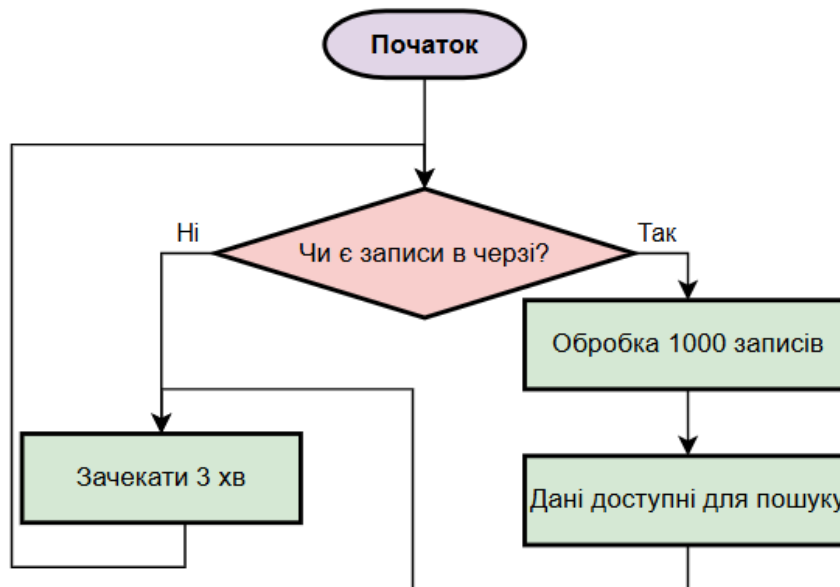


Рисунок 2 – Алгоритм оновлення пошукового індексу

Система регулярно перевіряє чергу і, якщо там є записи на додавання змінення чи видалення, опрацьовує їх у пакетному режимі. Це дозволяє підтримувати актуальність даних, не створюючи значного навантаження на систему.

Висновки. Розроблений модуль повнотекстового пошуку для системи Odoo забезпечує швидкий доступ до інформації навіть у великих базах даних, усуваючи проблеми тривалого встановлення та блокування системи під час ініціалізації. Оптимізована архітектура дозволяє виконувати індексацію поступово, без негативного впливу на робочі процеси.

Ключовою перевагою є механізм фонової пакетної обробки даних, завдяки якому оновлення пошукового індексу виконується регулярно і не створює надмірного навантаження на систему. Це гарантує, що дані, доступні для пошуку, залишаються актуальними, а сам процес не заважає користувачам працювати у системі.

Перелік посилань:

1. Odoo documentation. URL: <https://www.odoo.com/documentation/16.0/index.html> (дата звернення 24.20.2025).
2. Apache Lucene. High-performance text search engine library. URL: <https://lucene.apache.org/core/index.html> (дата звернення: 26.02.2025).
3. ElasticSearch Documentation. URL: <https://www.elastic.co/guide/index.html> (дата звернення: 26.02.2025).
4. BAS ERP Documentation. URL: https://its.bas-soft.eu/section/doc_ua (дата звернення: 26.02.2025).
5. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. Communications of the ACM, 2008. V. 51, № 1. P. 107–113.
6. Full Text Search PostgreSQL 16 Documentation URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/textsearch.html> (дата звернення: 26.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Пінчук М.Л.

¹ Проф., д.т.н. Аушева Н.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=KSRT4AAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕГРАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ПРОТОКОЛОМ WEBRTC

Постановка проблеми та її актуальність. Незважаючи на високу точність, більшість сучасних систем розпізнавання облич має обмеження щодо використання у реальному часі через значну обчислювальну складність. Крім того, інтеграція таких систем у мережеві додатки залишається нетривіальним завданням, особливо коли йдеться про роботу з відеопотоками через Інтернет. Існуючі рішення часто не враховують особливості передачі даних у реальному часі та потребують адаптації для роботи з протоколами на зразок WebRTC.

Аналіз останніх досліджень. За останні п'ять років відбувся значний прорив у розробці систем розпізнавання облич завдяки згортковим нейронним мережам (CNN) та архітектурам на основі трансформерів. Дослідження Huang та співавторів (2023) демонструє, що сучасні моделі досягають точності понад 99,8 % на стандартних наборах даних, таких як LFW. Роботи Wang і Liu (2024) пропонують використання самоконтрольованого навчання для зменшення залежності від великих анотованих наборів даних. Значну увагу приділено також питанням етики та запобігання упередженості у системах розпізнавання, що відображено у дослідженнях Бузова і Козака (2024).

Формулювання мети. Метою даної роботи є аналіз сучасних моделей штучного інтелекту для розпізнавання облич та доцільність інтеграції з протоколом WebRTC.

Основна частина. Проведено аналіз та виявлено кілька перспективних готових рішень, які можна використати як основу для власних проєктів, серед яких:

1. Face-API.js, побудована на TensorFlow.js, що забезпечує можливість розпізнавання облич безпосередньо у веб-браузері. Її основними перевагами є відсутність потреби у серверній обробці та можливість роботи офлайн, хоча точність поступається серверним рішенням.
2. OpenCV із модулем dnn надає змогу інтегрувати згорткові нейронні мережі, підтримуючи архітектури ResNet і MobileNet, що забезпечує гнучкість у виборі моделей та можливість оптимізації під конкретні апаратні платформи.
3. MediaPipe Face Mesh від Google дозволяє не лише виявляти обличчя, а й визначати 468 ключових точок для створення тривимірної моделі обличчя, зручно інтегрується у веб-застосунки та підтримує мобільні пристрої.
4. InsightFace як відкрита екосистема включає сучасні моделі з високим рівнем точності та підтримує різні способи розгортання, зокрема через Python API та Docker-контейнери.

Загалом, аналіз продемонстрував широкий спектр інструментів для інтеграції систем розпізнавання облич, що дозволяє гнучко адаптувати вибір технологій залежно від конкретних завдань.

Досліджено можливості застосування протоколу WebRTC для передачі аудіо- та відеоданих без встановлення додаткових плагінів. Розглянуто три підходи до інтеграції систем розпізнавання облич:

1. Клієнт-серверна архітектура, яка передбачає передачу відеопотоку з клієнтського пристрою на сервер через WebRTC, де відбувається обробка даних потужними моделями штучного інтелекту з подальшою передачею результатів назад клієнту.

2. Гібридний підхід, за якого первинна обробка (виявлення облич) здійснюється на клієнтському боці, а складніші процеси (ідентифікація, верифікація) – на сервері, що дозволяє зменшити обсяг переданих даних і скоротити затримку.
3. Локальна обробка, що підходить для сценаріїв, де пріоритетом є конфіденційність, оскільки всі дані обробляються безпосередньо на клієнтському пристрої із застосуванням оптимізованих моделей.

Для забезпечення захищеного з'єднання між клієнтом і сервером у WebRTC використано протоколи ICE, STUN і TURN. Оптимізація передачі даних досягнута завдяки адаптивному кодуванню відео із застосуванням кодеків VP8/VP9 і H.264, що дозволяє підтримувати стабільну якість зображення навіть за умов обмеженої пропускної здатності. Окрім цього, реалізовано механізми контролю затримок і втрат пакетів, що забезпечує гнучке налаштування якості залежно від стану мережі. Проведено експериментальний аналіз різних архітектур нейронних мереж з метою оцінки їх швидкодії та точності. Розглянуто ResNet, MobileNet та EfficientNet, порівнюючи їхню продуктивність за критеріями швидкості обробки, обсягу використаної пам'яті та рівня похибки. Визначено, що MobileNet-V3 з модифікованою структурою демонструє оптимальний баланс між швидкістю обробки та якістю розпізнавання, досягаючи обробки 30 кадрів на секунду на мобільних пристроях середньої потужності при точності розпізнавання 97,5 % на контрольному наборі даних.

Розроблено програмну архітектуру для інтеграції систем розпізнавання облич, побудований за мікросервісним принципом, що відповідає сучасним підходам до створення програмного забезпечення.

Основними компонентами системи є:

1. Модуль захоплення відео, який підтримує різні джерела відеоданих, зокрема через WebRTC.
2. Модуль попередньої обробки, що реалізує функції нормалізації зображень, вирівнювання та масштабування.
3. Модуль детекції облич, який забезпечує вибір оптимальної моделі для виявлення облич у режимі реального часу.
4. Модуль розпізнавання, що відповідає за зіставлення з базою еталонних зображень і підтримує кешування результатів.
5. API інтеграції, що надає єдиний інтерфейс для взаємодії із системою.

Висновки. Проведене дослідження демонструє значний потенціал інтеграції сучасних моделей штучного інтелекту для розпізнавання облич з протоколом WebRTC. Запропоновані підходи до інтеграції з WebRTC дозволяють суттєво знизити затримку при обробці відеопотоку та забезпечити стабільну роботу системи в умовах реальної експлуатації.

Перелік посилань:

1. Huang G.B., Mattar M., Berg T., Learned-Miller E. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. Workshop on Faces in 'Real-Life' Images: Detection, Alignment, and Recognition. 2023. P. 1–14.
2. Liu W., Wen Y., Yu Z., Li M., Raj B., Song L. SphereFace: Deep Hypersphere Embedding for Face Recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2021. P. 212–220.
3. Wang H., Wang Y., Zhou Z., Ji X., Gong D., Zhou J., Li Z., Liu W. CosFace: Large Margin Cosine Loss for Deep Face Recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2023. P. 5265–5274.
4. Bangfort B., Bilbro R., Ojeda T. Applied Text Data Analysis in Python. USA: O'Reilly Media. 2018. 332 p.
5. Буров О.Ю., Козак Л.М. Етичні аспекти застосування систем розпізнавання облич. Інформаційні технології і засоби навчання. 2024. Т. 89, №1. С. 22–36.

¹ Магістрант 1 курсу Падалко Д.

¹ Доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=g3-qVSgAAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕГРАЦІЇ ЗАСТОСУНКІВ ASP.NET CORE З СУЧАСНИМИ ФРОНТЕНД-ІНСТРУМЕНТАМИ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні веб-застосунки вимагають потужного бекенду для обробки даних та забезпечення безпеки, а також інтерактивного фронтенду для зручного та ефективного користувацького досвіду. Для досягнення цієї мети існує багато різних способів. Зокрема, розробники часто використовують ASP.NET Core для створення бекенду та React для розробки фронтенду. Ці технології, доповнюючи одна одну, дозволяють створювати високопродуктивні та масштабовані веб-застосунки.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження показують, що інтеграція ASP.NET Core та React стає все більш популярною серед розробників. Згідно з опитуваннями Stack Overflow Developer Survey [1], обидві технології входять до числа найбільш використовуваних та улюблених. Багато компаній, таких як Microsoft, Netflix та Facebook, використовують ці технології для створення своїх веб-застосунків.

Дослідження також показують, що використання TypeScript в React-проектах значно покращує якість коду та зменшує кількість помилок. Наприклад, дослідження, опубліковане в журналі «Empirical Software Engineering», демонструє, що проекти, написані з використанням TypeScript, мають на 15 % менше помилок, ніж проекти, написані на чистому JavaScript. Крім того, використання таких технік, як мемоізація та ледаче завантаження, дозволяє покращити продуктивність React-застосунків. Згідно з дослідженням Google, мемоізація компонентів за допомогою React.memo та useMemo може покращити продуктивність застосунку на 20–30 % у випадках, коли компоненти часто перерендериваються з тими ж пропсами.

Додатково, у статті «A Performance Comparison of JavaScript Frameworks» [2] можна знайти порівняльний аналіз продуктивності різних JavaScript фреймворків, включаючи React, де демонструються переваги використання React у високопродуктивних веб-застосунках.

Формулювання мети. Для інтеграції ASP.NET Core і React у розробці сучасних веб-застосунків можна застосовувати різні підходи. Одним із поширених методів є використання ASP.NET Core для створення бекенд-сервісів, що обробляють дані та забезпечують безпеку, а React – для розробки динамічного інтерфейсу користувача. Додатково можна застосовувати TypeScript для покращення якості коду, а також техніки оптимізації, такі як мемоізація, ледаче завантаження та серверний рендеринг, для підвищення продуктивності застосунку.

Основна частина. Інтеграція ASP.NET Core та React надає безліч переваг. Насамперед, це розділення відповідальності. ASP.NET Core бере на себе функції обробки даних, забезпечення безпеки та реалізацію логіки застосунку [3], тоді як React фокусується на створенні інтерактивного та динамічного інтерфейсу користувача [4]. Такий підхід дозволяє кожній технології ефективно виконувати свої завдання, забезпечуючи високу якість та продуктивність застосунку.

Обидві технології відомі своєю високою продуктивністю та масштабованістю. ASP.NET Core оптимізований для швидкої обробки запитів та ефективного використання ресурсів сервера [3], що дозволяє йому легко масштабуватися для обробки

великих обсягів даних та користувачів. React, у свою чергу, використовує віртуальний DOM та інші оптимізації для швидкого рендерингу інтерфейсу користувача [4], забезпечуючи плавну та швидку роботу застосунку навіть при великій кількості інтерактивних елементів.

Багата екосистема ASP.NET Core та React є ще однією важливою перевагою. Обидві технології мають великі та активні спільноти розробників, що забезпечує постійний розвиток та вдосконалення. Це означає, що розробники мають доступ до безлічі готових бібліотек, інструментів та ресурсів, які можна використовувати для прискорення розробки та покращення якості застосунку.

Використання React дозволяє створювати односторінкові застосунки (SPA), які стають все більш популярними в сучасному веб-розробленні. SPA забезпечують швидку та плавну навігацію без необхідності перезавантаження сторінки, що значно покращує користувацький досвід [5]. Завдяки цьому користувачі можуть швидко отримувати доступ до необхідної інформації та взаємодіяти з застосунком без зайвих затримок.

Існує кілька способів інтеграції ASP.NET Core та React. Використання API є одним з найпоширеніших методів. ASP.NET Core Web API надає дані у форматі JSON, які React-застосунок отримує та відображає. Це дозволяє розділити бекенд та фронтенд на незалежні компоненти, які можуть розроблятися та масштабуватися окремо.

Шаблони проектів у Visual Studio спрощують процес створення ASP.NET Core-проекту з інтегрованим React-застосунком. Ці шаблони надають готову структуру проекту та необхідні налаштування, що дозволяє розробникам швидко розпочати роботу без необхідності налаштовувати все з нуля.

Використання middleware в ASP.NET Core дозволяє обробляти запити та надавати статичні файли React-застосунку. Це забезпечує ефективне керування ресурсами та дозволяє оптимізувати роботу застосунку.

Для інтеграції ASP.NET Core та React використовується ряд інструментів та технологій. Create React App є незамінним інструментом для швидкого створення React-проектів з необхідною конфігурацією. Він автоматично налаштовує середовище розробки та надає готову структуру проекту, що дозволяє розробникам зосередитися на написанні коду.

Axios або Fetch API використовуються для надсилання HTTP-запитів з React-застосунку до ASP.NET Core API. Ці бібліотеки надають зручний інтерфейс для роботи з мережевими запитами та дозволяють легко отримувати та надсилати дані між бекендом та фронтендом.

Webpack є потужним інструментом для збірки та оптимізації React-застосунку для production-середовища. Він дозволяє об'єднати всі необхідні файли в один бандл, мінімізувати їх розмір та оптимізувати для швидкого завантаження в браузері.

Visual Studio Code є популярним редактором коду з підтримкою ASP.NET Core та React. Він надає широкий набір інструментів для розробки, включаючи налагодження, контроль версій та інтеграцію з іншими інструментами [6].

Розгортання ASP.NET Core та React-застосунку включає кілька кроків. Насамперед, необхідно розгорнути ASP.NET Core API на сервері, такому як Azure App Service. Це забезпечує доступність бекенду для обробки запитів від фронтенду.

Далі необхідно зібрати React-застосунок в статичні файли та розмістити їх на веб-сервері, такому як Nginx. Це дозволяє забезпечити швидке завантаження фронтенду в браузері користувача.

Використання CDN для оптимізації доставки статичних файлів є важливим кроком для покращення продуктивності застосунку. CDN дозволяє розподілити статичні файли по серверах, розташованих по всьому світу, що забезпечує швидке завантаження для користувачів з будь-якого регіону.

Під час інтеграції ASP.NET Core та React можуть виникнути певні виклики. CORS є однією з найпоширеніших проблем. Для її вирішення необхідно налаштувати CORS на сервері ASP.NET Core, щоб дозволити запити з React-застосунку.

Аутентифікація та авторизація є важливими аспектами безпеки застосунку. Використання JWT або OAuth дозволяє захистити API та забезпечити безпеку даних користувачів.

Маршрутизація є ще одним важливим аспектом, який необхідно враховувати. Необхідно налаштувати маршрутизацію як на стороні сервера, так і на стороні клієнта, щоб забезпечити правильну обробку запитів та навігацію по застосунку.

Інтеграція ASP.NET Core та React є потужним підходом для створення сучасних веб-застосунків. Вона дозволяє поєднати переваги обох технологій, забезпечуючи високу продуктивність, масштабованість та зручний користувацький досвід.

Додатково варто відзначити, що використання TypeScript в React-проектах може значно покращити якість коду та зменшити кількість помилок. TypeScript додає статичну типізацію до JavaScript, що дозволяє виявляти помилки на етапі розробки, а не під час виконання.

Також, для покращення продуктивності React-застосунку можна використовувати такі техніки, як мемоізація компонентів за допомогою React.memo та useMemo [7], а також ледаче завантаження компонентів за допомогою React.lazy та Suspense.

Для тестування React-компонентів можна використовувати такі інструменти, як Jest та React Testing Library. Вони дозволяють писати юніт-тести та інтеграційні тести, що забезпечує надійність та стабільність застосунку.

Крім того, для керування станом застосунку можна використовувати такі бібліотеки, як Redux або Context API. Вони дозволяють ефективно керувати складним станом застосунку та забезпечують передбачуваність поведінки.

Нарешті, для покращення SEO-оптимізації SPA можна використовувати такі техніки, як серверний рендеринг (SSR) або попередній рендеринг (Prerendering). Вони дозволяють генерувати HTML-сторінки на сервері, що покращує індексацію застосунку пошуковими системами.

Висновки. Інтеграція ASP.NET Core та React є потужним підходом для створення сучасних веб-застосунків. Вона дозволяє поєднати переваги обох технологій, забезпечуючи високу продуктивність, масштабованість та зручний користувацький досвід.

Перелік посилань:

1. Stack Overflow Developer Survey 2023. Stack Overflow. URL: <https://survey.stackoverflow.co/2023/> (дата звернення 28.02.2025).
2. Interactive Results. GitHub. URL: <https://krausest.github.io/js-framework-benchmark/current.html> (дата звернення 28.02.2025).
3. ASP.NET documentation. Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/aspnet/core/?view=aspnetcore-3.0> (дата звернення 28.02.2025).
4. React documentation. React. URL: <https://react.dev/> (дата звернення 28.02.2025).
5. Why is React Js called as Single Page Application. Stack Overflow. URL: <https://stackoverflow.com/questions/62529631/why-is-react-js-called-as-single-page-application> (дата звернення 28.02.2025).
6. Microsoft. Visual Studio Code – Code Editing. Visual Studio Code – Code Editing. Redefined. URL: <https://code.visualstudio.com/> (дата звернення 28.02.2025).
7. Оптимізація продуктивності в React-застосунку. DOU. URL: <https://dou.ua/forums/topic/45406/> (дата звернення 28.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Середа В.О.

¹ Доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=g3-qVSgAAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗАКУПІВЕЛЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні компанії, що працюють у сфері енергетики, стикаються з необхідністю ефективного управління процесами закупівель енергетичного обладнання. Традиційні методи закупівель, що базуються на паперовій або напівавтоматизованій обробці даних, мають ряд суттєвих недоліків, таких як затримки в узгодженні, помилки через людський фактор та низька прозорість процесів. Автоматизація закупівель здатна значно підвищити ефективність цього процесу, скоротити витрати та забезпечити більш прозоре управління ланцюгами постачання.

Недостатня автоматизація закупівель енергетичного обладнання призводить до значних втрат часу та ресурсів. Ручна обробка замовлень ускладнює контроль за виконанням угод, аналіз цінових пропозицій та управління постачальниками. Відсутність централізованої системи унеможливорює швидке узгодження та оптимізацію закупівельних процесів. На сучасному ринку компанії, що не використовують автоматизовані рішення, втрачають конкурентні переваги.

Формулювання мети. Метою даної роботи є розробка та впровадження веб-системи для автоматизації закупівель енергетичного обладнання, що дозволяє зменшити ризики людського фактору, підвищити швидкість та ефективність закупівельного процесу, а також забезпечити аналітичний контроль за витратами.

Основна частина. Автоматизована система закупівель реалізована у вигляді веб-додатку, що базується на таких технологіях:

- Мова програмування: Java.
- Фреймворк: Spring Framework (Spring Boot, Spring Data, Spring Session).
- Фронтенд: HTML, CSS, JavaScript.
- База даних: PostgreSQL.
- ORM: Jakarta Persistence API (JPA), Hibernate.
- Контейнеризація: Docker.

Система включає наступні функціональні можливості:

- Автоматизований процес обробки заявок на закупівлю.
- Інтеграція з базами даних постачальників для збору актуальних цінових пропозицій.
- Аналітичний модуль для оцінки ефективності закупівель.
- Контроль виконання замовлень та відстеження етапів поставки.
- Захищений доступ до системи з використанням механізмів аутентифікації та авторизації.

Для забезпечення зручної та безпечної оплати було реалізовано інтеграцію зі стороннім сервісом LiqPay. Даний сервіс надає можливість здійснювати платежі через банківські картки, Apple Pay та Google Pay. Інтеграція виконана за допомогою REST API LiqPay, що дозволяє автоматично генерувати платіжні посилання та відстежувати статус транзакцій. Реалізовано механізм шифрування даних для безпечної передачі платіжної інформації. Успішні транзакції автоматично додаються до історії платежів користувача, а в разі помилки система сповіщає його про необхідність повторної спроби. На рис.1 зображено вікно оплати замовлення.

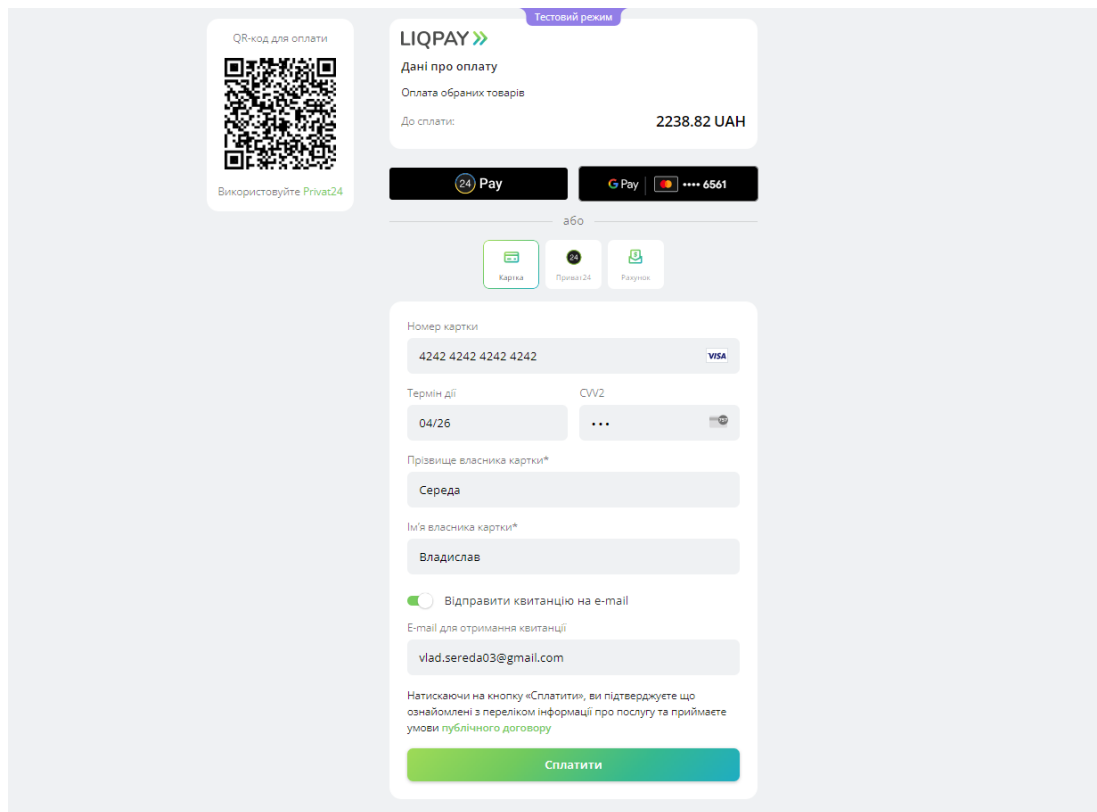


Рисунок 1 – Вікно оплати товарів

Впровадження даної системи надає цілий ряд переваг. По-перше, значно скорочуються витрати часу на узгодження, обробку та виконання замовлень завдяки автоматизації рутинних процесів, що дозволяє співробітникам зосередитися на стратегічно важливих завданнях. По-друге, підвищення точності обробки даних щодо закупівель мінімізує ризик помилок, що можуть виникнути внаслідок людського фактора, і забезпечує більш якісний аналіз витрат. Крім того, централізоване управління закупівлями не тільки сприяє прозорості операцій, а й дозволяє компанії максимально ефективно використовувати фінансові ресурси, завдяки чому забезпечується раціональне планування і контроль витрат. Це також створює умови для більш тісної співпраці з надійними постачальниками, що сприяє довгостроковій стабільності бізнесу.

Висновки. Отже, можна зробити висновок, що автоматизація закупівель енергетичного обладнання є ключовим фактором цифрової трансформації підприємств енергетичного сектору. Вона забезпечує не лише підвищення конкурентоспроможності завдяки ефективнішому управлінню ресурсами, але й сприяє значній оптимізації витрат та прискоренню процесів прийняття рішень. Така автоматизація дозволяє компаніям швидше адаптуватися до змін на ринку, впроваджувати інновації та підвищувати якість обслуговування клієнтів, що в свою чергу забезпечує стійкий розвиток галузі в цілому.

Перелік посилань:

1. The future of energy procurement and energy trading: change, trends and the role of IT service providers. URL: <https://www.adesso.de/en/news/blog/the-future-of-energy-procurement-and-energy-trading-change-trends-and-the-role-of-it-service-providers.jsp> (дата звернення 28.02.2025).
2. Spring Framework Documentation. URL: <https://spring.io> (дата звернення 28.02.2025).
3. PostgreSQL Official Documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs> (дата звернення 28.02.2025).
4. Docker Documentation. URL: <https://docs.docker.com> (дата звернення 28.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Сухенко Б.О.

¹ Проф., д.т.н. Шушура О.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=beUGko0AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОГРАМНИХ РЕЄСТРАТОРІВ РОЗРАХУНКОВИХ ОПЕРАЦІЙ З ІНФОРМАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ ODOO

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасних умовах автоматизації бізнес-процесів та цифрової трансформації важливим аспектом є інтеграція програмних реєстраторів розрахункових операцій (ПРРО) у бізнес-системи. Впровадження електронних касових рішень дозволяє автоматизувати фінансові процеси, забезпечити відповідність законодавчим вимогам та оптимізувати операційну діяльність підприємств [1]. Однією з популярних ERP-систем, яка використовується для управління бізнес-процесами, є Odoo. Інтеграція саме в Odoo обґрунтована його гнучкістю, модульністю та широкими можливостями автоматизації бізнес-процесів, що дозволяє ефективно поєднати облік, продажі та фіскалізацію в єдиній системі. Крім того, використання Odoo дає можливість легко адаптувати інтеграцію під специфічні потреби компанії без необхідності значних змін у вже налагоджених процесах [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останні дослідження у сфері електронних касових рішень свідчать про зростаючу потребу у їхній інтеграції з ERP-системами для малого та середнього бізнесу. В Україні поширення набуло багато різних програмних РРО. Особливо Вчасно.Каса та Checkbox, що надають API для взаємодії із зовнішніми сервісами.

Формулювання мети та завдань дослідження. Метою даної роботи є розробка модулів, що реалізують інтеграцію програмних реєстраторів розрахункових операцій в інформаційну систему Odoo, які дозволять здійснювати автоматизовану фіскалізацію продажів та забезпечуватимуть повний функціонал, необхідний для виконання продаж та обліку.

Основна частина. Інтеграція програмних реєстраторів розрахункових операцій (ПРРО) у таку ERP-систему, як Odoo, є важливим завданням для забезпечення автоматизованого обліку фіскальних операцій відповідно до законодавчих вимог.

Одним із таких ПРРО є "Вчасно.Каса", яка має доволі великий і гнучкий функціонал, що дозволяє здійснювати реєстрацію продажів, формувати та друкувати чеки, а також вести фіскальний облік. Впровадження цього рішення в Odoo може здійснюватися різними методами, кожен із яких має свої особливості, переваги та недоліки.

Основними вимогами до інтеграції є:

- автоматична реєстрація системою продажів у фіскальній службі;
- обмін даними між Odoo і сервісом ПРРО в реальному часі;
- підтримка всіх типів фіскальних операцій (продаж, повернення, скасування чека тощо);
- підтримка роботи зі змінами та різними касами;
- ведення архіву чеків у системі Odoo для подальшого аналізу та звітності;
- створення звітів;
- забезпечення коректної роботи з різними користувацькими ролями та правами доступу.

Вчасно.Каса має 2 API: хмарне [3] і локальне, через Device Manager [4]. Під час інтеграції необхідно реалізувати інтеграцію для обох видів інтерфейсів програмування.

Пряме підключення до API сервісу програмного РРО передбачає безпосередню взаємодію інформаційної системи Odoo із сервером Вчасно.Каси. У цьому випадку

програмний комплекс самостійно формує запити до API, передає їх через захищене з'єднання та отримує відповідь у реальному часі [3]. Такий підхід дає змогу контролювати кожен етап обміну даними, зменшуючи залежність від сторонніх програмних рішень – достатньо наявності зв'язку з мережею. Крім того, пряме підключення сприяє швидкій реєстрації фіскальних чеків, оскільки інформація передається без додаткових проміжних етапів, що зменшує загальний час проведення операцій.

Однак використання прямого API має певні недоліки, які можуть ускладнити його впровадження. По-перше, необхідно програмно реалізувати чергу запитів на фіскалізацію на випадок відсутності з'єднання з Інтернетом. По-друге, у разі змін у протоколах API потрібно вчасно оновлювати розроблений модуль. Також, якщо з якихось причин сервер фіскального оператора буде тимчасово недоступний, це може призвести до збоїв у проведенні чеків, оскільки Odoo напряду залежатиме від стабільності зовнішнього сервісу. По-третє, при такому варіанті роботи не є доступним використання POS-терміналів, що робить використання даного методу доцільним в основному в інтернет-магазинах.

Другий варіант – використання API Device Manager. Це спеціалізований додаток, розроблений для інтеграції програмного реєстратора розрахункових операцій «Вчасно.Каса» з обліковими системами та торговим обладнанням [4]. Завдяки Device Manager можна легко підключати та керувати різними периферійними пристроями підприємства.

Device Manager забезпечує альтернативний підхід до взаємодії з фіскальним сервером. У цьому випадку Odoo не працює безпосередньо з API сервісу, а передає запити на локальну або мережеву програму, що керує підключенням до фіскального реєстратора. Такий підхід дозволяє абстрагувати складнощі безпосереднього підключення та делегувати взаємодію спеціалізованому програмному забезпеченню. Це спрощує інтеграцію, оскільки вже не є необхідним думати що робити коли зник зв'язок – є можливість використання кешування та офлайн-режиму, коли Device Manager зберігає чеки і передає їх на сервер у момент відновлення з'єднання [4].

Разом із цим, застосування Device Manager як проміжного рівня має і певні обмеження. Наявність додаткового компонента в архітектурі створює ще один потенційний вузол відмови: якщо пристрій або програма управління вийдуть з ладу, обмін даними з фіскальним сервером буде порушений. Тим не менш, на цей випадок лишається розглянуте вище хмарне API. Використання цього варіанту більше підходить для будь-яких точок продажу.

Висновки. Загалом, варто зазначити, що інтеграція ПРРО в Odoo є важливим кроком для автоматизації фіскального обліку та підвищення ефективності бізнес-процесів на підприємствах, що може значно полегшити роботу як малому, так і великому бізнесу. Використання прямого API забезпечує високу швидкість обробки запитів та більшу гнучкість у налаштуванні, тоді як Device Manager полегшує інтеграцію та усуває складність взаємодії з фіскальними сервісами завдяки зручному посереднику. У майбутньому можливе розширення функціоналу, наприклад, додавання підтримки інших програмних РРО, автоматизація відправлення чеків покупцям та інтеграція із зовнішніми аналітичними платформами.

Перелік посилань:

1. Актуальність ПРРО Checkbox у 2024 році. URL: <https://www.aliks.com.ua/blogs/relevance-of-the-prro-in-2024/> (дата звернення 17.02.2025).
2. The Total Guide to Odoo ERP. URL: <https://tipalti.com/resources/learn/odoo-erp/> (дата звернення 19.02.2025).
3. Вчасно.Каса Public Fiscal API. URL: <https://documenter.getpostman.com/view/26351974/2s93shy9To#intro> (дата звернення 24.02.2025).
4. Device Manager від Вчасно.Каса. URL: <https://wiki-kasa.vchasno.ua/uk/DeviceManager/Functionality/API> (дата звернення 25.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Хілобок О.О.

¹ Доц., к.т.н. Крячок О.С.

<https://scholar.google.com/citations?user=NidEA2AAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АПАРАТНО-ПРОГРАМНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ТА УТРИМАННЯ ОБ'ЄКТА В КАДРІ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні інформаційні технології автоматизації надають нові можливості для підвищення ефективності виконання задач, що пов'язані з розпізнаванням та супроводженням об'єкта в різноманітних умовах. Комп'ютерний зір є важливою складовою, що застосовується для класифікації, підрахунку та спостереження за об'єктами. Актуальність досліджень в цій галузі обумовлена поширенням технологій комп'ютерного зору та стрімким розвитком нейронних мереж, а також потребою в автоматизованих системах спостереження (виявлення). Запропоновані рішення можуть знайти своє застосування в різноманітних галузях промисловості, зокрема, при розробці безпілотних та навігаційних систем.

Формулювання мети. Метою дослідження є проєктування і розробка апаратно-програмної системи, яка дозволяє утримувати об'єкт у полі зору камери при зміні його положення та форми в реальному часі.

Запропоноване рішення. Розробка апаратно-програмної системи, що утримує об'єкт у фіксованих координатах кадру за допомогою кількох алгоритмів, забезпечуючи стабільність в умовах змін його кольору, форми та швидкості руху. Система повинна реалізовувати високу кутову швидкість повороту та достатню частоту обробки кадрів.

Основна частина. Програмний застосунок призначений для відстеження об'єкта в відеопотоці за допомогою одного з кількох алгоритмів трекінгу. Програма працює з веб-камерами, отримуючи зображення в реальному часі, що дає змогу використовувати її в широкому діапазоні різноманітних за призначенням та умовами використання завдань. Розробка та впровадження сучасних систем машинного зору є стратегічно важливим напрямом для України, оскільки такі технології сприяють підвищенню ефективності виконання різноманітних задач та можуть бути використані в безпілотних системах, розвідці, навігації й автоматизованому аналізі відеопотоків.

Основними функціями програмного забезпечення є можливість вибору об'єкта для трекінгу, його подальше відстеження навіть за умов змін його форми, кольору чи рівня освітлення, а також перемикання між різними методами трекінгу для оцінки їхньої продуктивності. У межах дослідження було розглянуто кілька популярних алгоритмів, зокрема Boosting, MIL, KCF, TLD, MedianFlow, CSRT, MOSSE та GOTURN [1]. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки: деякі забезпечують високу точність, але працюють повільно, інші мають високу швидкість, проте менш надійні у випадках значних змін об'єкта. Порівняльний аналіз швидкодії показав, що найшвидшим алгоритмом є MOSSE, оскільки він мінімально навантажує процесор, однак його точність недостатня для складних сценаріїв.

Найкращі результати в реальних умовах продемонстрував алгоритм CSRT – він забезпечує високу точність навіть при значних змінах об'єкта або фону, хоча поступається в швидкості MOSSE. Важливим фактором, що впливає на якість трекінгу, є параметри відео: наприклад, довга витримка камери може спричиняти розмиття зображення, що ускладнює відстеження.

Для оптимізації продуктивності програми було протестовано кілька підходів. Найефективнішим виявилось зменшення роздільної здатності відеопотоку: це дозволило

суттєво підвищити швидкість обробки кадрів без значної втрати якості. Такий підхід дає змогу використовувати програму навіть на пристроях із невисокою обчислювальною потужністю. У підсумку розроблене програмне забезпечення є ефективним інструментом для трекінгу в реальному часі та може бути адаптоване для різних практичних застосувань.

Основною мовою програмування обрано Python, оскільки вона є високорівневою, має простий синтаксис, переносність, велику кількість стандартних модулів і підтримку математичних розрахунків. Для роботи з мікроконтролерами використовується MicroPython, що сумісний із Python, оптимізований для мікроконтролерів. Основою програмного забезпечення є бібліотека OpenCV для машинного зору, яка містить алгоритми для розпізнавання об'єктів та їхнього відстеження. Для комунікації між комп'ютером і мікроконтролером використовується бібліотека PySerial. Додатково в MicroPython застосовуються бібліотеки micropython-servo (для керування сервоприводами) та machine (для доступу до GPIO мікроконтролера).

Для контролю сервоприводів розглянуто два популярні мікроконтролери: Arduino Nano V3 на базі ATmega328P та Raspberry Pi Pico з процесором RP2040. Аналіз характеристик обох плат показав, що Raspberry Pi Pico перевершує Arduino Nano за всіма ключовими параметрами, тому саме він був обраний для управління сервоприводами в даному проєкті. Крім того, підтримка мови MicroPython робить його сумісним із основним програмним забезпеченням, що підвищує ефективність та спрощує розробку системи [2].

Система складається з двох програм: основної для трекінгу та прошивки мікроконтролера Raspberry Pi Pico, який керує сервоприводами. Програма трекер, написана на Python з використанням OpenCV, обробляє відеопотік [3], визначає положення об'єкта та розраховує необхідний кут повороту камери, передаючи відповідні команди мікроконтролеру. Перед початком роботи вона очікує з'єднання з контролером, після чого користувач обирає метод трекінгу та фіксує об'єкт. Камера керується вручну за допомогою джойстика або автоматично – на основі аналізу зображення, при цьому швидкість повороту залежить від відстані об'єкта до центру зображення. Мікроконтролер виконує команди з комп'ютера, керує сервоприводами. Перехід між ручним та автоматичним керуванням здійснюється кнопкою джойстика, а регулювання розміру області – потенціометром. Система працює безперервно, дозволяє змінювати цілі та режими без перезавантаження, що забезпечує її гнучкість і зручність у використанні.

Висновки. У результаті проведеної роботи розроблено апаратно-програмну систему для утримання об'єкта в заданих координатах, використовуючи Python, MicroPython, Raspberry Pi Pico, допоміжне апаратне забезпечення. Проведено огляд і тестування трекерів OpenCV, оптимізовано роботу програми для точного відслідковування. Система стабільно працює з об'єктами, що змінюють швидкість, колір і форму, дозволяє змінювати цілі та задавати їхні початкові розміри. Вона має потенціал для програмного і апаратного вдосконалення, наприклад, покращення відеокамери та заміну сервоприводів на якісні двигуни, розробку програмного забезпечення, що дає можливість класифікації об'єктів на зображенні за допомогою нейронних мереж. Може бути впроваджена у сферах, де потрібне автоматизоване спостереження (виявлення), зокрема в охоронних та оборонних системах.

Перелік посилань:

1. A Complete Review of the OpenCV Object Tracking Algorithms. URL: <https://broutonlab.com/blog/opencv-object-tracking/> (дата звернення: 02.03.2025).
2. Raspberry Pi Pico vs. Arduino Nano: Which Is Best for Your Project? URL: <https://www.makeuseof.com/raspberry-pi-pico-vs-arduino-nano-best-for-project/> (дата звернення: 02.03.2025).
3. What is OpenCV. URL: <https://blog.roboflow.com/what-is-opencv/> (дата звернення: 02.03.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Холодницька А.Ю.¹ Доц., к.т.н. Кублій Л.І.<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=rXA1eMIAAAAJ>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ АНАЛІЗУ ТРЕНУВАЛЬНИХ ФАКТОРІВ І ПРОГНОЗУВАННЯ СПОРТИВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Постановка проблеми та її актуальність. В умовах сьогодення чимало людей займаються спортом. Мотивацією для них може бути прагнення до здорового способу життя, покращення витривалості й сили. Проте не всі досягають бажаних результатів з однаковою швидкістю і при рівних зусиллях. Приблизно 80 % відмінностей в успішності тренувань вчені пояснюють генетичними особливостями організму [1]. Тобто, одна й та сама програма тренувань може по-різному впливати на індивідуальний результат спортсмена. У зв'язку з цим актуальною є оцінка впливу різноманітних факторів, таких як кількість занять на тиждень, використання певного тренувального обладнання, споживання дієтичних добавок, рівень гідратації, тривалість сну тощо, на спортивний результат особистості.

Аналіз останніх досліджень. Існує дуже велика кількість застосунків і платформ, які забезпечують можливість відслідковувати фізичну активність користувачів, зберігати програми виконаних тренувань (за форматом щоденника), генерувати звіти й відображати статистику щодо прогресу. Деякі з них пропонують базу вправ, розподілених за групами м'язів, з поясненнями та оглядом техніки виконання. Інші включають моніторинг харчування, де користувачі можуть записувати споживану впродовж доби їжу для підрахунку калорійності, співвідношення білків, жирів, вуглеводів, а також вітамінів, мікро- та макроелементів. Крім того, багато таких застосунків можуть інтегруватися з пульсометрами, фітнес-годинниками і розумними вагами. Один з таких прикладів – застосунок Fitbit Coach [2], який дає можливість створювати програми тренувань на основі індивідуальних вподобань і цілей користувача, моніторити фізичну активність через інтеграцію з фітнес-годинником, вести історію тренувань та отримувати нагадування про заплановані активності. Базові функції додатка доступні безкоштовно, проте для отримання повного доступу до всіх можливостей необхідна платна підписка. Іншим прикладом є застосунок Fitness Buddy [3], який допомагає користувачам вести щоденник тренувань, фіксувати особисті цілі та виміри тіла. Додаток включає в себе бібліотеку вправ з покроковими інструкціями та ілюстраціями їхнього виконання, а також рецепти харчування і функцію ведення харчового щоденника. Додаток доступний у безкоштовній і платній версіях. Застосунок Strava [4] орієнтується на користувачів, які займаються спортом на відкритому повітрі (біг, велосипедні поїздки тощо). Серед основних функцій – відслідковування маршрутів, дистанцій, швидкості та інших показників за допомогою GPS. Однією з особливостей додатку є створення конкурентної взаємодії із самим собою (порівнюючи попередні результати) або з іншими користувачами, наприклад, друзями. Застосунок має соціальну мережу, де користувачі можуть ділитися результатами своїх забігів чи заїздів, підтримувати та реагувати на досягнення інших.

Формулювання мети. Метою дослідження є розробка веб-застосунку, здатного оцінити вплив різноманітних факторів на спортивний результат особистості.

Основна частина. Розроблений веб-застосунок розв'язує ряд завдань. Він аналізує вплив факторів на результат за стандартними показниками (сила, гнучкість, швидкість, витривалість, спритність). Для цього користувач вводить дані в таблицю, вказуючи фактори (наприклад, тривалість відновлення, режим харчування, використання специфічного

обладнання в процесі тренувань тощо) і результати вимірювань впродовж певного періоду, наприклад, час подолання бігової дистанції (показник витривалості), кількість підтягувань на перекладині (показник сили) тощо. Для аналізу веб-застосунків використовує алгоритм множинної логістичної регресії, що дає змогу оцінити, які фактори і в якій мірі впливають на спортивний результат користувача. Застосунок дає можливість аналізувати вплив факторів на результат за власним показником – користувач вводить назву власного показника (наприклад, тривалість стійки на руках без опори на стіну) і заповнює таблицю факторів і результатів вимірювань (як і в попередній функції). Застосунок здійснює прогнозування спортивного результату на майбутню дату – користувач вказує майбутню дату для прогнозування, а програма на основі введених даних про фактори й результати вимірювань, передбачає і відображає можливий результат спортсмена. Також є можливість введення щоденника тренувальних програм із зазначенням кількості повторень і часу виконання, є можливість фіксувати дані про тренування з метою відслідковування прогресу і коригування плану занять залежно від результатів.

Для веб-застосунку, спрямованого на аналіз тренувальних факторів і прогнозування спортивних результатів, обрано клієнт-серверну архітектуру. Клієнтську частину реалізовано за допомогою фреймворку Angular [5], який спеціалізується на створенні односторінкових додатків (SPA). Серверну частину реалізовано з використанням фреймворку NestJS [6], призначеного для розробки застосунків на платформі Node.js. Вибір цих фреймворків зумовлений їхньою схожістю і спільними характеристиками, зокрема компонентною архітектурою для організації та модульності коду, а також використанням TypeScript, що дає можливість виявляти помилки на ранніх етапах розробки. Поєднання Angular і NestJS забезпечує комплексне рішення для створення сучасного, масштабованого і надійного веб-застосунку – від розробки інтерфейсу користувача до реалізації серверної логіки [7]. Системою керування базами даних обрано PostgreSQL [8]. Взаємодія між PostgreSQL і NestJS здійснюється через бібліотеку TypeORM [9], яка базується на технології об'єктно-реляційного відображення.

Висновки. Розроблений веб-застосунок сприятиме більш швидкому досягненню бажаних спортивних результатів, допомагаючи виявляти найбільш і найменш впливові фактори – як внутрішні (пов'язані з самим тренуванням), так і зовнішні. Це дасть змогу спортсменам і тренерам коригувати стратегії тренувального процесу, адаптувати їх під індивідуальні потреби.

Перелік посилань:

1. Старостенко І. А., Деменко М.М. Сучасне бачення генетики у спорті. *Світ наукових досліджень* : матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції, м. Тернопіль, Україна, м. Переворськ, Польща, 16–17 березня 2023 р. Тернопіль : ФОП Шпак В.Б., 2023. Вип. 17. С. 210–211.

2. Home Fitness Coach: FitCoach: веб-сайт. URL: <https://apps.apple.com/ua/app/home-fitness-coach-fitcoach/id1438092960?l=en> (дата звернення: 26.02.2025).

3. Fitness buddy: веб-сайт. URL: <https://fitnessbuddy.com/> (дата звернення: 26.02.2025).

4. Strava: веб-сайт. URL: <https://www.strava.com/?hl=en> (дата звернення: 26.02.2025).

5. Angular: веб-сайт. URL: <https://angular.io/> (дата звернення: 26.02.2025).

6. NestJS: веб-сайт. URL: <https://docs.nestjs.com/> (дата звернення: 26.02.2025).

7. Build a project using Angular and NestJS. URL: <https://blog.logrocket.com/build-project-using-angular-nestjs/> (дата звернення: 26.02.2025).

8. PostgreSQL : Documentation: веб-сайт. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 26.02.2025).

9. TypeORM: веб-сайт. URL: <https://typeorm.io/> (дата звернення: 26.02.2025).

¹ Магістрант 1 курсу Чуйко Д.С.

¹ Доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=g3-qVSgAAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ОПОВІЩЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ПРО ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ, РАДІАЦІЙНУ ТА ХІМІЧНУ НЕБЕЗПЕКУ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасному світі люди все частіше стикаються з різними хімічними та радіаційними загрозами. Зростання промислових викидів, забруднення повітря вихлопними газами автомобілів, техногенні катастрофи – все це неминуче погіршує екологічну ситуацію. У результаті страждає здоров'я мільйонів людей, особливо представників уразливих груп: дітей, літніх людей, вагітних жінок, а також тих, хто має хронічні захворювання дихальної та серцево-судинної систем. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щорічно понад 7 мільйонів смертей трапляється тільки через забруднення повітря [1], вплив радіації відстежити набагато складніше. У таких умовах своєчасне оповіщення про можливі хімічні та радіаційні загрози з кожним роком стає все актуальнішим. Своєчасне попередження дає змогу людям вживати запобіжних заходів: обмежувати перебування на відкритому повітрі, використовувати захисні маски та респіратори, зачиняти вікна та двері, а в екстрених ситуаціях – евакуюватися із зони ризику. Що швидше людина отримає достовірну інформацію про загрозу, то більше в неї шансів зберегти здоров'я й уникнути серйозних наслідків.

Виділення невирішеного раніше завдання в рамках цієї проблеми. На сьогодні існує безліч сайтів і мобільних застосунків, що дають змогу відстежувати якість повітря, рівень концентрації різних забруднювачів і радіаційний фон. Однак, незважаючи на широкий вибір таких рішень, жодне з них не здатне повною мірою вирішити проблему інформування населення. Одним із ключових недоліків є відсутність персоналізованого підходу. Наявні сервіси не враховують індивідуальних особливостей користувачів, як-от наявність хронічних захворювань, перенесені хвороби або підвищену чутливість до певних видів забруднення. Крім того, більшість подібних рішень зосереджені лише на одному виді загрози – або на забрудненні повітря, або на радіаційному фоні. У результаті користувачам доводиться звертатися одразу до кількох джерел, щоб отримати всю необхідну інформацію. Таким чином, наявні сервіси, незважаючи на їхню корисність, не вирішують завдання комплексного та персоналізованого інформування населення.

Формулювання мети. Основною метою є реалізація мобільного застосунку, який вирішуватиме проблему комплексного та персоналізованого інформування населення, а також надаватиме повні дані про забруднювачі та радіаційний фон.

Основна частина. в якості платформи для застосунку було обрано мобільні пристрої на операційних системах Android і iOS, оскільки вони надають можливість швидко здійснювати інформування про перевищення норм будь-якого з показників завдяки push-повідомленням.

Для реалізації мобільного застосунку були використані фреймворк для кросплатформної розробки Flutter [2] і мову програмування Dart. Цей фреймворк дає змогу легко інтегрувати в застосунок Google карти, які використовуються для відображення теплової карти забруднення повітря, і різні сервіси платформи Firebase [3], як система автентифікації (Firebase Authentication) і віддалена база даних (Cloud Firestore).

Як джерело даних про забруднення повітря застосунок використовує Google Maps Air Quality API [4]. Він надає безліч даних про стан забруднення повітря для певної геолокації, а саме:

- поточний стан;
- погодинна історія (до 30 днів);
- погодинний прогноз (до 96 годин);
- плитки теплової карти з різними індексами та забруднювачами.

Ці дані дають змогу надати користувачеві повну картину про стан забруднення повітря в його місцезнаходженні або будь-якій геолокації, яка його цікавить.

Крім цього, у застосунку використовуються Geocoding API, який надає географічні координати для текстових адрес і текстові адреси для географічних координат, і Autocomplete API, який повертає прогнози місць у відповідь на запит із текстом для пошуку та географічними межами, що контролюють сферу пошуку (використовується під час пошуку населених пунктів).

В якості джерела даних про радіаційний фон використовується SaveEcoBot API [5], який надає перелік останніх показників зі станцій і постів моніторингу радіаційного фону в Україні.

У застосунку реалізовано опитувальник, у якому користувач може вибрати, до яких груп ризику він може себе віднести. Відповідно до результатів опитування в застосунку встановлюються межі для кожного забруднювача, у разі перевищення яких користувач буде проінформований за допомогою push-повідомлення. Ці дані зберігаються локально в JSON форматі та віддалено в хмарній базі даних, якщо користувач створив акаунт.

Застосунок працює у фоновому режимі та раз на 15 хвилин перевіряє концентрацію забруднювачів у місці розташування користувача, що забезпечує оперативне інформування про перевищення концентрації одного або кількох забруднювачів, що дасть змогу швидко вжити заходів щодо забезпечення безпеки для здоров'я.

Для кожної з груп ризику наводяться рекомендації для гарантування безпеки їхньому здоров'ю за різних рівнів забруднення повітря.

Висновки. у результаті виконаної роботи було створено комплексний і персоналізований інформатор, що забезпечує своєчасне оповіщення населення про хімічну та радіаційну небезпеку. Завдяки цьому додатку користувач отримує актуальні дані про концентрацію забруднювачів у своєму місці перебування або в обраній локації, а також може переглядати історичні показники та прогнози. Це дає змогу заздалегідь вжити необхідних заходів для збереження здоров'я та уникнення потенційних загроз. Окрім цього, додаток дозволяє стежити за поточним рівнем радіаційного фону, що особливо важливо у разі техногенних аварій або надзвичайних ситуацій. Завдяки оперативній системі сповіщень користувач миттєво дізнається про підвищення рівня хімічного чи радіаційного забруднення в зоні свого перебування, що дає йому змогу своєчасно подбати про власну безпеку та вжити необхідних заходів для захисту здоров'я.

Перелік посилань:

1. World Health Organization (WHO). (2021). New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution. URL: <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution> (дата звернення 28.02.2025).
2. Flutter Docs. URL: <https://docs.flutter.dev/> (дата звернення 28.02.2025).
3. Firebase overview. URL: <https://firebase.google.com/docs> (дата звернення 28.02.2025).
4. Air Quality API overview. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/air-quality/overview> (дата звернення 28.02.2025).
5. SaveEcoBot API overview URL: <https://docs.saveecobot.com/docs/ukraine-radiation-api-ukrainian/> (дата звернення 28.02.2025).

¹ MS's programme 2nd year Savchuk V.V.

¹ Assoc.prof., cand.eng.sc. Shapovalova S.I.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=biglE98AAAAJ&hl=en>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

TESTING A WEB SERVER LOAD BALANCER

Statement of the problem and its relevance. Various tools are available for handling large-scale requests in distributed enterprise systems. However, they often lack adaptability to fluctuating workloads, efficiency in critical scenarios, and responsiveness. Common balancing strategies primarily aim to distribute traffic evenly, but this approach may not suffice when dealing with dynamic loads, heterogeneous resources, or rapid failure recovery. A significant challenge arises when selecting appropriate load balancing solutions, as it frequently leads to the issue of testing their performance and determining suitable testing methods. Existing solutions often fail to handle sudden spikes in requests effectively, do not optimize resource utilization, and lack high fault tolerance. This creates difficulties in ensuring stable corporate system operations, particularly during peak loads, where even slight delays can lead to reduced productivity and degraded service quality. Therefore, it is essential to analyze and test load balancing approaches, identifying key effectiveness factors under varying conditions.

Analysis of the latest research. Modern approaches to processing massive requests in distributed enterprise systems combine load balancing, cloud computing, web servers, caching, microservice architecture, and distributed databases. Load balancing distributes requests evenly among servers, ensuring stability during peak loads. Cloud providers use virtual resources to optimize performance [1]. Load balancers include hardware (HLD) and software solutions such as LBaaS, NLB, ALB, CLB, ELB, and HAProxy. NLB works at the transport level, balancing TCP traffic, while ALB takes into account the content of messages to optimize HTTP/HTTPS traffic [2]. NGINX is used as a web server and reverse proxy. Its Round Robin and Least Connections algorithms provide efficient request distribution, and Least Response Time minimizes latency [3]. HAProxy is a high-bandwidth balancer that supports URL hashing and Round Robin. Balancers receive requests, determine the appropriate server, and pass them on for processing, critically affecting performance [4–6]. Microservice architecture improves request management, and caching (Redis, Memcached) reduces the load on databases. Distributed databases (MongoDB, Cassandra) provide fast access to data, and machine learning algorithms increase the efficiency of transactions. HAProxy offers high performance and flexibility, while NGINX combines balancing and web server functions. The choice depends on the architecture and the expected load [7].

Goal formulation. The goal of the research is to develop and test an architectural solution for load balancing in distributed corporate systems to improve performance, scalability, and minimize delays. To do this, it is necessary to identify tools and software for testing load balancing under variable server load, analyze balancing methods in HAProxy and NGINX, define criteria for evaluating their effectiveness, and develop an architecture based on NGINX. In addition, it is necessary to create a test environment for comparing different balancers, conduct load testing, and analyze the results to evaluate the effectiveness of the proposed approach.

Main part. Handling large-scale user requests in distributed corporate systems is a crucial task that demands high-performance solutions to ensure rapid system response, scalability, and fault tolerance. The proposed method leverages modern technologies, including load balancing and microservice architecture.

This architecture incorporates two application servers built with FastAPI, each operating independently and processing HTTP requests from clients via HAProxy. HAProxy plays a central

role in managing incoming traffic by utilizing load balancing strategies such as Round Robin or Least Connections. This approach prevents excessive load on individual servers and ensures an even distribution of requests.

Fault tolerance mechanisms are also integrated into the system. If one of the servers fails, HAProxy (Figure 1) automatically reroutes traffic to the remaining operational servers, minimizing downtime and maintaining uninterrupted application functionality. The HAProxy configuration includes detailed settings for each backend server, specifying their IP addresses, ports, balancing algorithm, and health check rules.

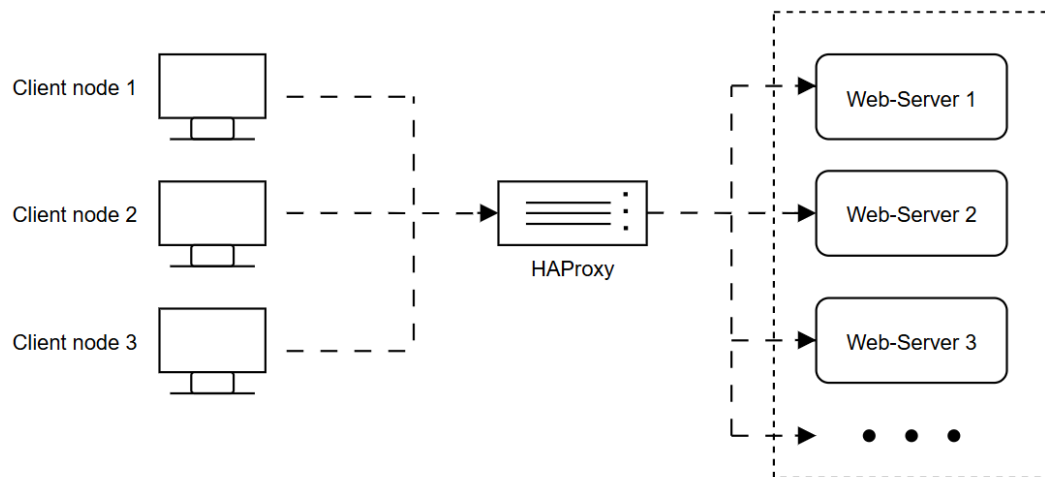


Figure 1 – Load balancer based on HAProxy

NGINX and HAProxy were selected as load balancing solutions due to their high performance and flexible configuration capabilities. The load balancer evenly distributes incoming requests between two servers, preventing overload on individual nodes and enhancing the system's resilience under high loads.

An experiment utilizing the NGINX load balancer confirmed the system's efficiency in distributing requests between two backend servers. Load testing, conducted with the wrk benchmarking tool using four threads and a hundred simultaneous connections over ten seconds, produced the following results.

The average request processing latency was 26.45 ms, with a standard deviation of 20.62 ms and a peak value of 84.53 ms. These metrics suggest a moderate level of system stability, as latency for the majority of requests remained within an acceptable range.

The request processing rate reached 0.95 thousand requests per second per thread, with a standard deviation of 93.03. The maximum throughput observed was 1.26 thousand requests per second. Over the course of the experiment, a total of 38,033 requests were successfully processed, transferring 7.36 MB of data.

The final system performance, measured in requests per second, was 3799.78 requests/second, with an average data transfer rate of 753.13 KB/s.

These results confirm that NGINX effectively manages load balancing, ensuring an even request distribution, stable performance, and minimal delays. The system is well-suited for handling high-traffic web applications and demonstrates sufficient scalability.

An experiment conducted with the HAProxy load balancer demonstrated that the average request processing latency was 21.84 ms, which is lower than that observed with NGINX. The standard deviation was 4.65 ms, with a maximum delay of 71.12 ms. Notably, 82.36 % of requests were processed within the standard deviation range, indicating a high level of system stability.

The request processing rate per thread reached 1.15 thousand requests per second, with a deviation of 123.76. The peak processing speed recorded was 1.42 thousand requests per second. Throughout the experiment, a total of 45,792 requests were successfully handled, transferring 7.47 MB of data.

The overall system performance, measured in requests per second, was 4576.22, surpassing the results obtained with NGINX. The average data transfer rate was recorded at 764.23 KB/s.

A comparison table (Table 1) below presents the experimental results for both NGINX and HAProxy as load balancing solutions.

Table 1 – Table of results with comparisons

Indicator	NGINX	HAProxy	Difference, %
Average delay (Latency), ms	26.45	21.84	17,42
Standard deviation, ms	20.62	21.84	17,42
Maximum delay, ms	84.53	71.12	15,88
Stream requests / Sec (Req/Sec)	0.95	1.15	21,05
Total number of requests	38,033	45,792	20,39
Requests per second	3,799.78	4,576.22	20,43
Transmission speed, Kb/s	753.13	764.23	1,47

HAProxy outperformed in most key metrics, showing a 17.42 % reduction in average latency, a 77.44 % increase in stability, and over a 20 % rise in the total number of processed requests. This suggests more effective load balancing under the given test conditions. However, NGINX remains a strong contender, particularly due to its adaptability, extensive ecosystem, built-in caching, and optimization for serving static content.

Conclusions. The issue of handling mass user requests in distributed systems has been examined, and an efficient solution has been developed. Tools and software for testing load balancing have been identified. Testing was conducted under specific load conditions, and the results were analyzed. The evaluation of NGINX and HAProxy revealed that NGINX, functioning both as a web server and a balancer, is effective for static applications but less adaptable to dynamic workloads. In contrast, HAProxy delivers high performance, supports advanced balancing algorithms, and is well-suited for handling uneven loads. NGINX is a convenient choice for general-purpose projects, whereas HAProxy is optimal for high-load systems. The final choice depends on the required performance level and the flexibility of the balancing approach.

References:

1. Sambit K.M., Bibhudatta S., Priti P.P. Computer and information sciences. Journal of king saud university. 2020. P. 29.
2. Hemanth G. Optimizing transactional integrity with AI in distributed database systems. International journal of advanced engineering technologies and innovations. 2024. Vol. 1. P. 29.
3. Chaitanya K.R. Security design patterns in distributed microservice architecture. International journal of computer science and information security. 2020. P. 4.
4. Einollah J.G., Amir M.R., Nooruldeen N.Q. Load-balancing algorithms in cloud computing: a survey. Journal of network and computer applications. 2017. P. 71.
5. Ramirez N. Load Balancing with HAProxy: Open-source technology for better scalability, redundancy and availability in your IT infrastructure. Ohio : Independently published, 2016. 201 p.
6. Ruoyu L., Yunchun L., Wei L. An integrated load-balancing scheduling algorithm for nginx-based web application clusters. Purpose-led publishing. 2018. P.
7. Load balancing in cloud computing / K. Shivangi et al. Proceedings of the international conference on cognitive and intelligent computing. Australia, 2022. P. 601–608.

¹ Postgraduate 2nd year Yuvzhenko D.I.

^{1,2} Prof., doc.eng.sc. Putrenko V.V.

<https://scholar.google.com/citations?user=pMRIfIEAAAAJ&hl=uk>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

² American University Kyiv

MULTIMODAL RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION: ENHANCING AI-DRIVEN INFORMATION SYSTEMS

Introduction. The rapid evolution of artificial intelligence (AI) has led to significant advancements in information retrieval and content generation. Retrieval-Augmented Generation (RAG) [1] is a powerful approach that combines real-time data retrieval with generative models, ensuring accuracy and reducing hallucinations. This paper explores the importance of multimodal RAG systems, which integrate multiple data formats – text, images, tables – to enhance retrieval accuracy and content synthesis. Based on a developed prototype from prior research, this study outlines the system’s architecture, best practices for implementation, and future research directions. The proposed solution demonstrates the effectiveness of multimodal embeddings and vector databases in improving real-time AI-driven decision-making across various domains, including energy management, healthcare, finance, and scientific research.

Problem Statement and Relevance. Artificial intelligence (AI) is reshaping industries by automating information retrieval, knowledge discovery, and content generation. However, traditional generative AI models struggle with accuracy, leading to the issue of hallucinations—fabricating incorrect or misleading information. Moreover, retrieving the most relevant and contextually accurate information from vast and dynamic knowledge bases remains an open challenge [2]. These challenges are particularly pressing in domains such as healthcare, finance, scientific research, and industrial automation, where decision-making requires up-to-date and precise data.

Gap in Existing Research. Most current RAG implementations focus exclusively on text-based retrieval, neglecting multimodal data sources such as images, tables, and structured datasets [3]. Furthermore, existing solutions lack efficient mechanisms for dynamic context selection, scalable retrieval, and real-time response generation in high-load environments. This research addresses these limitations by introducing a multimodal RAG system that extends traditional architectures by incorporating diverse data modalities.

Research Objectives. The objective of this study is to develop and evaluate a multimodal RAG system that improves retrieval accuracy and scalability. The specific goals include:

1. Enhancing retrieval efficiency by integrating multimodal embeddings into vector databases.
2. Improving context selection for LLM-generated responses.
3. Implementing a re-ranking mechanism and investigating how much this can improve the system’s accuracy [4].

Challenges Addressed by RAG Systems. The integration of retrieval and generation in AI systems resolves several key challenges:

1. **Information Overload and Access to Real-Time Knowledge.** Traditional information retrieval systems struggle with the ever-growing volume of structured and unstructured data. RAG dynamically retrieves domain-specific knowledge, ensuring decision-makers have access to the most relevant and up-to-date information [3].

2. **Reducing Hallucinations in AI-Generated Content.** LLMs can generate misleading or incorrect information. RAG mitigates this by grounding responses in retrieved documents, increasing factual consistency and reducing errors.

3. **Enhancing Contextual Understanding.** Multimodal RAG systems integrate multiple data sources to improve AI comprehension, making them valuable in complex decision-making environments.

Proposed Solution: Multimodal RAG System Architecture. The proposed Multimodal RAG System is designed to integrate real-time retrieval with multimodal data processing, ensuring that retrieved information remains relevant and accurate. The architecture consists of the following components:

- User Query Processor: Accepts text, images, or structured data and converts them into query embeddings.
- Vector Database (ChromaDB, FAISS, or Pinecone): Stores embeddings for documents, images, and structured data.
- Retriever Module: Uses approximate nearest neighbor (ANN) search to fetch the most relevant context from the vector database.
- Ranking & Filtering Module: Re-ranks retrieved documents based on semantic relevance and query intent.
- LLM Integration Layer: Injects retrieved context into a prompt and generates a response.
- Response Refinement Module: Ensures output coherence and factual consistency.

Results and Discussion. The proposed Multimodal RAG System demonstrated significant improvements in retrieval accuracy, response relevance, and factual consistency across multiple domains. The key advancements achieved through this approach are as follows:

Elimination of Hallucinations through Verified Context Integration. One of the major challenges in generative AI models is their tendency to hallucinate – generating plausible yet incorrect information. Our approach effectively eliminated this issue by providing additional context retrieved from verified and authoritative data sources. By grounding the large language model (LLM) responses in dynamically retrieved, domain-specific documents, the system ensured fact-based output generation, significantly enhancing reliability.

Enhanced Relevance with Re-Ranking Mechanism. The incorporation of an advanced re-ranking system significantly improved the relevance and contextual precision of retrieved information. In comparison to systems that rely solely on basic similarity search, our re-ranking approach allowed the system to prioritize more contextually appropriate and high-confidence results.

Access to Real-Time, Up-to-Date Information via Vector Databases. Unlike traditional LLMs that are trained on static datasets and cannot access recent developments, the integration of a vector database (e.g., ChromaDB, FAISS, Pinecone) enabled real-time access to updated information. This architecture ensured that responses remained current and aligned with the latest knowledge, whereas standard LLMs, lacking access to dynamic data, often provided outdated or incomplete information.

Conclusion. Multimodal Retrieval-Augmented Generation (RAG) represents a transformational advancement in AI-driven information retrieval. By integrating diverse data formats, leveraging scalable vector search, and minimizing hallucinations, RAG enables more precise, context-aware, and adaptable AI applications across multiple industries.

References:

1. Lewis P., Perez E., Piktus A., Petroni F., Karpukhin V., Küttler H., & Riedel S. (2021). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 34. Available at: <https://arxiv.org/abs/2005.11401>.
2. Johnson J., Douze M., & Jégou H. (2019). Billion-scale similarity search with GPUs. *IEEE Transactions on Big Data*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1702.08734>.
3. Shuster K., Smith E. M., & Weston J. (2021). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks: Reducing Hallucinations. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*. Available at: <https://arxiv.org/abs/2112.08726>.
4. MacAvaney S., Yates A., Cohan A., & Goharian N. (2019). Contextualized Re-Ranking for Document Retrieval. *Proceedings of the 42nd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR)*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1904.08375>.

¹ Аспірант 2 курсу Кокідько Б.С.

¹ Проф., д.т.н. Шушура О.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=beUGko0AAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ ГРАФОВОЇ БАЗИ ДАНИХ

Постановка проблеми та її актуальність. Графові бази даних вже є досить знайомим інструментом для моделювання складних зв'язків між даними, але графові моделі за замовчуванням не здатні ефективно відображати невизначеність або повноту інформації. У реальному світі відносини між сутностями не мають чітку бінарну природу, вони часто характеризуються високим ступенем зв'язності або впевненості. Шляхом розширення класичних графових моделей за допомогою інтеграції нечіткої логіки розкривається основна концепція нечітких графових баз даних. Бази даних з нечіткими графами дозволяють детальніше та точніше моделювати складні соціальні мережі, системні рекомендації, розпізнавання образів та інші сфери, де рівень надійності або зв'язаності між об'єктами критично зростає. Актуальність такої системи зумовлена зростаючою потребою у більш адаптивних і гнучких моделях даних для прийняття рішень в умовах невизначеності.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження у сфері нечітких графових баз даних демонструють широкий спектр підходів та методів, спрямованих на покращення обробки нечіткої інформації у графових структурах. У роботі Lui G. [1] було представлено модель нечіткої графової бази даних для управління великими наборами неструктурованих даних, де використано нечітку логіку для ефективного зберігання та обробки невизначеностей у графових структурах. У дослідженні вдалося підвищити точність пошуку зв'язків між об'єктами, проте було зазначено, що продуктивність системи може бути покращена шляхом оптимізації алгоритмів обробки запитів. Дослідження Zhang F. [2] зосереджується на використанні нечітких графів для аналізу великих даних у медичній сфері. Вони застосували методологію нечіткої кластеризації для організації даних пацієнтів, що допомогло виявити приховані закономірності та підвищити ефективність прийняття рішень у системах підтримки діагностичних рішень. Хоча результати показали покращену точність прогнозування, автори зробили акцент на необхідності додаткових досліджень для оптимізації взаємодії з реальними медичними інформаційними системами. Дослідження Ren S. [3] зосередило увагу на використанні графових баз даних для простеження якості продукції в холодному ланцюгу постачання. Вони застосували Neo4j та нечіткі методи для забезпечення гнучкого та адаптивного аналізу даних, що є важливим для нечітких графових баз даних у логістичних системах. Розробкою системи нечітких графових баз даних для обробки складних геопросторових даних зайнялись Son C. та Kim J. [4]. Вони запропонували механізм нечіткого зіставлення геолокаційних точок, що допомогло в розпізнаванні схожих об'єктів у великомасштабних картографічних даних. Водночас, зазначається, що система потребує оптимізації для зниження затримки обробки великих обсягів даних.

Загалом сфера активно розвивається, від кластеризації даних до прийняття рішень та захисту інформації. Проте питання масштабованості та продуктивності при великих обсягах даних у таких системах все ще є відкритим. Тому зосередження на оптимізації обчислень та інтеграції нових методів машинного навчання для покращення продуктивності має сенс в контексті активного дослідження.

Формулювання мети. Метою цього дослідження є систематизація процесу створення нечіткої графової бази даних та деталізація методології впровадження нечіткої логіки в структуру

графової моделі. Дослідження має на меті представити комплексний підхід до побудови нечітких графових баз даних, починаючи від підготовки вхідних даних до реалізації нечітких запитів та операцій та їх застосувань в контексті графових обчислень.

Основна частина. Процес створення нечіткої графової бази даних складається з чотирьох ключових етапів, які забезпечують повний цикл від підготовки даних до реалізації нечітких обчислень.

Структурування даних та формалізація. Перший етап передбачає визначення та моделювання структури даних для нечіткої графової бази. На відміну від традиційних графових баз даних, тут необхідно розширити модель для включення нечітких ваг та властивостей. Доцільно створити уніфіковану схему вузлів (nodes) та ребер (edges), яка дозволить зберігати як чіткі, так і нечіткі значення. Кожен вузол повинен мати унікальний ідентифікатор, тип та набір властивостей. Ребра, окрім стандартних параметрів як-от тип зв'язку, напрямок, мають включати нечіткі значення – числа в діапазоні $[0,1]$, що відображають ступінь впевненості або силу зв'язку.

Для представлення даних, сумісних з графовою СУБД, необхідно розробити схему яка буде включати типи вузлів та ребер та їх властивості, обмеження та правила валідації, а також, функції належності для нечітких атрибутів. Для уніфікації вхідних даних, як-от дані з датасетів чи дані, отримані через HTTP-запити, всі дані приводяться до формату JSON. JSON (JavaScript Object Notation) – це текстовий формат даних, який легко читається людиною та парситься комп'ютером. Приведення даних до формату JSON залежить від вихідного формату даних. За допомогою утиліт для конвертації, можливо конвертувати з csv, excel, xml, txt. Якщо дані надходять періодично або з декількох джерел, можливо створити скрипт або pipeline, який автоматично виконує ETL(extract, transform, load) операції та зберігає результат як JSON.

Отже формально нечітких граф можна представити як $G = (V, E, \mu_V, \mu_E)$, де V – множина вузлів, E – множина ребер, $\mu_V: V \rightarrow [0,1]$ – функція належності вузлів, $\mu_E: E \rightarrow [0,1]$ – функція належності ребер. Кожен вузол і ребро характеризується не лише своїми властивостями, але й ступенем належності графу. Для нечіткого графу вводяться функції: $\alpha: V * A_v \rightarrow [0,1]$ та $\beta: E * A_E \rightarrow [0,1]$, де A_v та A_E – множина атрибутів для вузлів та ребер відповідно, α та β визначають ступінь належності атрибута конкретному вузлу чи ребру.

Інтеграція з графовою СУБД. Другий етап передбачає вибір та налаштування системи управління базами даних, що підтримує графову модель. Найпопулярнішими варіантами є Neo4j, ArangoDB, OrientDB та JanusGraph. Для повноцінної підтримки нечіткої логіки може знадобитись розширення базової функціональності СУБД через створення користувацьких функцій або процедур. Наприклад, у Neo4j можна використовувати механізм користувацьких функцій (UDF) для імплементації нечітких операторів AND, OR та NOT [5]. Для реалізації нечіткої графової моделі необхідно розширити функціональність існуючих графових СУБД. Зокрема, для Neo4j можна розробити процедури для нечітких операторів, що базуються на основних t-нормах та t-конормах. Наприклад нечітких оператор AND (t-норма мінімуму): $T_{\min}(a, b) = \min(a, b)$ або нечіткий оператор OR (t-конорма максимуму): $S_{\max}(a, b) = \max(a, b)$ або нечітких оператор NOT: $N(a) = 1 - a$. Для більш складних випадків можуть використовуватись альтернативні t-норми та t-конорми. Наприклад добуток: $T_{prod}(a, b) = a * b$, обмежена сума (bounded sum): $S_{bsum}(a, b) = \min(1, a + b)$.

Механізми обчислення нечітких значень. Третій етап фокусується на методах визначення нечітких значень для зв'язків та властивостей. Тут можна виділити три основні підходи: експертна оцінка, алгоритмічні методи, методи машинного навчання. Експертна оцінка передбачає залучення фахівців у предметній області для безпосереднього визначення нечітких значень. Цей підхід є найбільш точним для спеціалізованих доменів. Алгоритмічні методи базуються на математичних моделях та включають від методів нечіткої кластеризації (Fuzzy C-means) до статистичних методів оцінки невизначеності. Наприклад, для методу на основі відстаней, який визначає ступінь належності до

еталонного значення: $\mu_A(x) = \frac{1}{1+d(x, x_0)^p}$, де $d(x, x_0)$ – відстань між поточним значенням x та еталонним значенням x_0 , а p – параметр, що визначає форму функції належності. Методи машинного навчання дозволяють автоматизувати процес визначення нечітких значень на основі наявних даних за допомогою нейронних мереж з спеціальними функціями активації чи трансформерних моделей для семантичного аналізу контексту або гібридних моделей, що поєднують теорію нечітких множин та глибокого навчання. Наприклад, для текстових даних можна використати функцію належності на основі косинусної схожості векторних представлень:

$$\mu(text_1, text_2) = \frac{\vec{v}(text_1) * \vec{v}(text_2)}{\|\vec{v}(text_1)\| * \|\vec{v}(text_2)\|},$$

де $\vec{v}(text)$ – векторне представлення тексту, отримане за допомогою моделі вбудовувань(embedding), наприклад OpenAI embeddings [6].

Реалізація нечітких запитів. Четвертий етап передбачає розробку механізмів для виконання запитів з урахуванням нечіткої логіки. Зокрема, для пошуку найкоротших шляхів у нечіткому графі можна використати модифікований алгоритм Дейкстри, де вага ребра $w(e)$ – обчислюється через функцію належності: $w(e) = 1 - \mu_E(e)$. Для оцінки досяжності між вузлами s та t можна використати функцію: $Reach(s, t) = \max_p \{ \min_e \mu_E(e) \}$, де $p \in Paths(s, t)$, $e \in p$ та $Paths(s, t)$ – множина всіх можливих шляхів між вузлами s та t . Для оптимізації таких запитів необхідно розробити індексну структуру, наприклад нечіткий R-індекс можна визначити як: $FR(v, \alpha) = \{u \in V \mid Reach(u, v) \geq \alpha\}$, що дозволить швидше знаходити всі вузли, досяжні з вузла v з мінімальним ступенем впевненості α .

Висновки. Нечіткі графові бази даних представляють значний крок уперед у моделюванні складних взаємозв'язків з урахуванням невизначеності. Математичний апарат нечітких множин та графів надає потужні інструменти для формалізації та обробки неточної або неповної інформації в контексті графових моделей. Подальші дослідження у цій області можуть зосереджуватися на оптимізації алгоритмів нечіткого пошуку, інтеграції з сучасними методами машинного навчання та розробці спеціалізованих мовних конструкцій для формулювання нечітких запитів до графових баз даних.

Перелік посилань:

1. Liu G., Li L., Liu G., Wu X. Social group query based on multi-fuzzy-constrained strong simulation // ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data. – 2022. – С. 16–27. DOI: 10.1145/3481640.
2. Li L., Zhang F. Multi-Fuzzy-Objective Graph Pattern Matching with Big Graph Data // Journal of Database Management. – 2019. – Vol. 30, Issue 4. – DOI: 10.4018/JDM.2019100102.
3. Ren S., Ma Z., Wang M. Product Quality Traceability of Cold Chain Logistics Based on Multimodal Knowledge Graph // Proceedings of the 20th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). – Guangzhou, China, 2024. – С. 1–6. DOI: 10.1109/ICNC-FSKD64080.2024.10702298.
4. Son C., Kim J., Kim Y. Developing scenario-based technology roadmap in the big data era: an utilisation of fuzzy cognitive map and text mining techniques // Technology Analysis & Strategic Management. – 2019. – Vol. 32. – С. 1–20. – DOI: 10.1080/09537325.2019.1654091.
5. Ponsoni Costa B., del Val Cura L. An Neo4j implementation for designing fuzzy graph databases // Proceedings of the 23rd International Database Applications & Engineering Symposium (IDEAS '19). – New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. – Article 37. – С. 1–6. DOI: 10.1145/3331076.3331082.
6. Vector Embeddings [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://platform.openai.com/docs/guides/embeddings> (дата звернення: 12.02.2025).

¹ Магістрант 2 курсу Шелестюк М.О.

¹ Доц., к.т.н. Кублій Л.І.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=rXA1eMIAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕРНЕТ-ПЛАТФОРМИ ДЛЯ НАВЧАННЯ ПРОГРАМУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Постановка проблеми та її актуальність. Функціонування сучасного суспільства важко уявити без використання інформаційних технологій. У зв'язку з цим знання мов програмування і вміння професійно програмувати стає однією з найбільш запитуваних навичок. Традиційні курси з вивчення мов програмування часто є недостатньо ефективними для всіх учнів через різний рівень підготовки та індивідуальні потреби. У зв'язку з цим з'являється дедалі більше онлайн-платформ для навчання програмування на базі штучного інтелекту. У сучасних умовах штучний інтелект відіграє важливу роль у модернізації освіти, зокрема у сфері програмування, оскільки інтеграція штучного інтелекту в навчальні платформи дає можливість персоналізувати процес навчання, автоматизувати оцінювання знань і допомагає у розв'язанні складних завдань.

Аналіз останніх досліджень. Питання навчання програмування з використанням методів штучного інтелекту в останні роки стало об'єктом дослідження багатьох вітчизняних і зарубіжних науковців. Значний внесок зробили Н. В. Рашевська і С. О. Семерікова [1], які дослідили інтеграцію MLE-Moodle в системі дистанційного навчання Moodle, проаналізували, як використання штучного інтелекту і мобільних технологій може підвищити ефективність онлайн-освіти. Їхні дослідження підкреслюють важливість адаптивних освітніх середовищ, які дають можливість персоналізувати навчальний процес і підвищити рівень засвоєння матеріалу. А. М. Стрюк [2] дослідив використання навчальних об'єктів у комбінованому навчанні системного програмування. Його дослідження показують, як інтеграція різних цифрових інструментів і методів штучного інтелекту може істотно покращити процес навчання програмування, забезпечуючи здобувачам освіти можливість отримувати не лише теоретичні знання, а й практичні навички роботи з реальними завданнями. У наукових дослідженнях вказаних авторів акцент зроблено на тому, що системи дистанційного навчання надають можливість організовувати і підтримувати процес навчання за допомогою сучасних мобільних і хмарних інформаційно-комунікаційних технологій, що в свою чергу сприяє і забезпечує можливість застосовувати різні моделі навчання, зокрема комбіновану модель, яка поєднує елементи традиційного і дистанційного навчання.

Формулювання мети. Метою дослідження є аналіз особливостей використання інтернет-платформ для навчання програмування з застосуванням методів штучного інтелекту.

Основна частина. Інформаційні технології значно трансформували всі сфери людської діяльності, освіта не є винятком. Завдяки їм з'явилися нові можливості для дистанційного навчання, долаючи бар'єри, пов'язані з географічною відстанню, часом та іншими обмеженнями. Сфера освіти є однією з тих, де штучний інтелект знаходить найбільше застосування, включаючи автоматизацію створення навчальних матеріалів, фото- і відеоконтенту, що значно полегшує навчальний процес. Однією з ознак застосування штучного інтелекту в освіті є зростання використання технологій, здатних до самонавчання. Наприклад, штучний інтелект, здатний навчитися розв'язувати математичні задачі, вивчаючи книги, має значний потенціал для розвитку у сфері освіти.

У таких умовах штучний інтелект не лише змінює підходи до навчання і досліджень, а й аналізує дані про фізичну активність студента і пропонує індивідуальні рекомендації для підтримки здорового способу життя. Важливо, що ці технології можуть допомогти студентам бути більш продуктивними, зберігаючи енергію та здоров'я, що особливо актуально в умовах онлайн-навчання.

Аналіз освітніх ресурсів дистанційного навчання, показує, що існує велика кількість платформ з інтегрованим штучним інтелектом, де можна проходити дистанційні курси. Однією з них є Coursera [3], яка пропонує безкоштовні онлайн-курси від понад 300 провідних університетів і компаній по всьому світу. Платформа має більше 5800 курсів 43 мовами світу, деякі курси доступні навіть українською мовою. Також є можливість отримати сертифікати після закінчення курсу. Платформа edX [4] є спільним проєктом Гарварду і Массачусетського університету, вона пропонує більше 4000 курсів з різних дисциплін. Відкритий ресурс MIT OpenCourseWare [5] надає доступ до 2340 курсів Массачусетського технологічного інституту. Курси доступні 10 різними мовами, в них можна знайти все необхідне для самостійного навчання. Відкриті курси Open Yale Courses [6] від Єльського університету доступні без реєстрації і сертифікатів, вони дають можливість слухати лекції від провідних професорів. Платформа Harvard Extension School [7] пропонує понад 700 курсів, спрямованих на вдосконалення професійних навичок, і дає можливість отримати диплом Гарварду.

Ці платформи відкривають широкі можливості для дистанційного навчання, забезпечуючи кожному, хто бажає, знайти курс за інтересами і розпочати навчання в будь-який зручний час, без обмежень, незалежно від місця перебування.

Враховуючи поточну соціально-економічну ситуацію в Україні, а також активну інформатизацію суспільства, виникає потреба в розбудові масової якісної освіти у сфері програмування з використанням методів штучного інтелекту. Основною умовою для досягнення цього є ефективне використання дистанційного навчання і сучасних ІТ-рішень. Ефективними в цьому напрямку є платформи Coursera [3], Khan Academy [8] та Codecademy [9], які підходять для різних типів навчання.

Платформа Coursera орієнтована на тих, хто шукає академічні курси з серйозним підходом до навчання. На цьому ресурсі розміщено курси з дуже великої кількості дисциплін: від гуманітарних наук до точних і природничих. Однією з основних особливостей Coursera є можливість отримати сертифікат після закінчення курсу, що може бути використано для кар'єрного росту. Проте багато курсів платні, тому за сертифікати також необхідно платити.

Платформа Khan Academy, на відміну від Coursera, пропонує безкоштовні курси, що робить її доступною для ширшої аудиторії. Платформа зосереджена на наданні базових і середніх рівнів знань з таких галузей, як математика, природничі науки, економіка і програмування. Вона добре підходить школярам і студентам молодших курсів для опанування основ безкоштовно. Важливою перевагою Khan Academy є інтерактивні вправи після кожного уроку, які дають змогу закріпити матеріал на практиці.

Найпопулярнішою платформою є Codecademy, яка спеціалізується на навчанні програмування та веб-розробці. Вона пропонує інтерактивні курси з різних мов програмування, таких як Python, Java, JavaScript, Ruby, а також з веб-розробки, аналізу даних, машинного навчання та інших технологічних дисциплін. Платформа Codecademy пропонує безкоштовний доступ до базових курсів з програмування, що дає можливість почати навчання без фінансових витрат. Це дає студентам можливість оцінити якість курсу перед тим, як вкладати гроші в платні версії. Платформа зосереджена переважно на курсах з програмування і технологій, але не пропонує багато матеріалів з інших дисциплін, таких як гуманітарні науки, соціальні науки або бізнес. Це може бути обмеженням для студентів, які хочуть розвиватися в цих сферах.

Відповідно впровадження штучного інтелекту в освітній процес є перспективним напрямом для забезпечення якісної, індивідуалізованої освіти і збереження здоров'я

студентів, оскільки цей процес відкриває нові можливості для трансформації навчання, даючи можливість застосовувати новітні технології для досягнення високих результатів.

Ще одним значущим напрямом є адаптивні навчальні платформи [10], наприклад, Carnegie Learning і Knewton, які пропонують персоналізовані навчальні заходи й контент у реальному часі. Використання таких платформ дає можливість постійно оцінювати прогрес студентів і коригувати методи навчання для досягнення кращих результатів.

Водночас чат-боти також стали важливим інструментом підтримки студентів. Вони надають можливість отримати консультації, розв'язати організаційні питання, проводити опитування й зустрічі, що робить навчальний процес більш зручним та ефективним.

Перевага використання штучного інтелекту в навчанні програмування полягає в тому, що завдяки йому навчальні платформи можуть підлаштовувати матеріал під рівень підготовки студента, що значно підвищує ефективність навчання, оскільки кожен отримує завдання відповідної складності. Важливим є те, що завдяки використанню штучного інтелекту здобувачі освіти можуть самостійно навчатися без необхідності постійного втручання викладачів, а це робить освіту доступнішою. Крім того, Інтернет-платформи зі штучним інтелектом забезпечують можливість отримати доступ до якісної освіти будь-де і будь-коли. Вони також можуть обслуговувати велику кількість студентів одночасно, що робить їх ефективними для масового навчання.

Висновки. Штучний інтелект значно змінює підхід до навчання програмування, роблячи його більш персоналізованим, ефективним і доступним. Інтернет-платформи, які використовують штучний інтелект, допомагають студентам швидше засвоювати матеріал, отримувати миттєвий зворотний зв'язок і автоматизувати навчальний процес. Попри певні виклики та обмеження, розвиток штучного інтелекту в освітній сфері продовжується і зокрема в навчанні програмування.

Перелік посилань:

1. Рашевська Н.В., Семеріков С.О. Інтеграція MLE-Moodle в систему дистанційного навчання Moodle. *Новітні комп'ютерні технології* : матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції : Севастополь, 14–14 вересня 2012. Київ: Мінрегіон України, 2012. С. 203–208. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/106656/> (дата звернення: 23.02.2025).

2. Стрюк А.М. Використання навчальних об'єктів у комбінованому навчанні системному програмуванню. *Інноваційні технології як чинник оптимізації педагогічної теорії і практики*: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Вип. 15. Херсон: Айлант, 2012. С. 71–75. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1273/1/stryuk_herson2012.pdf (дата звернення: 23.02.2025).

3. Coursera – Free Online Courses From Top Universities: веб-сайт. URL: <https://www.coursera.org/> (дата звернення: 22.02.2025).

4. edX. URL: веб-сайт. <https://www.edx.org/> (дата звернення: 23.02.2025).

5. OpenCourseWare – Free Online Course Materials. Massachusetts Institute of Technology: веб-сайт. URL: <http://ocw.mit.edu/> (дата звернення: 22.02.2025).

6. Open Yale courses. Yale University: веб-сайт. URL: <http://oyc.yale.edu/> (дата звернення: 23.02.2025).

7. Harvard Extension School: веб-сайт. URL: <http://www.extension.harvard.edu/> (дата звернення: 21.02.2025).

8. Khan Academy. Free Online Courses, Lessons & Practice: веб-сайт. URL: <https://www.khanacademy.org/> (дата звернення: 1.03.2025).

9. Free Coding Courses Available – Master your language with lessons, quizzes, and projects designed for real-life scenarios: веб-сайт. URL: <https://www.codecademy.com/> (дата звернення: 1.03.2025).

10. Hamilton I. Artificial Intelligence In Education: Teachers' Opinions On AI In The Classroom. URL: <https://www.forbes.com/advisor/education/it-and-tech/artificial-intelligence-in-school/> (дата звернення: 23.02.2025).

¹ Магістрант 2 курсу Ющенко О.І.

¹ Доц., к.т.н. Кублій Л.І.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=rXA1eMIAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА БОТІВ ДЛЯ ВЕБ-СИМУЛЯТОРА «МОНОПОЛІЯ»

Постановка проблеми та її актуальність. В епоху цифрових технологій настільні ігри, як і інші форми розваг, продовжують еволюцію, переходячи в нову форму – у веб-симулятори. Це створює нові можливості для взаємодії гравців під час гри через Інтернет, де штучний інтелект стає ключовим елементом [1]. Гра «Монополія», популярна протягом десятиліть, потребує інтеграції традиційних механік з новими технологіями. Розв'язання питання про відсутність якісних опонентів в одиночному режимі гри стає критично важливим. Актуальність цієї теми підкреслюється необхідністю забезпечення гравців адаптивними, інтелектуальними комп'ютерними суперниками, які можуть підтримувати високий рівень конкуренції та емоційної залученості. Розробка ботів для веб-симулятора «Монополія» є складним завданням, що передбачає інтеграцію технологій штучного інтелекту, які дають можливість ботам не лише імітувати поведінку гравців-людей, але й динамічно адаптуватися до змін в ігрових умовах.

Аналіз останніх досліджень. У вивченні методів штучного інтелекту для ботів у настільних іграх можна виділити кілька підходів, кожен з яких має свої переваги й недоліки. Експертні системи є одним із найбільш відомих і зрозумілих підходів до розробки ботів для настільних ігор [1]. Вони базуються на використанні чітко визначених правил, які регулюють поведінку ботів. Наприклад, у «Монополії» бот може визначити важливість нерухомостей на основі їхньої потенційної прибутковості і вирішувати, які з активів варто купити. Цей підхід дає змогу формувати стабільний ігровий процес і швидко реагувати на зміни. Певний недолік полягає в тому, що такі системи можуть бути менш гнучкими у відповідь на нестандартні ситуації [2]. З іншого боку, штучні нейронні мережі можуть надати значні переваги для адаптації, використовуючи великий обсяг даних з минулих ігор [2]. Нейронні мережі дають можливість ботам аналізувати поведінку опонентів і коригувати свої стратегії; проте реалізація цього підходу вимагає значних ресурсів і часу на навчання. Алгоритми планування [3] забезпечують ботам можливість прогнозувати наслідки своїх дій і враховувати ймовірності поведінки опонентів, що є критично важливим для таких ігор, як «Монополія». Генетичні алгоритми [4] дають можливість навчати ботів на основі природного відбору, проте їхня реалізація є технічно складною.

Враховуючи переваги й недоліки різних методів, перевагу можна надати експертним системам, які забезпечують стабільність, швидкість реалізації і легкість у змінах правил гри. Завдяки цьому боти можуть ефективно відповідати на дії гравців, що в свою чергу веде до збалансованого ігрового процесу.

Формулювання мети. Метою дослідження є розробка ефективних комп'ютерних опонентів (ботів) для веб-симулятора «Монополія», здатних адаптувати свою поведінку до дій гравців-людей і забезпечити динамічний і захоплюючий ігровий процес.

Основна частина. У проєкті розроблено систему ботів, яка базується на методі експертних систем. Цей підхід забезпечує можливість швидко реагувати на зміни під час гри, а також адаптувати поведінку ботів залежно від дій інших гравців. Реалізація експертних систем у контексті веб-симулятора «Монополія» вимагає об'єднання кількох ключових компонентів, які забезпечують ефективність роботи ботів.

Зокрема, важливою складовою системи є алгоритм оцінки активів. Цей алгоритм дає можливість ботам аналізувати ринкову вартість активів, їхній потенційний дохід і витрати

на придбання. За його допомогою бот може застосовувати математичну модель для визначення найвигідніших для покупки нерухомостей, що стане вирішальним фактором для досягнення успіху. Наприклад, на початкових етапах гри бот може мати алгоритм, який виявляє ключові набори активів у стратегічних зонах і приймає рішення про пріоритети їхньої купівлі. Це важливо, оскільки тактика купівлі часто визначає перемогу у фіналі.

Алгоритм оцінки активів є лише частиною системи. Зібравши дані про потенційні активи, боти можуть виконувати складні економічні розрахунки, які враховують як об'єктивні (вартість, дохід), так і суб'єктивні показники (ймовірність розташування гравця на конкретній ділянці поля). Це дає можливість ботам глибше розуміти ігрову економіку і ухвалювати обґрунтовані рішення. Як зазначають Russell і Norvig [1], адаптивність у системі штучного інтелекту є критично важливим аспектом для успішної реалізації стратегій. Крім того, алгоритм прийняття рішень ґрунтується на ясній логіці механізмів ухвалення рішень [5]. Боти реалізують логіку, яка забезпечує їм можливість адаптувати свої стратегії під час гри.

Адаптивна поведінка ботів є ще одним важливим аспектом їхньої реалізації. Використовуючи механізми збору й аналізу даних, ботам вдається оцінювати результати своїх дій, а також виділяти найефективніші ходи, коригувати стратегії відповідно до зміни динаміки гри. Це включає вивчення минулих перемог і поразок, а також аналіз стратегій суперників, що призводить до вдосконалення алгоритмів і швидшого реагування на зміни.

Важливою частиною системи є вдосконалення стратегій на основі теорії ігор, що надає ботам можливість прогнозувати дії супротивників і відповідно формувати свої стратегії. Як зазначає Vineyard [5], такий підхід дає ботам можливість не лише аналізувати попередні ситуації, а й моделювати сценарії із врахуванням ймовірностей і можливих результатів, що значно підвищує ефективність їхньої гри.

Крім того, інтеграція модуля навчання на основі підкріплення, розглянута в роботах Sutton і Barto, зокрема в [2], дає можливість ботам покращувати свої стратегії на основі отриманих результатів, використовуючи дані про минулі ігри для корекції власної поведінки й вибору найкращих стратегій. Таке навчання на основі підкріплення може адаптуватися до ситуацій на полі, де кожен хід гравця і зміни в економіці гри впливають на майбутні рішення ботів. Важливо, що чим більше ботів грає, тим точніше вони розуміють тактики, які можуть привести до перемоги.

Соціальна поведінка ботів є ще одним важливим аспектом при їхній розробці. Вони можуть взаємодіяти не лише з гравцями, але й між собою в контексті асоціативних стратегій. Важливість соціальної взаємодії була відзначена дослідженнями, які вказують на діяльність ботів у груповій динаміці в штучному інтелекті. Наприклад, використання механізмів, які дають можливість ботам передбачати дії конкурентів, може покращити загальні шанси на перевагу в грі. Як зазначають Silver та інші [6], успішна гра часто базується на розумінні стану справ в ігровому полі, а не лише на індивідуальних стратегіях.

Впровадження експертних систем у ботах гри «Монополія» здійснено за допомогою платформ програмування JavaScript і Node.js. Мову програмування JavaScript було обрано за її гнучкість і простоту використання, а середовище Node.js є критично важливим для створення асинхронних програм, що забезпечує ботам можливість швидко реагувати на дії гравців.

У цьому контексті додатково використано потужний фреймворк Next.js для серверної візуалізації React-застосунків. Це дає змогу створювати веб-застосунки, які мають хорошу SEO-продуктивність – оптимізацію для пошукових систем. Використання Next.js забезпечує швидкий перехід між різними сторінками, покращуючи загальний досвід користувачів. Із Next.js можна легко впровадити таку функціональну можливість, як статична генерація, яка дає можливість попередньо візуалізувати сторінки на етапі збірки, забезпечуючи миттєвий відгук при запитах.

Для реалізації алгоритмів оцінки активів і прийняття рішень використано бібліотеки, такі як `math.js` для виконання обчислень, що суттєво спростило математичні операції.

Бібліотеки для роботи з даними, особливо ML.js, використано для впровадження нейронних мереж, які дають можливість ботам адаптуватися до динаміки гри. Також інтегровано модуль, який відповідає за керування станом гри та обробку запитів гравців у реальному часі.

Користувацький інтерфейс розроблено із врахуванням зручності та інтуїтивності. Використання фреймворків, таких як React, дає можливість швидко змінювати інтерфейс відповідно до дій користувачів, що робить гру більш інтерактивною і зручною. Завдяки браузерним технологіям, таким як WebSocket, бот може отримувати оновлення в реальному часі, зменшуючи затримку і підвищуючи загальний рівень взаємодії.

У результаті впровадження експертних систем у систему ботів створено інструмент для покращення ігрового досвіду. Боти продемонстрували гнучкість, адаптивність і здатність приймати обґрунтовані рішення в складних ігрових умовах. Ці аспекти не лише підвищують рівень конкуренції, але й забезпечують захоплюючий і динамічний ігровий процес, здатний залучати гравців усіх рівнів підготовки.

Висновки. Інтеграція ботів у веб-симулятор гри «Монополія» істотно покращила досвід користувачів, надаючи можливість грати в одиночному режимі проти комп'ютерних супротивників, які адаптуються до стилю гри людини. Розроблені боти успішно реалізують стратегії на основі визначених правил, що підвищує динамічність ігрового процесу і робить гру більш захоплюючою. Враховуючи результати аналізу різних підходів до розробки штучного інтелекту, можна констатувати, що експертні системи в поєднанні з новітніми технологіями, такими як машинне навчання в поєднанні з нейронними мережами, забезпечують значні переваги у створенні адаптивних і конкурентоспроможних ботів. Подальші дослідження можуть зосередитися на вдосконаленні алгоритмів штучного інтелекту [6], які підвищують якість ігрового процесу.

Перелік посилань:

1. Russell S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. (4th ed.). Pearson Education, 2022. 1166 p. URL: http://lib.ysu.am/disciplines_bk/efdd4d1d4c2087fe1cbe03d9ced67f34.pdf (дата звернення: 19.02.2025).
2. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. (2nd ed.). The MIT Press, 2015. XIV+338 p. URL: <https://web.stanford.edu/class/psych209/Readings/SuttonBartoIPRLBook2ndEd.pdf> (дата звернення: 22.02.2025).
3. LaValle S.M. Planning Algorithms. Cambridge University Press, 2006. XVI+1007 p. URL: <https://msl.cs.uiuc.edu/planning/bookbig.pdf> (дата звернення: 22.02.2025).
4. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Company, 1989. XIII+414 p. URL: http://www2.fiit.stuba.sk/~kvasnicka/Free%20books/Goldberg_Genetic_Algorithms_in_Search.pdf (дата звернення: 23.02.2025).
5. Vineyard C.M. Enhancing Expert System Intelligent Agents Using Game Theory. University of New Mexico, 2006. 81 p. URL: <https://scispace.com/pdf/enhancing-expert-system-intelligent-agents-using-game-theory-414z7l0chs.pdf> (дата звернення: 24.02.2025).
6. Mastering the game of Go without human knowledge / Silver D. et al. *Nature*. V. 550. 19 Oct. 2017. P. 354–371. URL: <https://ics.uci.edu/~dechter/courses/ics-295/winter-2018/papers/nature-go.pdf> (дата звернення: 20.02.2025).

¹ Аспірант 3 курсу Кардашов О.В.

¹ Проф., д.т.н. Аушева Н.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=KSRtRI4AAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІГОНІВ ТІССЕНА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВІТРОВОГО РЕЖИМУ НА ОСНОВІ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТІ ВІТРУ

Постановка проблеми та її актуальність. Вітрова енергетика є одним з основних сучасних видів відновлювальних джерел енергії. Для визначення потенціалу подальшого розвитку цієї галузі є необхідною наявність статистичних даних вітрового режиму, та доступних площ для розміщення вітроенергетичних установок на території що підпадає під аналіз.

Одним з класичних методів визначення вітрового режиму є застосування полігонів Тіссена (комірок Вороного), які конструюються на основі розподілу метеостанцій. Класичний метод визначення вітрового режиму за допомогою полігонів Тіссена полягає у тому, що вітровий режим в рамках одного полігона вважається незмінним. Взявши за основу класичний підхід, було запропоновано в рамках одного полігона вважати незмінним вітровий режим, визначений за допомогою просторового розподілу швидкості вітру, який було отримано за допомогою кореляції даних реаналізу швидкості вітру MERRA-2 за даними спостережень 70 метеостанцій.

Аналіз останніх досліджень. У дослідженні [1] наводиться застосування полігонів Тіссена для визначення вітрового режиму в рамках досліджуваної території, за яким вітровий режим в рамках одного полігону вважається незмінним. Алгоритм кореляції даних реаналізу швидкості вітру MERRA-2 за даними спостережень метеостанцій описано у дослідженні [2]. Недоліки та обмеження щодо застосування даних реаналізу в гірських районах було описано в дослідженні [3] та [4].

Формулювання мети. Метою роботи є визначення вітрового режиму на досліджуваній території шляхом розподілу її на полігони Тіссена, де вітровий режим вважався би незмінним і визначався би за допомогою просторового розподілу швидкості вітру.

Основна частина. Розподіл досліджуваної території України за полігонами Тіссена здійснюється на основі розташування метеорологічних станцій. Згідно даного способу, відбувається розподіл території на багатокутні області (полігони) за вхідними точковими даними таким чином, що будь-яка точка, що належить одному полігону, буде ближчою до точки за якою цей полігон було побудовано, ніж до будь-якої іншої точки [1]. Згідно класичного методу екстраполяції за допомогою полігонів Тіссена, для побудованої полігональної сітки, в рамках кожного полігону, вітровий режим (або будь-яка інша вимірювана метрика) вважається незмінним, і визначається за допомогою середнєзважених даних про швидкість вітру, що записані у кожному з вхідних точок.

Недоліком є те, що метеорологічні станції розташовані з нерівномірною щільністю на території України, що призводить до суттєвого зниження точності показників середнєзваженого вітрового режиму в рамках кожного полігону, оскільки відстань деяких метеостанцій між собою набагато ближча, ніж до інших сусідніх метеостанцій. Якщо за цих умов прийняти вітровий режим як незмінний в рамках двох сусідніх полігонів, побудованих за двома сусідніми вхідними точками, то це зумовить нерівномірний вплив екстрапольованих даних швидкості вітру з вхідних точок на велику площу досліджуваної території, в рамках якої можуть бути суттєві зміни реального вітрового режиму, зумовлені як поверхнею рельєфу, так і загальними трендами сезонних вітрових потоків. Підсумовуючи – за таких умов, занадто велика територія заповнюється екстрапольованими

даними, що призводитиме до занадто різких переходів середньозваженої швидкості вітру між сусідніми полігонами (рис. 1).

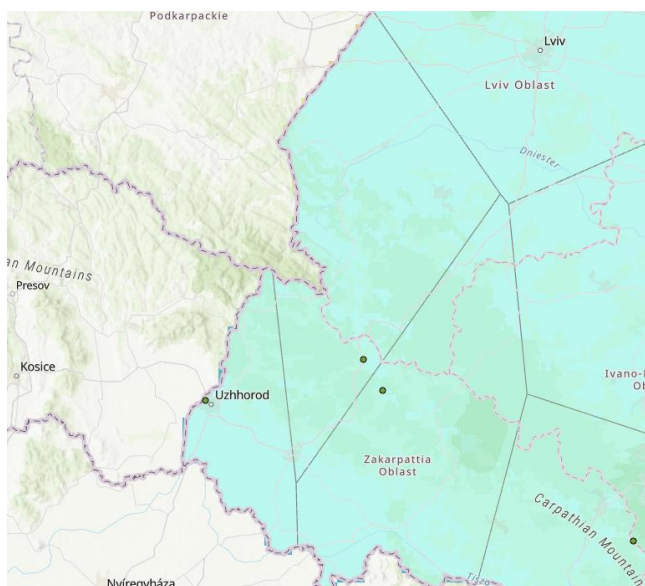


Рисунок 1 – Полігони Тіссена, побудовані за близько розташованими вхідними точками

Проблему нерівномірного розподілу вхідних даних частково може вирішити використання даних реаналізу супутникових зображень, з ресурсу NASA POWER, що дозволяють отримати рівномірну сітку вхідних точок з кроком 50 км. Але використання такого типу даних супроводжується суттєвими обмеженнями. Згідно дослідження [3], середня відносна похибка даних реаналізу становить 32,7 %, що пов'язано з трьома основними факторами. Присутня тенденція даних реаналізу для територій з низькими середньозваженими показниками швидкості вітру, обчисленими за допомогою метеостанцій, демонструє суттєве завищення швидкості вітру, відносно реальних даних, та до зниження швидкості вітру, відносно високих середньозважених показників швидкості вітру. Додатковим фактором зниження точності даних реаналізу, відносно даних метеостанцій, є непридатність даних такого типу для вимірювання швидкості вітру в гірських районах, оскільки, для таких регіонів відіграє величезну роль орієнтація гірських хребтів, що створює суттєві перепади швидкості вітру на різних сторонах хребтів. Дану проблему описано у дослідженні [4], де робляться висновки, що будь-яка інтерполяція даних з кроком точок вхідної вибірки у 50 км не є репрезентативною для гірського рельєфу.

Одним зі способів підвищення точності даних реаналізу є кореляція вибірки даних з даними метеостанцій. Алгоритм кореляції, описаний у дослідженні [2], базується на прогнозуванні навченою моделлю штучного інтелекту значень в кожній точці вибірки даних реаналізу, за допомогою співставлення початкових даних реаналізу з даними метеостанцій, знятих в один і той самий день та час, на протязі визначеного часового відрізка.

За вхідні дані було взято два датасети – дані реаналізу з ресурсу NASA POWER (533 точки), та дані спостережень з метеостанцій (68 точок). Обидва датасети містять дані за 10 років, у зимовий період 2011–2020 року, де на кожен день припадає 8 знімків швидкості вітру, з інтервалом у 3 години.

Над вхідною вибіркою даних реаналізу було проведено кореляцію даних за способом [2]. У результаті роботи алгоритму кореляції даних, було отримано зменшення середньоквадратичної похибки на 1.67. Дані результати дозволяють уникнути аномальних відхилень швидкості вітру в більшу або в меншу сторону відносно еталонних даних з метеостанцій.

Для моделювання просторового розподілу швидкості вітру на території України було застосовано метод геостатистичної інтерполяції – ординарний кригінг [5]. В результаті

було отримано растрове зображення розподілу швидкості вітру на території України, де кожному пікселю зображення, відповідає значення швидкості вітру в цій точці.

У підсумку, маючи сітку полігонів Тіссена та просторовий розподіл швидкості вітру, з окремо обчисленим значення швидкості вітру для кожного пікселю досліджуваної території (рис. 2а), було обчислено середнє арифметичне значення швидкості вітру для кожного окремого полігону Тіссена шляхом співставлення пікселів всередині полігонів зі значеннями швидкості вітру для того-ж пікселя (рис. 2b):

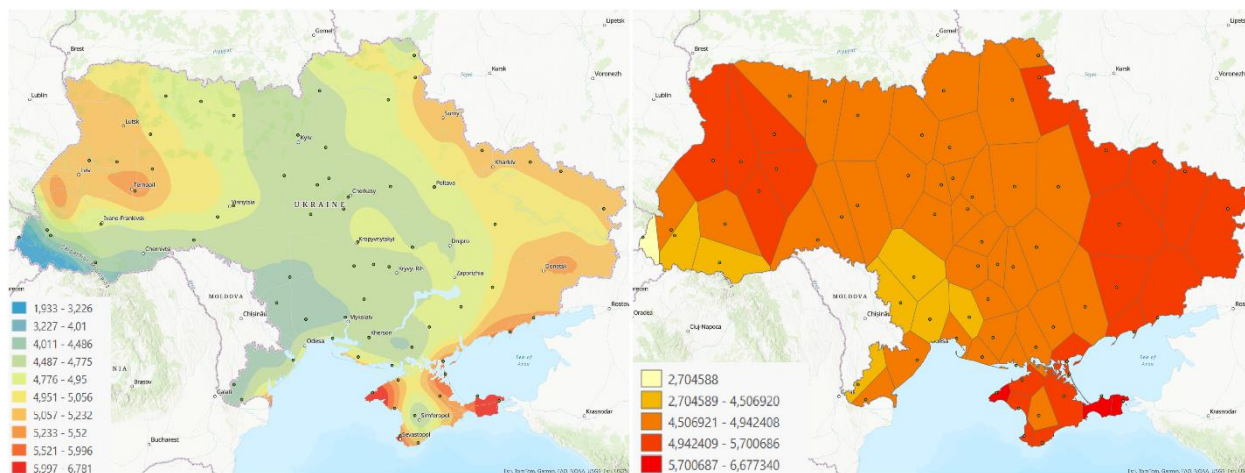


Рисунок 2 – Просторовий розподіл швидкості вітру: а – методом ординарного кригінгу; б – середніми значеннями в рамках полігонів Тіссена

Отримані дані в гірських районах Карпат та Кримських гір не є релевантними в обох випадках. На всій іншій території отримані результати моделювання швидкості вітру в рамках полігонів Тіссена відповідають даним просторового розподілу швидкості методом ординарного кригінгу.

Висновки. Застосування запропонованого методу обчислення єдиного середнього значення швидкості вітру для окремих полігонів Тіссена доцільне в умовах відсутності різких перепадів рельєфу та достатньо щільного розташування точок вхідних даних. Даний метод демонструє більш точні дані, ніж класичний метод екстраполяції на площу полігону середнього значення швидкості вітру з точки метеостанції, але, глобально, стикається з аналогічними недоліками, через загальні обмеження цього підходу.

Перелік посилань:

1. Liu Y., Zhou L., Qin Y., Azorin-Molina C., Shen C., Xu R., Zeng Z. (2024). Impacts of anemometer changes, site relocations and processing methods on wind speed trends in China, *Atmos. Meas. Tech.*, 17, 1123–1131, <https://doi.org/10.5194/amt-17-1123-2024>
2. Ausheva N., Shapovalova S., Petrenko K., Kardashov O., Sofiienko A. (2024). Construction of a spatial distribution model of wind energy characteristics. *Advanced Information Systems*. № 8(4). P.13–19. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.4.02>
3. Cowin E., Wang Ch., Walsh D.C. (2023). Assessing Predictions of Australian Offshore Wind Energy Resources from Reanalysis Datasets. *Energies*, 16(8), 3404; <https://doi.org/10.3390/en16083404>.
4. Petrenko K., Kuznietsov M., Ivanchenko I., Кармазін О. О., & Borsuk A. (2023). Assessment of the possibility of using wind speed reanalysis data for wind energy calculations. *Vidnovluyana Energetika*, (3(74), 75–85. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\).75-85](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).75-85)
5. Yu Wang et al. (2020). Wind speed spatial estimation using geostatistical kriging, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 619 012049, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/619/1/012049>

¹ BS's programme 4th year Proshchakov T.A.

¹ Assoc.prof., cand.eng.sc. Demchyshyn A.A.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=uHZreb4AAAAJ&hl=uk>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

USE OF AI FOR MUSIC TRANSCRIPTION PROCESSING

Statement of the problem and its relevance. The process of creating music is highly labor-intensive and requires an artist to have extensive knowledge and skills, which take years to acquire. The most important skill for any musician is the ability to distinguish chords, notes, and octaves. At the same time, the continuous development of modern technologies allows people to try their hand in the music making without even possessing basic skills. Thus, amateurs face the problem of recognizing the chords of a heard melody. Therefore, automating the process of audio analysis is a reasonable solution that can save time for both beginners and professionals.

Analysis of the latest research. The field of programs that analyze musical compositions is already well-developed worldwide. Several existing programs, such as Spectroid [1], Melodyne [2] and RipX DAW [3], assist users in recognizing notes and, in some cases, chords in melodies.

Among them, Spectroid, developed by an individual developer Carl Reinke, is focused on frequency analysis, converting the acquired audio signal into a frequency domain and allowing users to examine the domain in detail. Recognizing notes or triads is beyond Spectroid's capabilities.

Meanwhile, Melodyne and RipX DAW can recognize both chords and notes. Melodyne, developed by Celemony Software GmbH, uses Fast Fourier Transform (FFT) and Wavelet Transform for this task, while RipX DAW, developed by UK-based company Hit'n'Mix, utilizes a neural network for recognition. However, both of these programs are primarily targeted on pitch modification of melodies (voices) rather than providing a transcription into notes and chords, let alone the Musical Instrument Digital Interface (MIDI) format of the composition. MIDI is a digital format that stores the order of notes and triads, tempo, and rhythm of a composition. This format is especially convenient for musicians who compose music using a computer.

To recognize frequency ranges, the FFT is traditionally used, as it is an optimized version of the Discrete Fourier Transform (DFT). The use of FFT is a technique that decomposes a sound signal into its constituent frequencies, helping to determine which frequency components are present in an audio file [4]. Thus, Fourier analysis can recognize a note in a pure signal, but for real instruments, whose sounds may consist of harmonics, it would be impossible to automate chord recognition without the use of artificial intelligence.

Goal formulation. The goal of this work is to develop a software system that utilizes artificial intelligence to analyze audio and automatically recognize chords and notes in musical compositions. This will improve the accuracy and efficiency of music data processing, simplifying its use in education, research, and creative activities.

Main part. A direct calculation of the DFT for N data points requires $O(N^2)$ arithmetic operations, while the FFT allows obtaining the same result using $O(N \log N)$ operations. Thus, the DFT is defined as:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi kn/N}, k = 0, 1, \dots, N-1,$$

where x_n – signal value;

X_k – spectral coefficients;

j – imaginary unit ($j^2 = -1$);

$e^{-j2\pi kn/N}$ – the basis of the transformation, which is too long for the big N s.

At the same time, the FFT applies the «divide and conquer» principle, breaking a large N-size DFT into two smaller (N/2)-size DFTs:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N/2-1} \left[x_{2n} e^{-\frac{j2\pi k(2n)}{N}} + x_{2n+1} e^{-\frac{j2\pi k(2n+1)}{N}} \right].$$

The use of FFT is essential in several initial tasks of the software, such as visualizing frequency ranges and training the neural network on simple notes. FFT output is displayed on a canvas in the form of a “falling notes” notation (Figure 1). The music composition (mp3 file) is transcribed into notes shown as yellow lines positioned over the corresponding key of a piano keyboard. A new layer of notes is added every 20 milliseconds. The keyboard avatar greatly simplifies the visualization of the notes detected by artificial intelligence from the given signal.

The algorithm for displaying falling notes that utilizes Web Audio API is as follows: AnalyzerNode object receives a signal from a microphone or an audio file; then the data is processed using the FFT object to obtain constituent frequencies and amplitudes; finally, the output array, along with unaltered sound, is passed on to the AI for further analysis.

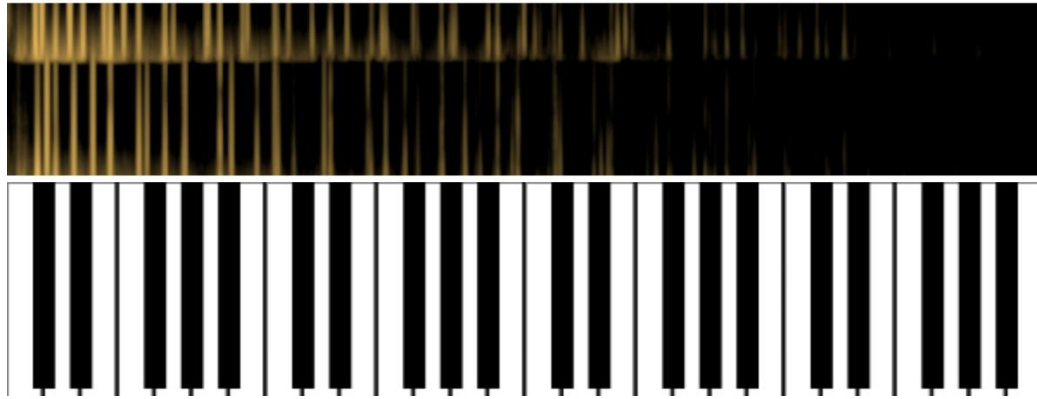


Figure 1 – An example screen from software that shows the avatar of a four-octave keyboard with matched falling notes

Noteworthy, the FFT alone is not entirely reliable, as spectral leakage may occur as if the signal is not perfectly periodic, leading to high-frequency artifacts. To ensure accuracy in the future operation of the neural network, a windowing function is employed to reduce spectral leakage. The software provides the ability to use either Blackman-Harris or Hamming function. These functions attenuate the border frequencies of the analyzed range and reduce spectral leakage at the cost of spectral resolution (Figure 2).

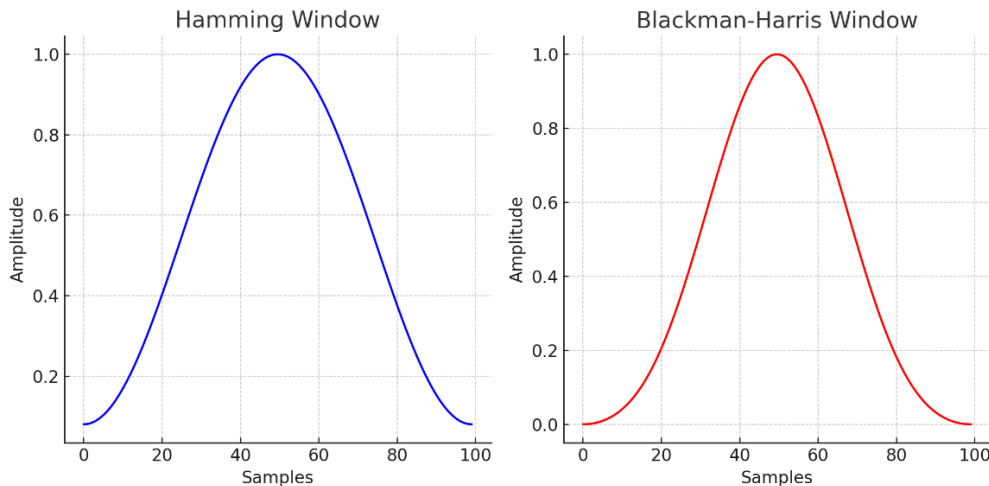


Figure 2 – Visual comparison of Blackman-Harris and Hamming windowing functions

The data in the Table 1 shows the comparison of frequency responses of both functions. The Hamming window is better suited for audio processing, as it has narrower main lobe. In contrast, Blackman-Harris attenuates a larger frequency range, reducing the chances of leakage, thus minimizing the impact of strong nearby frequencies on weaker ones. Reduced leakage over frequency resolution is important in high-precision spectral analysis tasks. The choice of window function is left to the user, and considering these nuances can help improve AI accuracy.

Table 1 – Comparison of characteristics of windowing functions' frequency responses

Windowing function	Main Lobe	Side lobe	Spectral leakage	Frequency resolution
Hamming	narrow	~ -42 dB	Low	High
Blackman-Harris	wide	~ -92 dB	Very low	Low

Neural networks are mathematical models inspired by the human brain works. They consist of perceptrons that process received data and recognize patterns within it. Each neural network has three types of layers: input, output, and hidden layers in between. The input layer receives data converted into matrices of pixels or frequencies, as in our case. The output layer provides the desired response (e.g., the C note or C minor chord). The hidden layers are necessary for properly adjusting the output data, as each hidden layer acts as a set of associations for the machine.

The neural network of the developed software is built using a single-layer perceptron (input and output layers only) [5]. The reason for excluding hidden layers is straightforward: for recognizing notes and triads in an audio signal, it is sufficient to analyze only the frequency of the sound. As a result, the network consists of 4,000 inputs and 180 outputs, without hidden layers. The 180 outputs separate 60 individual notes and 120 triads.

The software is implemented in JS language. The AI is implemented using TensorFlow.js [6], a machine learning library designed for use in browsers and on servers (through node.js). JS allows running models directly in web applications, unlocking many possibilities. TensorFlow.js and WebAudio offer a convenient API that integrates well with frontend technologies.

The training process of the neural network begins with basic musical notation learning. The Maestro Magenta Dataset provides free access to 100 GB of WAV audio files containing piano note recordings for AI training [7]. After that, the neural network is trained to recognize simple chords (triads).

Conclusions. The software for melody transcription processing saves time and optimizes the work of both professional musicians and amateurs. The use of a neural network for chord recognition in audio signals is a key component of melody transcription processing, enabling capabilities that would be difficult (or impossible) to achieve using traditional methods.

References:

1. Spectroid : web site. URL: <https://groups.google.com/g/spectroid> (date of access: 07.03.2025).
2. What is Melodyne? : web site. URL: <https://www.celemony.com/en/melodyne/what-is-melodyne> (date of access: 07.03.2025).
3. Hit'n'Mix's AI DAW, RipX: Forget everything you thought you knew about unmixing music : web site. URL: <https://musictech.com/reviews/digital-audio-workstations/hitnmix-ripx-daw-review/> (date of access: 07.03.2025).
4. Chernenko S. Fast Fourier transform – FFT: web site. URL: <http://www.librow.com/articles/article-10> (date of access: 07.03.2025).
5. Gulli A., Amita Kapoor A., Sujit Pal S. Deep Learning with TensorFlow 2 and Keras: Regression, ConvNets, GANs, RNNs, NLP, and more with TensorFlow 2 and the Keras API, 2nd Edition. Packt Publishing. 2019. 646 p.
6. Tensor Flow : web site. URL: <https://www.tensorflow.org/> (date of access: 07.03.2025).
7. Magenta Maestro Dataset : web site. URL: <https://magenta.tensorflow.org/datasets/maestro#dataset> (date of access: 07.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Діковський А.М.

¹ Асист. Кардашов О.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=gtnZz4EAAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ODOO ДЛЯ КОЛ-ЦЕНТРУ ПРОДОВОЛЬЧОЇ КОМПАНІЇ

Постановка проблеми та її актуальність З кожним роком автоматизація бізнес-процесів стає все більш важливим фактором підвищення ефективності підприємств. Найбільшу актуальність вона отримала в продовольчій галузі, де швидкість обробки замовлень та якість обслуговування клієнтів відіграють вирішальну роль. Даний проект спрямований на створення кол-центру у системі Odoo з інтеграцією IP-телефонії Asterisk та AWS для автоматизації процесу обробки комерційних пропозицій та замовлень на продаж з подальшою можливістю перегляду дзвінків в текстовій формі та прослуховування.

Аналіз останніх досліджень. У сфері автоматизації кол-центрів останні дослідження зосереджені на інтеграції IP-телефонії, використанні штучного інтелекту для обробки дзвінків та підвищенні ефективності процесів продажу. Одним із ключових напрямків є використання VoIP-рішень на базі Asterisk, що дозволяють знижувати витрати на телефонію та забезпечувати гнучке управління вхідними викликами. Використання CRM-систем для кол-центрів є показником того факту, що інтеграція з ERP-платформами значно покращує точність ведення клієнтської бази та дозволяє автоматизувати процеси продажу. Зокрема, Odoo виділяється серед інших ERP-систем завдяки модульній структурі, що дозволяє легко адаптувати її під потреби конкретного підприємства [1]. Слід зазначити, що останнім часом активного розвитку зазнали технології розпізнавання мовлення ASR (Automatic Speech Recognition) [2], які застосовуються для автоматичної транскрипції дзвінків. Одним з таких сервісів є AWS Transcribe, використання якого дозволяє отримувати транскрипції розмов для подальшого аналізу та підвищення якості обслуговування клієнтів.

Формулювання мети. Метою роботи є розробка модуля кол-центру у середовищі Odoo, який дозволить компаніям продовольчого виробництва ефективно управляти взаємодією з клієнтами, автоматизувати процес формування комерційних пропозицій та поліпшити контроль за виконанням замовлень.

Основна частина. Основні функції системи полягають в інтеграції з IP-телефонією Asterisk, автоматичній ідентифікації клієнта за номером телефону, записі та збереженні дзвінків у системі Odoo, автоматичному створенні комерційних пропозицій та автоматичному перетворенні їх у замовлення [1].

Для полегшення та прискорення роботи операторів, а також уникнення помилок, можливих через присутність людського фактору, розроблено автоматичний підбір документів, котрий при цілісності даних у системі Odoo буде визначати прайс-лист цін, специфікацію номенклатури, доступної для кожного контрагента та точки доставки, а також договір в залежності від типу товару.

Завдяки тому, що при розробці модулю кол-центру не було докорінно змінено базовий модуль продажів. Новостворені замовлення на продаж можуть бути використані та оброблені іншими відділами підприємства. Завдяки цьому можливо легко та ефективно передавати дані між відділами логістики, бухгалтерії, складського обліку та аналітики, що підвищує загальну продуктивність компанії, а також облегує розробку та інтеграцію майбутніх модулів для роботи з документами, пов'язаними з продажами та роботою з клієнтами [1].

Під час роботи було враховано можливу велику кількість щоденних дзвінків та замовлень, що спричиняло б зайве накопичення бази даних вже виконаними замовленнями.

Для уникнення цих проблем система регулярно очищує базу даних від комерційних пропозицій, дата відвантаження яких вже в минулому. Це дозволяє зменшити навантаження на сервери, зберегти швидкодію системи та уникнути накопичення застарілих даних, які можуть ускладнювати аналітику та звітність.

Для реалізації повноцінної роботи кол-центру, а також можливості відстежувати роботу операторів, в системі використовуються сервіси AWS, котрі дозволяють створювати транскрипції розмов, і таким чином, зменшуючи навантаження на сервери підприємства [2].

При замовленнях на продовольчих виробництвах використовуються системи декількох рейсів у різний час, а також розповсюдженою практикою є розділення замовлень в залежності від типу товару. Даний аспект також реалізований в проекті, що дозволяє автоматично розділяти одну комерційну пропозицію на декілька замовлень на продаж та автоматично підбирати відповідні договори з клієнтом. Також, у випадку, коли компанія має декілька підприємств, можливе створення одним оператором замовлень на доступні для нього організації, що значно облегшує та прискорює його роботу.

В даний час на ринку вже існують CRM-рішення, що інтегруються з IP-телефонією, однак їх функціонал здебільшого є загальним для різних галузей. Особливістю даного проекту є вузька спеціалізація на потребах продовольчого виробництва, що дозволяє адаптувати процеси саме під специфіку даного бізнесу. Крім того, інтеграція з AWS та розширені можливості автоматизації комерційних пропозицій роблять систему більш зручною для підприємств з великим обсягом замовлень. В результаті взаємодія акторів системи має вигляд діаграми прецедентів (рис. 1).

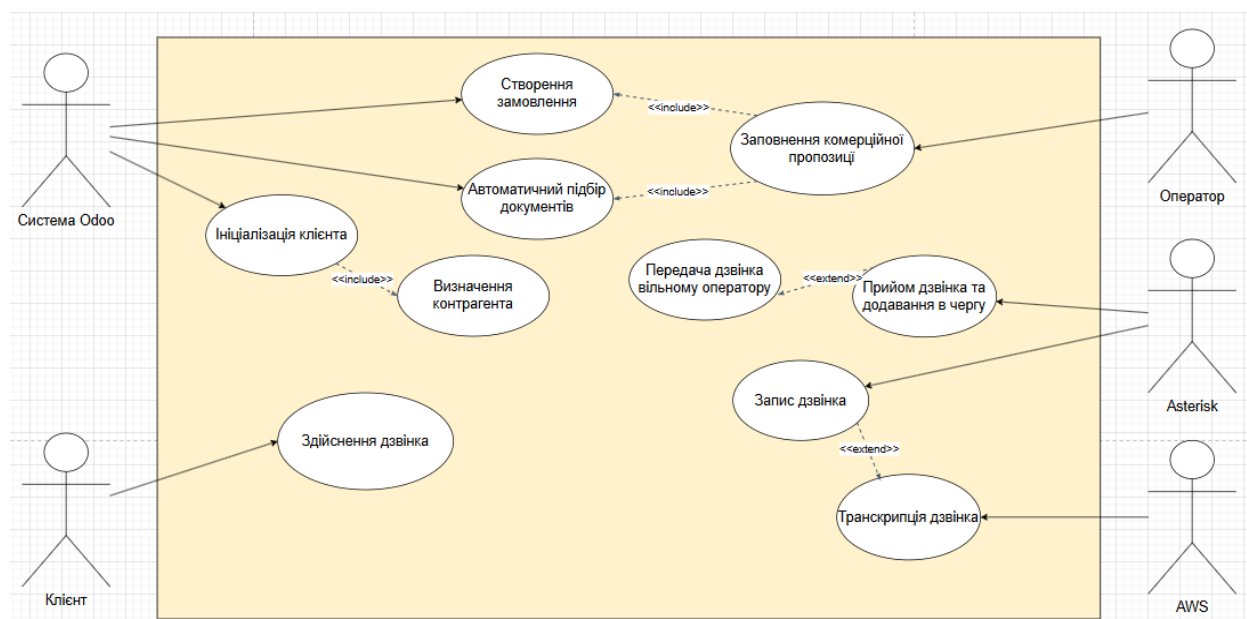


Рисунок 1 – Діаграма прецедентів системи

Висновки. Розроблений модуль кол-центра у системі Odoo забезпечує ефективну інтеграцію IP-телефонії Asterisk та AWS, що значно покращує якість обслуговування клієнтів у продовольчій галузі. Автоматизація комерційних пропозицій, підбір необхідних документів, можливість роботи з кількома підприємствами, автоматичне очищення бази даних та інтеграція з іншими відділами дозволяє підприємствам зменшити витрати часу та ресурсів, що підвищує їх конкурентоспроможність на ринку.

Перелік посилань:

1. Sales – Odoo 17.0 documentation. Open Source ERP and CRM | Odoo. URL: <https://www.odoo.com/documentation/17.0/applications/sales/sales.html> (date of access: 03.03.2025).
2. Speech to text – amazon transcribe – AWS. Amazon Web Services, Inc. URL: https://aws.amazon.com/transcribe/?nc1=h_ls (date of access: 03.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Деркач Д.І.

¹ Ст.викл. Беспала О.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=gLUrLHUAAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ОСВІТНІМ ПРОЦЕСОМ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасна освіта активно переходить у цифровий формат, що зумовлює необхідність використання спеціалізованих технологічних рішень для організації навчального процесу [1]. Існуючі підходи до дистанційного навчання мають ряд недоліків. Однією з основних проблем є складність налаштувань та адміністрування, оскільки багато систем вимагають значних технічних знань для коректної конфігурації. Крім того, системи не завжди гнучко налаштовуються під потреби конкретного навчального закладу, що обмежує їх ефективність. Станом на сьогодні збільшується тенденція аналізу даних [2]: сучасні освітні процеси потребують детального аналізу успішності студентів, що ускладнює контроль навчального процесу. При зростанні кількості студентів також виникають труднощі у швидкому доступі до необхідної інформації. Автоматизація управління освітніми процесами є важливим кроком для підвищення ефективності навчального процесу, оскільки сучасні технології можуть значно покращити взаємодію між викладачами та студентами, спростити адміністрування та забезпечити якісну аналітику.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження в галузі освітніх технологій показують, що автоматизація навчального процесу дозволяє суттєво підвищити якість навчання. Впровадження алгоритмів аналізу даних, штучного інтелекту та адаптивного навчання забезпечує індивідуалізований підхід до кожного студента. Як зазначено в [3], процес навчання значною мірою залежить від когнітивних механізмів сприйняття та обробки інформації, що підтверджує ефективність персоналізованого підходу в освітніх системах. Дослідження [4, 5] демонструють, що аналіз навчальної активності студентів дозволяє прогнозувати їхню успішність та адаптувати навчальні матеріали відповідно до потреб кожного студента.

Формулювання мети. Метою цього проєкту є розробка комплексної автоматизованої системи управління освітніми процесами, яка забезпечить ефективне адміністрування навчального процесу, впровадження аналітики та оптимізацію взаємодії між студентами та викладачами.

Основна частина. В рамках досягнення цієї мети, вирішення поставлених задач дозволять автоматизувати адміністративні процеси, зокрема управління розкладами, групами студентів, курсами та завданнями. Система забезпечена механізмами збору та аналізу даних про успішність студентів, їхню активність та залученість, що сприятиме прийняттю обґрунтованих рішень викладачами. Важливим аспектом буде впровадження сучасних цифрових комунікаційних засобів для покращення зворотного зв'язку та інтеграції різних навчальних ресурсів. Оскільки система має працювати з великим навантаженням, передбачено її високу продуктивність і масштабованість. Запропонована система міститиме кілька ключових функціональних модулів. Модуль управління завданнями забезпечить контроль за виконанням студентами навчальних матеріалів, автоматично генеруватиме сповіщення про дедлайни та надаватиме інструменти для перевірки виконаних завдань. Система моніторингу активності студентів дозволить аналізувати їхню взаємодію з навчальними матеріалами, що допоможе викладачам виявляти потенційні труднощі. Аналітичний модуль надаватиме деталізовані звіти про успішність студентів, що сприятиме покращенню навчального процесу. Архітектура

системи базуватиметься на модульному монолітному підході, що забезпечить високу продуктивність, простоту інтеграції та можливість масштабування. Використання сучасних баз даних гарантує швидку обробку великих обсягів інформації, а система безпеки та управління доступом забезпечить надійний захист персональних даних студентів і викладачів. Додатково впроваджені механізми адаптивного навантаження дозволять системі ефективно працювати навіть при великій кількості користувачів.

Одним зі компонентів системи є розділ статистики, в якому передбачено перегляд статистичних даних по навчанню студентів, а саме відвідуваність занять.

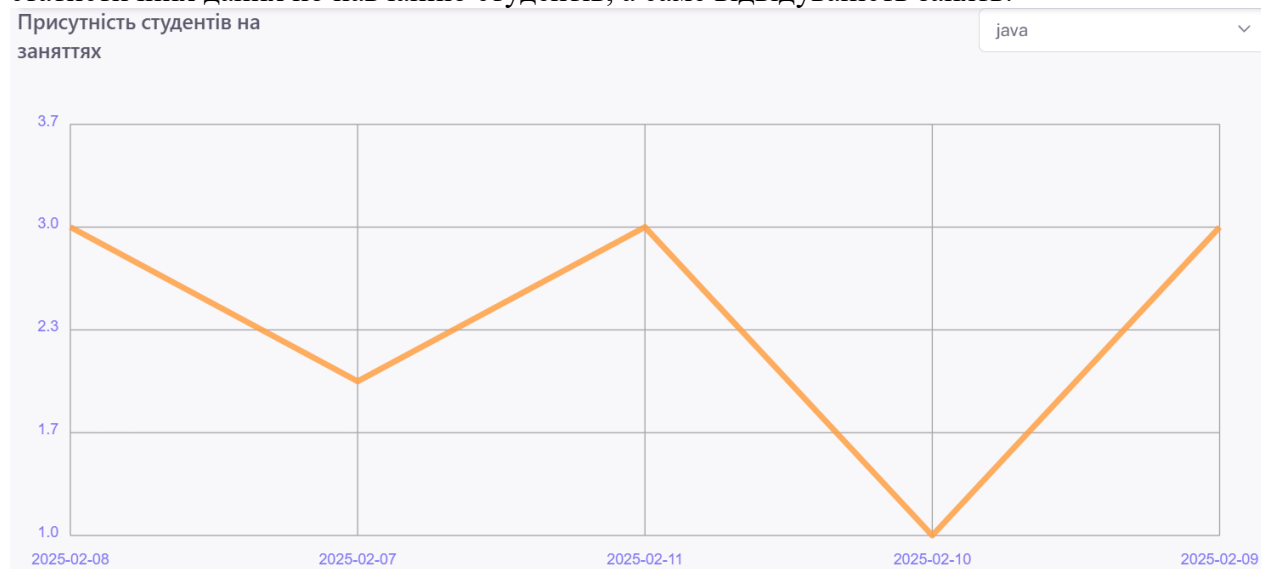


Рисунок 1 – Аналітичний модуль системи

Для більш зручного моніторингу успішності студентів, в систему додано компонент інтегрованого аналітичного модулю (рис. 1), завдяки якому викладачі можуть швидко отримувати необхідну інформацію про успішність студентів для швидкого реагування на незадовільні показники з метою підвищення рівня навчання студентів. Інтерфейс системи надає зручні візуалізації даних у вигляді графіків, що допомагає у швидкому аналізі.

Висновки. Автоматизація управління освітніми процесами є важливим кроком у розвитку сучасної освіти. Впровадження запропонованої системи дозволить зменшити навантаження на викладачів, автоматизуючи рутинні процеси, що дасть змогу зосередитися на навчальному процесі. Покращення взаємодії між студентами та викладачами сприятиме ефективному зворотному зв'язку завдяки цифровим комунікаційним інструментам. Персоналізація навчання стане можливою завдяки аналізу успішності студентів та адаптації контенту під їхні потреби. Запропонована система сприятиме створенню сучасного, ефективного та доступного навчального середовища, що відповідає вимогам цифрової епохи, забезпечуючи не лише полегшення адміністративних завдань, а й високу якість навчального процесу.

Перелік посилань:

1. Clark, R.C., Mayer, R.E. E-Learning and the Science of Instruction. Hoboken: Wiley, 2016. 480 с.
2. Williamson B. Big Data in Education. London: SAGE Publications, 2017. 240 с.
3. Bransford, J.D. How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School. Washington: National Academies Press, 2000. 384 с.
4. Campbell J.P., Oblinger D.G. Learning Analytics: Using Data to Improve Student Success. Louisville: EDUCAUSE, 2007. 34 с.
5. Kamath U., Liu J., Whitaker J. Deep Learning for NLP and Speech Recognition.

¹ Бакалаврант 4 курсу Дреля Є.В.

¹ Доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=g3-qVSgAAAAA>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ НА ОСНОВІ .NET MAUI

Постановка проблеми та її актуальність. Сьогодні розробники стикаються з проблемою створення додатків для різних платформ (Android, iOS, Windows і macOS). Традиційні підходи вимагають написання окремого коду для кожної платформи, що призводить до збільшення часу розробки, підвищення вартості проекту, складнощів у підтримці декількох версій коду та різної продуктивності додатків на різних пристроях.

.NET MAUI (Multi-platform App UI) – це кросплатформне середовище розробки від Microsoft, яке дозволяє створювати застосунки для мобільних і настільних пристроїв на Android, iOS, macOS, Windows та Tizen, використовуючи C# та .NET. Технологія дозволяє легко розробляти, оновлювати та підтримувати додатки, використовуючи єдину кодову базу для різних платформ [1].

Дослідження технологічних аспектів розробки на основі .NET MAUI є актуальним, оскільки ринок мобільних та десктопних додатків постійно зростає і, як очікується, досягне значних обсягів у найближчі роки [2].

Щоб залишатися конкурентоспроможними, компанії намагаються швидше виводити свої продукти на ринок на різних платформах. Для цього їм потрібні сучасні рішення, які забезпечують зручний та якісний користувацький досвід без значних додаткових витрат на розробку. У сучасному цифровому світі бізнесу важливо бути присутніми на всіх популярних платформах, щоб охопити більше користувачів, підвищити лояльність і розширити ринки збуту.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження в галузі розробки кросплатформного програмного забезпечення свідчать про зростаючий інтерес до .NET MAUI як перспективного інструменту для створення додатків на різних платформах. Розробники активно вивчають продуктивність, архітектурний підхід, потенціал оптимізації та практичні випадки використання цієї технології. Крім того, Microsoft постійно вдосконалює її, підвищуючи продуктивність у нових версіях .NET.

Вибір цієї технології для розробки застосунків дозволяє зменшити ризики, пов'язані з інтеграцією різних компонентів та версій програмного забезпечення, зберігаючи при цьому високий рівень стабільності та сумісності.

Також даний інструмент вже знаходить практичне застосування у реальних проектах, таких як: Microsoft Loop, NBC Sports Next, Escola Agil [3], що робить його привабливим для розробників, які прагнуть ефективно працювати на різних платформах.

Формулювання мети. Метою дослідження є аналіз технологічних аспектів розробки кросплатформних додатків з використанням .NET MAUI, виявлення основних переваг та недоліків цієї платформи, оцінка її можливостей у порівнянні з іншими технологіями та пошук рішень для забезпечення високої продуктивності та якості на різних платформах. Це дозволить створити рекомендації для розробників щодо ефективного використання платформи при створенні універсальних застосунків.

Основна частина. Основна ідея цього проекту полягає в спрощенні процесу розробки кросплатформних додатків. .NET MAUI дозволяє створювати програми для Android, iOS, Windows і macOS, використовуючи один фрагмент коду, що значно скорочує

час розробки і тестування. Це зменшує ймовірність помилок, пов'язаних з підтримкою окремих версій коду для кожної операційної системи.

Однією з головних переваг .NET MAUI є його висока продуктивність на всіх платформах без необхідності адаптації під кожну з них. Технологія використовує єдину кодову базу для різних пристроїв, тим самим скорочуючи час, витрачений на розробку і підтримку. Розробники можуть зосередитися на функціональності, а не на нюансах, характерних для кожної платформи.

Інтеграція з екосистемою Microsoft надає потужні інструменти для тестування, налагодження та оптимізації додатків, роблячи процес розробки швидшим і ефективнішим. .NET MAUI підтримує мобільні та десктопні платформи, дозволяючи створювати універсальні додатки для більшості пристроїв. Це особливо важливо для стартапів та малого бізнесу, які прагнуть зменшити витрати на розробку та підтримку без необхідності наймати окремих спеціалістів для кожної платформи.

Це також дозволяє швидко оновлювати додатки без змін у коді для кожної платформи, що важливо в умовах швидкого розвитку технологій. .NET MAUI дозволяє інтегрувати нові функції та адаптувати програми до змін на ринку.

Ще однією перевагою є можливість створювати кастомізовані інтерфейси для різних платформ [4]. Це покращує користувацький досвід і гарантує лояльність до продукту. Розробники можуть створювати додатки, які відповідають стандартам кожної операційної системи.

.NET MAUI активно підтримує нові технології, інтегруючи найновіші функції, що дозволяє створювати ефективні та надійні додатки з використанням найновіших бібліотек. Це гарантує, що додатки будуть актуальними і використовуватимуть найновіші технології.

Незважаючи на всі свої переваги, .NET MAUI активно розвивається. Нові можливості, такі як інтеграція з .NET MAUI Essentials, значно спрощують роботу з пристроями та надають доступ до таких функцій, як геолокація, датчики та камери.

Крім того, використання єдиної кодової бази для всіх платформ значно знижує складність підтримки та оновлення додатків. Будь-які оновлення або виправлення помилок можна здійснювати одночасно для всіх версій застосунку, що спрощує процес підтримки і забезпечує стабільну роботу програм на різних пристроях.

Висновки. Підсумовуючи, можна зробити висновок, що використання .NET MAUI для розробки кросплатформних застосунків має значні переваги для розробників. Однією з основних переваг є можливість створення універсальних програм за допомогою єдиної кодової бази, що знижує час розробки, зменшує витрати на тестування та підтримку, а також забезпечує високу продуктивність на різних пристроях.

Загалом, .NET MAUI стає важливим інструментом у розробці мобільних та десктопних додатків, дозволяючи швидко випускати продукти на різних платформах. Активний розвиток технології та підтримка сучасних бібліотек і функцій, гарантують актуальність і безпеку розроблених додатків. Це робить .NET MAUI привабливим варіантом для компаній, які хочуть ефективно працювати на різних платформах, зберігаючи при цьому високий рівень якості та стабільності продукту.

Перелік посилань:

1. Lawrence S. Introducing .NET MAUI: build and deploy cross-platform applications using C# and .NET multi-platform app UI. Apress L. P., 2023.
2. Global: mobile app revenue by segment 2019-2027 | Statista. URL: <https://www.statista.com/forecasts/1262892/mobile-app-revenue-worldwide-by-segment> (дата звернення: 02.03.2025).
3. .NET MAUI customers showcase | .NET. Microsoft. URL: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/platform/customers/maui> (дата звернення: 02.03.2025).
4. .NET MAUI cross-platform application development: leverage a first-class cross-platform UI framework to build native apps on multiple platforms. Packt Publishing, Limited, 2023. 400 с.

¹ Бакалаврант 4 курсу Єрмоєнко В.М.

¹ Проф., д.т.н. Шушура О.М.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=beUGko0AAAAJ&hl=uk&oi=sra>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОБМІН ІНФОРМАЦІЄЮ СИСТЕМИ ODOO З ПЛАТФОРМОЮ PROM.UA

Постановка проблеми та її актуальність. Prom.ua є однією з найбільших торгових платформ в Україні, яка активно використовується продавцями для просування товарів онлайн. Автоматизація обміну даними між Prom.ua та Odoo дозволяє значно спростити управління продажами.

Odoo є багатофункціональною ERP-системою, що забезпечує централізоване управління продажами, складським обліком, фінансами та логістикою. Завдяки відкритому вихідному коду та гнучкій архітектурі Odoo легко інтегрується із зовнішніми платформами, такими як маркетплейси, CRM-системи та платіжні сервіси. Головною перевагою Odoo є модульність, яка дозволяє компаніям будь-якого розміру налаштовувати систему під свої потреби [1], розширювати її можливості та підвищувати ефективність бізнес-процесів.

Однак процес інтеграції ускладнюється через відмінності у структурі даних та специфіку API маркетплейсу. Неоптимальні рішення можуть призводити до дублювання даних, ускладнення підтримки та зниження гнучкості системи. Розробка ефективного рішення дозволить зменшити ризик помилок, скоротити час на оновлення інформації та підвищити продуктивність компаній.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження в сфері інтеграції ERP-систем з маркетплейсами показують, що доступні рішення для таких платформ, як Amazon та eBay, забезпечують функціональність, що включає оновлення товарів, обробку замовлень, синхронізацію залишків, управління статусами та передавання інформації про клієнтів [2]. Однак кожен маркетплейс має унікальне API, що вимагає розробки адаптивної інтеграційної архітектури для зменшення необхідності створення нових моделей у Odoo.

Формулювання мети. Метою роботи є розробка інтеграції Odoo з Prom.ua, яка забезпечить коректний обмін даними між системами. Інтеграція має включати автоматичне оновлення товарів, обробку замовлень, синхронізацію залишків і управління статусами, що дозволить зменшити ризик помилок та покращити управління продажами.

Основна частина. Інтеграція Odoo з маркетплейсом Prom.ua дозволяє автоматизувати управління товарами, замовленнями та клієнтськими даними. Це зменшує необхідність ручного введення інформації та мінімізує ризик помилок. Дані обмінюються через API Prom.ua, що забезпечує їхню актуальність у режимі реального часу. Основні процеси, які охоплює інтеграція, включають синхронізацію товарного каталогу, автоматичне завантаження замовлень, зміну статусів, управління клієнтською базою та контроль залишків товарів на складах.

На рис. 1 зображено взаємодію між Odoo та Prom.ua, яка передбачає участь різних користувачів системи. Менеджер займається додаванням і редагуванням товарів, оновленням цін, завантаженням інформації про товари та замовлення. Також він слідкує за статусами замовлень, номерами декларацій, поверненням коштів покупцям та веде клієнтську базу [3]. Система Odoo автоматично оновлює залишки товарів під час складських операцій, виконує заплановані синхронізації та формує документи переміщення товарів. Адміністратор маркетплейсу контролює обмін даними, налаштовує параметри інтеграції та керує чергою синхронізації.

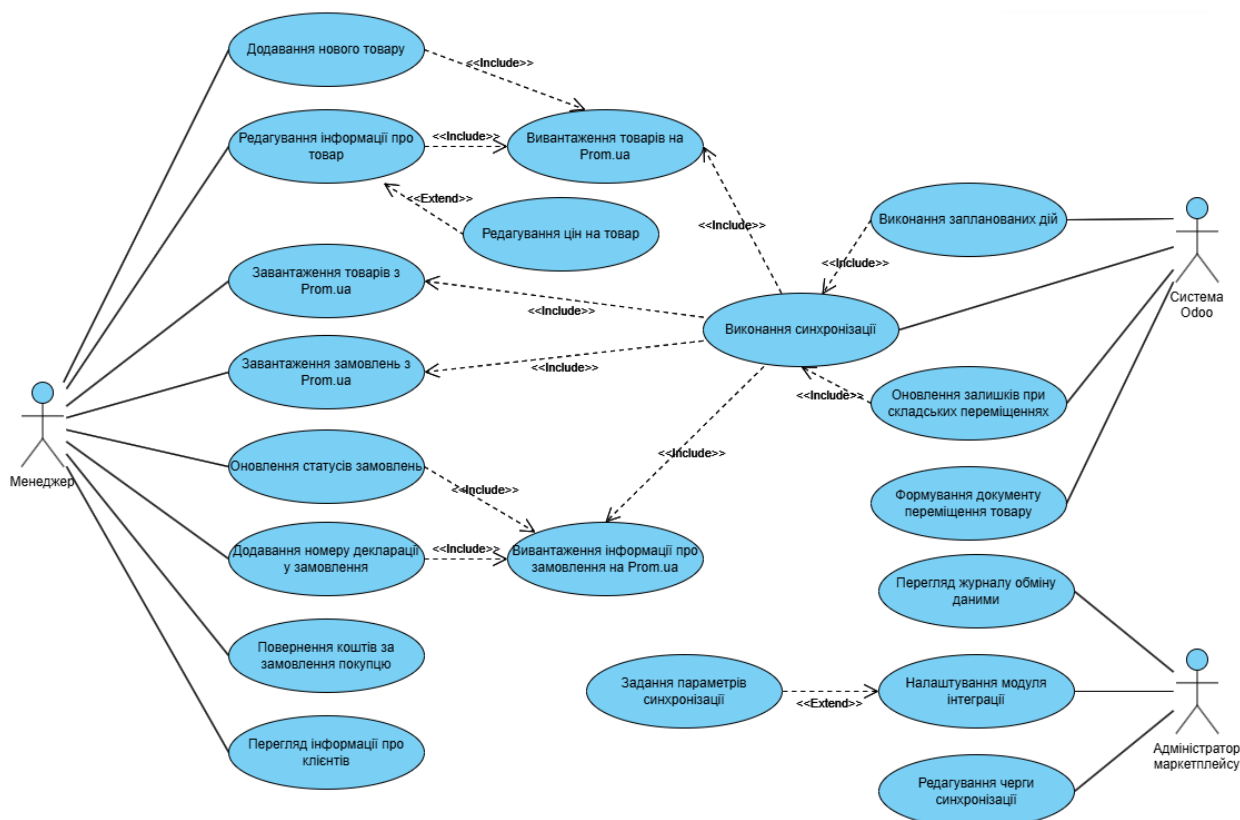


Рисунок 1 – Діаграма прецедентів інтеграції Odoo з Prom.ua

Розробка інтеграційного рішення здійснена на мові Python з використанням фреймворку Odoo, що дозволяє розширювати стандартний функціонал через кастомні модулі. Дані зберігаються у реляційній базі PostgreSQL, а обмін інформацією між Odoo та Prom.ua реалізований через API. Запити виконуються за допомогою бібліотеки requests, а обробка відповідей здійснюється у форматі JSON.

Модуль виконує регулярні запити до API, отримує та обробляє дані, оновлюючи відповідні моделі в Odoo. Для цього реалізовано механізми відправки GET і POST-запитів, а також обробки можливих помилок.

В інтеграції використовуються переважно стандартні моделі Odoo, однак для роботи із статусами замовлень і деякими іншими специфічними даними було створено окремі кастомні моделі. Це дозволило забезпечити коректне збереження інформації та гнучке налаштування процесів.

Автоматизація синхронізації здійснюється через заплановані дії, що дозволяє регулярно оновлювати товарний каталог, замовлення та статуси без ручного втручання.

Висновки. Розроблена інтеграція Odoo з Prom.ua автоматизує бізнес-процеси, скорочуючи час обробки замовлень і забезпечуючи актуальність даних. Рішення гнучке та може адаптуватися до інших маркетплейсів, що робить його універсальним інструментом для бізнесу. Це підкреслює значення інтеграції ERP-систем із зовнішніми платформами для підвищення ефективності підприємств.

Перелік посилань:

1. OpenERP/Odoo – An Open Source Concept to ERP Solution / A. Ganesh et al. 2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC), Bhimavaram, India, 27–28 February 2016. 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/iacc.2016.30> (date of access: 20.02.2025).
2. Odoo Documentation – Odoo 17.0 documentation. Open Source ERP and CRM | Odoo. URL: <https://www.odoo.com/documentation/17.0> (date of access: 20.02.2025).
3. Prom.ua API. Public API. URL: <https://public-api.docs.prom.ua/> (date of access: 20.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Каркушевський В.Л.

¹ Доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=g3-qVSgAAAAJ&hl=en>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АГЕНТ СТУДЕНТА З КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ ПІДГОТОВКИ ДО СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасний освітній процес є надзвичайно складним і насиченим, що вимагає від студентів не лише здобувати глибокі знання, але й ефективного керувати власним часом [1]. Однак навантаження зазвичай розподіляється неправильно, через велику кількість завдань, різних дисциплін, практичних і лабораторних. У таких ситуаціях студенти можуть втрачати контроль над своїм навчальним процесом і не встигати за термінами або помилятися у розставлянні пріоритетів у виконанні завдань.

Сучасні методи організації підготовки до семестрового контролю, такі як традиційні розклади, блокноти чи регулярні нагадування, не враховують рівень засвоєння матеріалу, індивідуальні потреби студентів та часові обмеження. Це створює потребу у розробці спеціалізованого інструменту, який би забезпечував автоматизований контроль за підготовкою до навчальних випробувань [1].

Таким чином, розробка програмного агента студента з контролю за станом підготовки до семестрового контролю є актуальним рішенням, що сприятиме підвищенню ефективності навчального процесу.

Аналіз останніх досліджень. У сучасному освітньому середовищі ведеться багато досліджень щодо технологій, які можуть покращити ефективність навчання та організації підготовки студентів до семестрового контролю. Одним із важливих напрямів є впровадження інформаційних технологій, які допоможуть у плануванні навчального процесу [2].

Популярні програмні рішення, такі як Google Calendar, Notion, Microsoft To-Do та інші подібні інструменти, вже використовуються студентами для організації свого навчального процесу. Однак ці платформи переважно слугують як засоби нагадувань та управління завданнями і не мають функціоналу автоматизованого планування підготовки до семестрового контролю. Вони дозволяють структурувати навчальні завдання, але не враховують специфіку навчальних дисциплін, відгуки про предмет та викладачів, дедлайни, статус виконання завдання.

Дослідження в галузі тайм-менеджменту також підтверджують, що автоматизовані рішення для організації підготовки можуть допомогти студентам рівномірно розподіляти навантаження та уникати стресу перед екзаменаційними періодами [3].

Формулювання мети. Результатом цієї роботи стане розробка програмного агента, який сприятиме покращенню організації навчального процесу студентів, забезпечуючи ефективний контроль за підготовкою до семестрового контролю та підвищуючи їхню успішність.

Основна частина. Навчальний процес у закладах вищої освіти включає в себе значну кількість дисциплін, що потребують системного підходу до засвоєння матеріалу [2]. Студенти часто стикаються з проблемою хаотичної підготовки до контрольних заходів, що може призвести до зниження ефективності навчання, нерівномірного розподілу навантаження та пропуску важливих дедлайнів. Ці труднощі пов'язані з відсутністю інструментів, які дозволяють централізовано контролювати завдання, їхній статус та вчасно вживати необхідні дії.

Розробка програмного агента для контролю за станом підготовки до семестрового контролю є ефективним вирішенням цієї проблеми. Запропонований додаток дозволяє

студентам складати список навчальних завдань, відмічати їхній статус, переглядати терміни виконання та розклад. Це зменшує ризик забути про завдання і робить процес навчання більш структурованим.

Головною перевагою цього додатку є централізоване управління всіма навчальними завданнями в одному місці. Візуалізуючи дедлайни та розподіляючи завдання за статусами студент отримує повний контроль над своїм навчальним процесом, що значно полегшує організацію підготовки[3]. Ще однією важливою особливістю є інтеграція розкладу занять безпосередньо в додаток, що дозволяє студенту одразу бачити взаємозв'язок між лекціями, практичними та лабораторними роботами.

На відміну від традиційних інструментів, таких як паперові записники або стандартні нотатки у смартфоні, цей інструмент надає зручний електронний журнал завдань із можливістю сортування, пошуку та фільтрації інформації. Студент матиме доступ до всієї необхідної інформації про свої навчальні предмети, зокрема зможе легко перевірити, які завдання ще не виконані, які наближаються до дедлайну, а які потребують більшої уваги.

Важливою особливістю додатку є те, що студенти можуть переглядати статистику про викладачів та предмети, на які вони підписані. Це дозволяє оцінити своє навантаження з різних предметів, порівняти складність завдань від різних викладачів та краще спланувати свій час. Наприклад, можна побачити, з яких предметів найбільше невиконаних завдань або які вчителі дають найбільше домашніх завдань.

Окрім організації навчального процесу, програмний інструмент допомагає студентам розвивати навички самостійного планування та управління часом. Студенти зможуть краще керувати своїм часом, навчитися ефективно розподіляти навантаження та контролювати виконання завдань. Завдяки структурованому підходу до підготовки вони зможуть уникнути перевантаження перед іспитами та краще розподілити свої зусилля протягом семестру.

Додаток також сприяє зменшенню стресу серед студентів, дозволяючи їм планувати завдання заздалегідь і уникати ситуацій, коли дедлайни накладаються один на одного. Завдяки чіткій структурі та візуалізації навчальних обов'язків студенти зможуть краще контролювати свій прогрес та уникати перевантаження перед екзаменаційною сесією.

Крім того, що це корисно для студентів, це також корисний інструмент для викладачів. Він допомагає студентам бути більш організованими та відповідальними, що може позитивно вплинути на якість виконання завдань, а отже, і на їхню загальну успішність. Викладачі також можуть отримати зворотній зв'язок у вигляді статистики виконання завдань. Таким чином, вони зможуть оцінити, які теми є найскладнішими для студентів, і відповідно скоригувати свої методи викладання.

Висновки. Підсумовуючи, розробка агента студента з контролю за станом підготовки до семестрового контролю є ефективним рішенням для оптимізації навчального процесу. Така система дозволяє моніторити прогрес студента і своєчасно виявляти проблемні аспекти, та вирішувати їх.

Реалізація такої системи покращує рівень самодисципліни студентів, підвищує ефективність навчання та сприяє зменшенню кількості випадків невчасної підготовки до іспитів. Запропонований підхід демонструє перспективність інтеграції інтелектуальних агентів у систему освітнього менеджменту, відкриваючи можливості для подальшого вдосконалення методів контролю та підтримки навчального процесу.

Перелік посилань:

1. Скібіцька Л.І. Тайм-менеджмент. Навчальний посібник : книга. Кондор, 2024. 528 с.
2. Mayer R.E. Multimedia learning. 3-d ed. Cambridge University Press, 2020. 452 p.
3. Covey S.R. The 7 habits of highly effective people. Simon & Schuster UK, 1999. 384 с.

¹ Бакалаврант 4 курсу Ковальов О.О.

¹ Асист. Кардашов О.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=gtnZz4EAAAAAJ&hl=uk>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХОПЛЕННЯ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ГЛИБОКОГО АНАЛІЗУ ПАКЕТІВ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасному світі інформаційних технологій зростає потреба у високопродуктивних та безпечних системах аналізу мережевого трафіку, особливо коли йдеться про застосування технологій *deep packet inspection* (DPI, глибокий аналіз або інспекція пакетів, де пакет є будь-яким блоком даних відносно рівнів системи OSI) для забезпечення кібербезпеки, моніторингу мереж і оперативного виявлення аномалій. Використання DPI полягає не лише в обробці заголовків, а й самих даних, *payload* (корисне навантаження) та визначення протоколів.

Основною задачею є захоплення потоків пакетів із високою швидкістю та їх подальша обробка, що вимагає не лише високої продуктивності, але й надійності та відсутності вразливостей, пов'язаних з помилками управління пам'яттю. Особливо актуальною стає проблема безпеки доступу до пам'яті, оскільки традиційні реалізації на мовах, таких як C або C++, часто стикаються з ризиком переповнення буфера, витоків пам'яті та інших помилок, які можуть бути використані зловмисниками. Сучасні вимоги до програмного забезпечення також передбачають відсутність залежності від збору сміття (відсутністю *Garbage Collector*) з метою мінімізації накладних витрат у реальному часі, що є особливо важливим при обробці великого обсягу даних у мережевих застосунках. Згідно аналізу [1] Агентства з кібербезпеки та захисту інфраструктури США, рекомендується використовувати «безпечні» мови, такі як Rust, Java, C#, Go і так далі. Лише мова Rust з цього переліку не має *Garbage Collector*. Таким чином, при виборі технології треба орієнтуватись на два основних фактори: швидкодія та можливість використовувати мову Rust.

Аналіз останніх досліджень. За останнє десятиліття було розроблено кілька підходів до захоплення пакетів, серед яких найбільш відомими є використання *pf_ring*, *eBPF* та бібліотек для роботи з *pcap*, а саме реалізації на основі Rust (*libpnet*).

pf_ring – це технологія, яка використовує спеціалізований драйвер для забезпечення високошвидкісного захоплення пакетів, дозволяючи обробляти величезні об'єми мережевого трафіку. Її продуктивність підтверджується широким застосуванням у високонавантажених мережах [2], проте реалізація на базі традиційних мов програмування не гарантує повної безпеки доступу до пам'яті, що може створювати ризики при експлуатації системи.

eBPF, або *Extended Berkeley Packet Filter*, інтегрований безпосередньо в ядро сучасних Linux-систем, відкриває нові можливості для безпечного та гнучкого аналізу мережевого трафіку. Завдяки вбудованій віртуальній машині, яка перевіряє виконуваний байткод перед його запуском, *eBPF* забезпечує високу ступінь захищеності, що є критично важливим при розгортанні систем глибокого аналізу пакетів. Проте, незважаючи на безпечність у виконанні, *eBPF* може вимагати певного часу на адаптацію та навчання розробників, оскільки синтаксис та моделі виконання відрізняються від традиційних підходів. Завдяки даній технології можна ефективно обробляти фрейми – читати їх, відхиляти, тощо [3].

Бібліотека *pcap* (*libpcap* [4]), зокрема її реалізація *libpnet* (написана на Rust), поєднує популярність класичного підходу з перевагами сучасної мови програмування Rust:

володіння пам'яттю, перевірка типів під час компіляції та відсутність залежності від збирача сміття. Це означає, що навіть у високонавантажених умовах система може ефективно працювати без ризику витоків пам'яті або інших помилок, характерних для реалізацій на С. Ці переваги особливо актуальні з огляду на сучасні вимоги до безпеки програмного забезпечення, де будь-яка вразливість може призвести до серйозних наслідків. Аналіз останніх досліджень демонструє, що інтеграція «memory-safe» бібліотек у системи DPI може не тільки підвищити надійність, але й забезпечити модульність та масштабованість рішень.

Формулювання мети. Метою даної роботи є порівняння технологій захоплення мережевого трафіку – pf_ring, eBPF та rps із реалізацією через Rust libpnet – з акцентом на пошук оптимального балансу між високою продуктивністю та забезпеченням безпеки доступу до пам'яті. Основною задачею є порівняння підходів до перехоплення мережеских фреймів для подальшої обробки, у даному випадку – для розробки системи глибокого аналізу пакетів, що накладає певні обмеження, а саме здатність обробляти великі обсяги даних без компромісів у безпеці та стабільності роботи програмного забезпечення.

Основна частина. Розглядаючи pf_ring, відразу слід зазначити, що ця технологія реалізована виключно мовою С та працює у ядерному режимі. Такий підхід дозволяє забезпечити максимальну швидкість завдяки прямому доступу до мережевого інтерфейсу та мінімальним накладним витратам. Однак, використання мови програмування С, як було зазначено вище, створює безпекові ризики, які можуть бути неприпустимими в певних проектах.

pf_ring опитує фрейми від мережеских адаптерів за допомогою Linux NAPI (механізм обробки подій). NAPI копіює пакети з мережевого адаптера в циклічний буфер, а потім програма користувача зчитує пакети з кільця. У цьому сценарії є два клієнти які займаються поліном (опитуванням), це програма розробника та NAPI (рис. 2.) [5]. Перевага полягає в тому, що дана технологія може розподіляти вхідні пакети на кілька кілець (отже, на кілька програм) одночасно. Таким чином, досягається висока швидкість – дану технологію можна використовувати в промислових масштабах, якщо немає серйозних вимог до кібербезпеки, наприклад, в локальних мережах. Хоча, загалом, технологія перевірена часом, але все ж, з огляду до попередніх вимог вона не може вважатись безпечною в плані доступу до пам'яті. Реалізація на Rust відсутня.

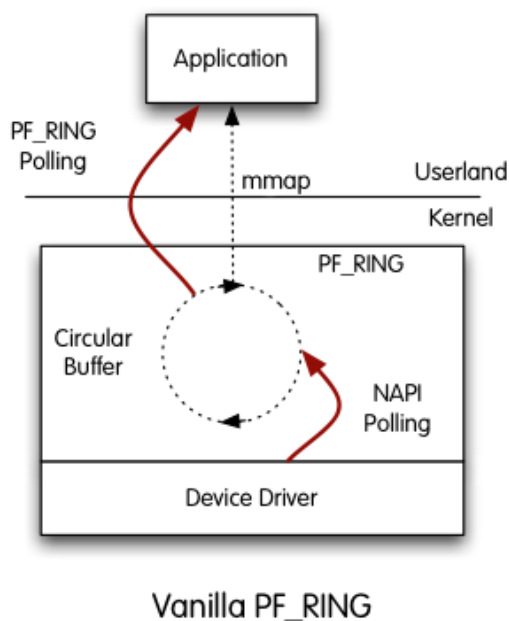


Рисунок 1 – Загальна архітектура технології PF_RING

В eBPF, який також функціонує в ядерному режимі, надає розробникам можливість завантажувати програми безпосередньо в ядро Linux. Завдяки верифікації байткоду перед виконанням, eBPF забезпечує високий рівень безпеки при обробці мережевого трафіку. Він працює у привілейованому контексті та використовує набір допоміжних функцій для ефективної обробки мережевих подій і трасування системних процесів у реальному часі. Пісочниця використовується для безпечного й ефективного розширення можливостей ядра без необхідності змінювати вихідний код ядра чи завантажувати модулі ядра [6]. Бібліотека `aya-rs` дозволяє використовувати eBPF у Rust, проте значна частина коду позначена як `unsafe` (небезпечний код, не має гарантій від компілятора), що створює потенційні ризики роботи з пам'яттю, хоч і забезпечує високу швидкодію. eBPF можна вважати компромісом між продуктивністю та гарантіями безпеки, однак технологія працює лише на Linux.

У свою чергу, бібліотека `rsar` з реалізацією на Rust (`libpnet`) працює в просторі користувача. На відміну від інших вищевказаних технологій, робота з фреймами в `libpnet` не може вестись «на льоту» – тому, умовний брандмауер написати з нею неможливо. Робота ведеться зі скопійованими даними, тобто, їх можна лише читати. Це, звичайно ж, впливає на швидкодію – до схожих механізмів роботи як у інших технологій, додається input/output затримка. Також, можна формувати власні фрейми, пакети, сегменти тощо, і відправляти їх, але це не стосується поставленої задачі. Є значна перевага – бібліотека може використовуватись на різних платформах завдяки чітко визначеному API. Наприклад, можна використовувати WinPCap або `pcap` для роботи на Windows.

Висновки. Порівняння цих технологій дозволяє зробити висновок, що вибір платформи для захоплення мережевого трафіку має враховувати компроміс між продуктивністю та гарантіями безпеки. У сучасних умовах, коли безпека доступу до пам'яті є критичною вимогою для запобігання експлуатації вразливостей, рішення на базі `libpnet` можуть бути привабливими для розробки систем глибокої інспекції пакетів, незважаючи на деяке зниження швидкодії. Хоча, якщо планується використовувати систему в умовах високого навантаження, варто розглянути інші варіанти, або компромісний – eBPF, або загалом безпечний для використання `pf_ring`, але не рекомендований до використання в системах, де є жорсткі вимоги до безпеки даних.

Перелік посилань:

1. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. Exploring memory safety in critical open source projects. [www.cisa.gov](https://www.cisa.gov/sites/default/files/2024-06/joint-guidance-exploring-memory-safety-in-critical-open-source-projects-508c.pdf). URL: <https://www.cisa.gov/sites/default/files/2024-06/joint-guidance-exploring-memory-safety-in-critical-open-source-projects-508c.pdf> (date of access: 27.02.2025).
2. The Improvement of Network Performance by Using the Technique of PF-RING Zero-copy to Optimize Spark Streaming / F. LIU et al. International Conference on Computer Networks and Communication Technology (CNCT 2016), Xiamen, China, 16–18 December 2016. Paris, France, 2017. URL: <https://doi.org/10.2991/cnct-16.2017.9> (date of access: 25.02.2025).
3. Zhuravchak D., Kiiko E., Dudykevych V. Using EBPF to identify ransomware that use DGA DNS queries. Collection "Information Technology and Security". 2023. Vol. 11, no. 2. P. 166–174. URL: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2023.11.2.293760> (date of access: 02.03.2025).
4. Snort 2.0 intrusion detection / J. Faircloth et al. Syngress, 2003. 550 p.
5. ntop. PF_RING – high-speed packet capture, filtering and analysis. <https://www.ntop.org>. URL: https://www.ntop.org/products/packet-capture/pf_ring/ (date of access: 19.02.2025).
6. eBPF Foundation. EBPF documentation. URL: <https://ebpf.io/what-is-ebpf/> (date of access: 22.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Куликовський В.Г.¹ Доц., к.т.н. Кузьменко І.М.<https://scholar.google.com.ua/citations?user=NWuNp7oAAAAAJ&hl=uk>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ГРАДІЄНТНІ МЕТОДИ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ

Постановка проблеми та її актуальність. Своєчасне виявлення пожеж запобігає запобігання значним матеріальним збиткам, екологічним катастрофам та зберігає людські життя. Традиційні методи виявлення пожеж, такі як теплові датчики або детектори диму, можуть бути недостатньо швидкими або ефективними, особливо у великих відкритих просторах, або у віддалених районах. У цьому контексті використання градієнтних методів для сегментації зображень стає перспективним підходом, оскільки вони дозволяють автоматизувати процес виявлення вогню або диму на основі аналізу відео- чи фотоматеріалів, забезпечуючи більш оперативне реагування на такі ситуації.

Формулювання мети. Метою даної роботи є дослідження градієнтних методів для сегментації зображень з метою ефективного виявлення пожеж. Це включає аналіз існуючих підходів в реальних умовах.

Основна частина

Градієнтні методи сегментації зображень базуються на врахуванні змін інтенсивності пікселів, що дозволяє виявляти межі об'єктів на зображенні. Одним з поширених підходів є використання операторів градієнта, таких як оператори Собеля, Прюїтта, Робертса, які обчислюють похідні інтенсивності та визначають області з високими змінами, що відповідають краям об'єктів.

Зокрема, використання оператора Робертса для оцінки зміни яскравості пікселів в діагональному напрямі, свідчить про перехід до контуру зображення. Його рівняння (1), (2) наведено нижче

$$y_{i,j} = \sqrt{x_{i,j}}, \quad (1)$$

$$f_{i,j} = \sqrt{(y_{i,j} - y_{i+1,j+1})^2 + (y_{i+1,j} - y_{i,j+1})^2}, \quad (2)$$

де x – значення яскравості на зображенні, f – похідна, i, j – координати на зображенні.

На рис.1 наведено ілюстрацію оператора та видно, що похідна визначає значення яскравості на основі його усереднення для 4-х сусідніх пікселів. Далі, на основі екстремальних значень похідної f автор рекомендує фіксувати контур зображення.

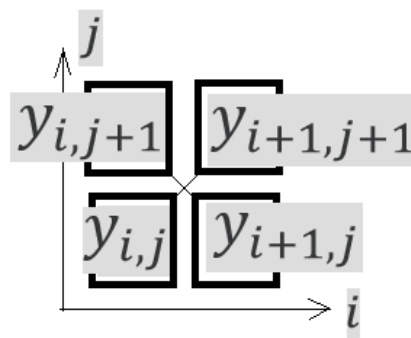


Рисунок 1 – Ілюстрація до формули оператора Робертса

Проте, оператор Робертса залежить від якості зображень оскільки може оцінювати шуми на зображенні, як контур.

Тому на даний час розрізняють кілька методів визначення контурів [1, 2, 3, 4, 5], зокрема, на основі країв і на основі регіонів. При використанні методів на основі країв, детектори країв зазвичай застосовуються для визначення меж областей зображення та зображення країв до цих меж. При використанні регіонів для визначення контурів використовується статистика інтенсивності зображення. Тобто, контури на основі активних регіонів можуть виявляти внутрішні межі незалежно від положення вихідного контуру. Вони також менш сприйнятливі до локальних мінімумів або шуму, ніж попередні [1, 2].

Також, методи активних контурів [3, 4] використовують градієнтну інформацію для визначення межі об'єкта, що дозволяє відносно точно визначати контури вогню, або диму на зображенні і є важливими для своєчасного виявлення пожеж

Варто зазначити, що методи на основі графів, які використовують градієнтну інформацію для пошуку мінімальних розрізів, де критерії розрізу спрямовані на мінімізацію подібності між спільними пікселями, також є ефективними для сегментації зображень з метою виявлення пожеж [3].

У роботі [5] досліджено методи спектрального аналізу зображень для детектування лісових пожеж з використанням технологій дистанційного зондування Землі. Розглянуто підходи до обробки супутникових знімків та використання спектральних характеристик для виявлення ознак пожеж. Зроблено висновок про доцільність застосування градієнтних методів у поєднанні зі спектральним аналізом для підвищення ефективності детектування лісових пожеж.

Висновки. Градієнтні методи сегментації зображень є інструментами аналізу зображень, зокрема і для виявлення пожеж, оскільки вони дозволяють ефективно виділяти області з характерними ознаками вогню або диму.

В подальшому використання таких методів у поєднанні з нейронними мережами та алгоритмами машинного навчання може значно підвищити точність і швидкість виявлення пожеж, що є критичним для забезпечення безпеки та мінімізації збитків.

Перелік посилань:

1. Андрушків В.В. Автоматизований контроль металопродукції з використанням глибоких нейронних мереж. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/46356/1/Andrushkiv_V%20Futryk_Vasyl%20KA-41.pdf (дата звернення 02.03.2025).
2. Волохович І.І. Підходи сегментації сільськогосподарських зображень методами глибокого навчання URL: https://www.researchgate.net/publication/382850141_PIDHODI_SEGMENTACII_SILSKOGOSPODARSKIH_ZOBRAZEN_METODAMI_GLIBOKOGO_NAVCHANNA (дата звернення 02.03.2025).
3. Молоков М.Р. Система охоронної пожежної сигналізації з визначенням джерел загорання. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/7327.pdf> (дата звернення 02.03.2025).
4. Маркін І.Д. Розпізнавання пожежі за допомогою згорткових нейронних мереж URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/c50081ba-b7ba-440e-852b-7774833ec635/content> (дата звернення 02.03.2025).
5. Бандурка О. Методи і алгоритми аналізу геоданих для рішення задачі оцінки антропогенного впливу на довкілля. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/a9ca5aaa-f5f0-4d54-a050-9c416feb4823/content> (дата звернення 02.03.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Мартинчук А.В.

¹ Доц., к.е.н. Сегеда І.В.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=cTob-AwAAAAAJ&hl=ru>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ХАРЧУВАННЯ ТА ОБЛІКУ КАЛОРІЙ ГРУПИ ОСІБ

Постановка проблеми та її актуальність. В умовах сучасного ритму життя дедалі більше людей прагнуть вести здоровий спосіб життя, контролювати свій раціон і споживання калорій. Більша частина мобільних застосунків пропонують функціонал для індивідуального підрахунку калорій, проте бракує рішень, що дозволяють здійснювати облік для групи осіб. Наприклад, мати, яка планує харчування для всієї сім'ї, стикається з проблемою відстеження споживаних продуктів і загальної калорійності раціону чоловіка, дітей або літніх родичів. Отже, актуальним є створення веб-застосунку, який дозволить одній особі вести облік калорій для кількох осіб, а також більш легко формувати меню і списки покупок на тиждень.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження, проведене Гарвардською школою громадського здоров'я, демонструє, що регулярне планування харчування сприяє більш здоровому вибору продуктів та зниженню ризику надмірного споживання калорій на 20%. Це підкреслює необхідність розробки зручних цифрових рішень для спільного планування меню та формування списків покупок [1].

Формулювання мети. Метою роботи є розробка веб-застосунку для ведення обліку калорій та планування харчування групи осіб. Застосунок має забезпечити користувачів зручним інтерфейсом, можливістю введення індивідуальних параметрів кожного члена групи, автоматичним розрахунком калорійності раціону та створенням списку необхідних продуктів для закупівлі.

Основна частина. Веб-застосунок матиме можливість додавання користувачів до групи (наприклад, членів родини), введення та коригування індивідуальних параметрів кожного користувача, таких як вік, стать, рівень фізичної активності. Для розрахунку основного обміну речовин, кількості калорій, яку організм витрачає в стані спокою для підтримки життєво важливих функцій, визначається за формулою [2]:

$$\text{BMR} = 10 * M + 6.25 * H - 5 * A + k,$$

де BMR – Basal Metabolic Rate в ккал, M – маса тіла в кг, H – зріст у см, k – коефіцієнт статі (k= -161 для чоловіків, k=5 для жінок), A – вік в роках.

Для розрахунку добової норми калорій (TDEE), BMR домножується на коефіцієнт фізичної активності:

$$\text{TDEE} = \text{BMR} * A_c,$$

де A_c – коефіцієнт фізичної активності. Для різного рівня активності свої значення, до прикладу $A_c=1,2$ – мінімальна активність (сидячий спосіб життя), $A_c=1,9$ – дуже висока активність (щоденні інтенсивні тренування або фізично важка робота)

Формула заснована на рівнянні Міффіна-Сан Жеора, яке широко використовується у дієтології для розрахунку базового рівня метаболізму (BMR). Вона дозволяє визначити необхідну кількість калорій для підтримання життєдіяльності організму, з урахуванням фізичної активності. Застосунок дозволить створювати меню на тиждень з урахуванням

потреб кожного користувача та автоматично формуватиме список продуктів для закупівлі, необхідних для приготування страв із меню. Використовуватиметься база даних продуктів із зазначенням їхньої калорійності та складу. Передбачено зручний інтерфейс із можливістю перегляду та редагування даних у реальному часі, підтримку авторизації та збереження історії харчування, а також мобільну адаптацію для зручності використання на смартфонах.

Архітектура системи базуватиметься на клієнт-серверному підході. Фронтенд буде реалізований на React для створення інтерактивного користувацького інтерфейсу. Використання бібліотек, таких як Redux або React Context API, дозволить керувати станом застосунку та забезпечить ефективну передачу даних між компонентами.[3] Бекенд використовуватиме ASP.NET Core для обробки запитів, управління користувачами та збереження даних. Завдяки використанню Web API можна буде легко масштабувати застосунок і забезпечити взаємодію з іншими сервісами. База даних MySQL зберігатиме інформацію про користувачів, продукти, меню та історію харчування. Оптимізація запитів до бази даних за допомогою ORM (Object-Relational Mapping) технології, такої як Entity Framework Core, дозволить підвищити продуктивність і зручність роботи із даними. Для забезпечення безпеки даних будуть використовуватися JWT-токени для аутентифікації користувачів, а також шифрування паролів за допомогою BCrypt, що запобігатиме витоку конфіденційної інформації у разі злому системи. Можуть бути впроваджені двофакторна автентифікація та обмеження за ролями користувачів для підвищення рівня безпеки.

Алгоритм роботи включатиме такі етапи: користувач реєструється та додає до групи членів родини, вказує параметри кожного користувача, створює тижневе меню, вибираючи страви або використовуючи автоматичну генерацію, після чого система формує список покупок на основі вибраного меню. У режимі реального часу можна вносити зміни, додавати, редагувати або видаляти продукти. Крім того, застосунок міститиме систему рекомендацій, що допомагатиме користувачам у виборі страв, враховуючи їхні вподобання, калорійні норми та історію споживання продуктів. Система базуватиметься на моделі MVC (Model-View-Controller), що дозволить розділити логіку бізнес-правил, представлення даних і обробку користувацьких запитів. Використання REST API забезпечить взаємодію між клієнтською та серверною частинами.

На початковому етапі веб-застосунок буде реалізовувати стандартний функціонал для введення та аналізу даних щодо харчування. Основний акцент робиться на можливості ручного введення інформації про активність користувачів та коригування їхнього раціону відповідно до визначених параметрів. Надалі можливе розширення функціоналу шляхом інтеграції з Google Fit, Apple HealthKit та іншими платформами для автоматичної синхронізації даних, але це не є пріоритетним завданням на першому етапі розробки.

Висновки. Веб-застосунок для обліку калорій та планування харчування групи осіб є актуальним рішенням, що сприяє покращенню харчових звичок сімей та окремих груп користувачів. Впровадження сучасних технологій дозволить зробити систему простою у використанні та ефективною для широкого кола споживачів. Завдяки використанню адаптивного дизайну та хмарних технологій, користувачі матимуть доступ до свого профілю та даних з будь-якого пристрою в будь-який час.

Перелік посилань:

1. Better Off Podcast: What makes a meal healthy? *Harvard T.H. Chan School of Public Health*. URL: <https://hsph.harvard.edu/news/healthy-meal/> (дата звернення: 20.02.2025).
2. Gropper S. S., Smith J. L. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. – 7th ed. – Cengage Learning, 2017. – 640 p.
3. Freeman A. *Pro ASP.NET Core MVC 2*. – Apress, 2017. – 1016 p.

СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ МУЗИЧНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ЗА АУДИОФРАГМЕНТОМ

Постановка проблеми та її актуальність. З розвитком цифрових технологій та стрімким поширенням мультимедійного контенту актуальним стає завдання захисту авторських прав. Незаконне використання музичних творів, порушення ліцензійних угод та піратське розповсюдження контенту завдають значних збитків правовласникам. Це вимагає розробки ефективних методів ідентифікації аудіозаписів. Один із таких методів – «аудіофінгерпринтинг» або створення цифрових «аудіовідбитків». Ця технологія дозволяє отримати унікальне представлення аудіофайлу, що дає змогу розпізнавати записи навіть за наявності сторонніх шумів або при низькій якості запису.

Аналіз останніх досліджень. Алгоритми для розпізнавання музики зазвичай базуються на обробці аудіосигналів з використанням різних методів перетворення та аналізу часових та частотних характеристик. Один із найвідоміших алгоритмів, запропонований розробниками «Shazam», працює на основі аналізу спектрограми, що будується за допомогою перетворень Фур'є [1]. Його ключова особливість – виділення найбільш виразних точок у частотно-часовому представленні сигналу, які потім перетворюються на хеш-коди для пошуку у базі даних.

Інший підхід, розроблений компанією «Philips», також використовує перетворення Фур'є для отримання спектрограми, але замість виділення окремих точок будує бінарне представлення всього спектра, відстежуючи зміни звукових характеристик у часі та частоті [2].

Третій метод, Wavermint, на відміну від попередніх методів, застосовує хвильовий аналіз [3]. У цьому методі цифровий «відбиток» формується на основі найсильніших за амплітудою коефіцієнтів «вейвлет-перетворення», що дають інформативну характеристику звуку.

Формулювання мети. Метою є розробка алгоритму для розпізнавання музичних композицій за короткими аудіофрагментами. Алгоритм повинен забезпечувати високу швидкість і точність ідентифікації, а також бути стійким до спотворень аудіосигналів.

Основна частина. Система розпізнавання музичних композицій складається з двох етапів: реєстрації цифрових аудіовідбитків та їх розпізнавання (рис. 1):

- реєстрація включає такі кроки, як обробка аудіофайлу, формування спектрограми, знаходження пікових точок та створення унікальних хешів, які зберігаються в базі даних;
- розпізнавання, в свою чергу, відрізняється від реєстрації тим, що хеші не зберігаються, а використовуються для зіставлення з вже існуючими елементами в базі даних.

Процес реєстрації починається з попередньої обробки аудіофайлу, яка включає стандартизацію характеристик (формат, бітрейт, частоту дискретизації). Потім сигнал розбивається на короткі часові відрізки або «вікна» фіксованої тривалості, що в подальшому допомагає знизити складність роботи з даними.

Наступним етапом є формування спектрограми за допомогою перетворення Фур'є. Спектрограма – це двовимірне представлення сигналу у вигляді діаграми, де на горизонтальній осі подано час, на вертикальній – частота, а інтенсивність кольору кожної точки зображення відображає потужність частоти або, іншими словами, значення

амплітуди в певний момент часу. Вона допомагає ідентифікувати ключові частоти, які використовуються для створення цифрових «відбитків».

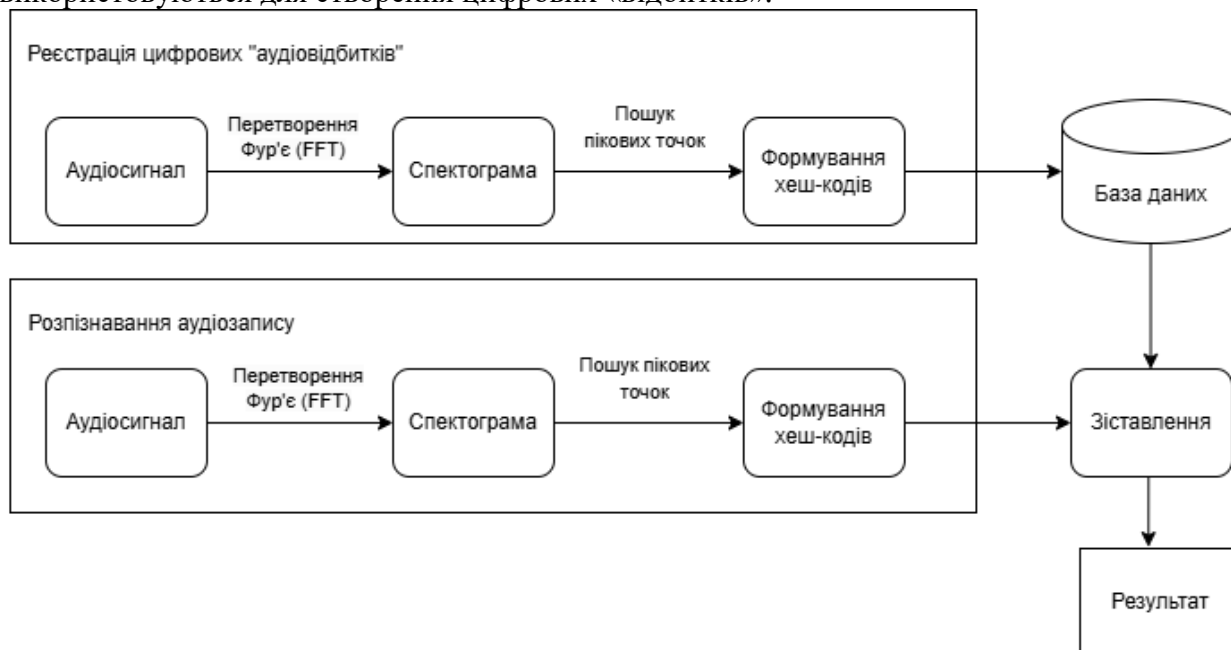


Рисунок 1 – Алгоритм розпізнавання музичних композицій

Після цього відбувається пошук точок на спектрограмі – піків амплітуд, що формують сигнал, який є унікальним для кожного окремого фрагмента аудіозапису.

Фінальним кроком є створення колекції хеш-кодів з отриманого набору піків. Для цього пікові точки комбінують у пари і на основі їх координат записують значення частот та часовий інтервал між ними. Готові хеші, разом з позначками часу та ідентифікаторами запису зберігаються в базі даних. Таким чином формується база цифрових «відбитків» пісень для подальшої ідентифікації.

Наступною стадією є процес розпізнавання пісні, що полягає у зіставленні хеш-кодів, тобто пошуку відповідності між хеш-кодами в базі даних та хеш-кодами невідомого аудіофрагмента. Оскільки невідомий запис, що проходить ідентифікацію не завжди буде починатися з початку пісні, то крім того що знайти збіги в хеш-кодах, також слід впевнитися що вони знаходяться на одній відстані один між одним. Якщо хеш із нового запису співпадає з хешом в базі даних, то шукається різниця між їх часовим розташуванням в аудіофрагментах. Далі підраховується, яка різниця зустрічається найчастіше серед усіх знайдених збігів. Пісня, для якої ця різниця має найбільшу кількість повторень буде визначена як результат розпізнавання.

Висновки. У роботі запропоновано алгоритм ідентифікації музичних композицій, що базується на створенні унікальної цифрової репрезентації аудіозаписів. Аналіз існуючих методів показав, що аудіофінгерпринтинг є ефективним способом розпізнавання звукових фрагментів навіть за умов коли аудіосигнал зазнає впливу зовнішніх перешкод. Розробка такої системи є актуальною задачею у сфері захисту авторських прав та відкриває широкі можливості для його застосування стрімінговими сервісами.

Перелік посилань:

1. An Industrial-Strength Audio Search Algorithm. URL: <https://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/Wang03-shazam.pdf> (дата звернення: 27.10.2003).
2. A Highly Robust Audio Fingerprinting System. URL: <https://ismir2002.ismir.net/proceedings/02-FP04-2.pdf> (дата звернення: 01.06.2003).
3. Content Fingerprinting Using Wavelets. URL: https://www.researchgate.net/publication/224698146_Content_Fingerprinting_Using_Wavelets (дата звернення: 01.12.2006).

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВІДЕОПОТОКІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ЗАГРОЗ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасному світі безпека у громадських місцях є однією з найважливіших соціальних проблем. Підвищення рівня злочинності, терористичних атак та природних катастроф потребують інноваційних рішень для оперативного виявлення та нейтралізації загроз. Системи для автоматичного моніторингу відеопотоків здатні стати ключовим інструментом для підвищення ефективності правоохоронних органів та служб безпеки, дозволяючи мінімізувати шкоду, завдяки швидкому виявленню небезпечних подій [1].

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження у сфері виявлення загроз на відеопотоках базуються на використанні технологій комп'ютерного зору, глибокого навчання та обробки великих обсягів даних [2, 3]. Найбільш ефективними підходами є застосування згорткових нейронних мереж (CNN), рекурентних нейронних мереж (RNN) та трансформерів, які дозволяють досягти високої точності у розпізнаванні об'єктів та подій. Наприклад, моделі YOLOv8 та EfficientDet демонструють високу продуктивність у задачах детекції об'єктів у реальному часі, що робить їх перспективними для використання у системах моніторингу.

Формулювання мети. Метою даного дослідження є розробка ефективної системи моніторингу відеопотоків, яка в режимі реального часу аналізує відео для виявлення потенційних загроз. Система повинна автоматично сповіщати відповідні служби у разі виявлення небезпечних ситуацій, таких як насильство, аварії, стихійні лиха, виявлення вогнепальної або холодної зброї, а також вибухонебезпечних предметів. Основна задача полягає у забезпеченні високої точності виявлення, мінімізації часу реакції та інтеграції з існуючими системами безпеки.

Основна частина. Система моніторингу базується на сучасних підходах до обробки мультимедійних даних та машинного навчання. Для аналізу відео використовуються моделі YOLO, яка забезпечують високу точність виявлення об'єктів та подій. Отримані дані передаються до модуля класифікації, де на основі попередньо навчених моделей визначається рівень загрози. Для підвищення надійності система включає методи обробки руху та контекстного аналізу сцени, що дозволяє мінімізувати кількість хибних спрацьовувань.

У разі виявлення небезпечної ситуації система автоматично формує сповіщення, яке містить скріншот із позначенням UTC часу та місцезнаходженням загрози. Такі повідомлення надсилаються до відповідних служб для оперативного реагування. Додатково передбачена функція інтеграції з міськими системами безпеки та базами даних правоохоронних органів, що дозволяє швидко ідентифікувати підозрюваних.

Під час тестування пілоотної версії системи було досягнуто непоганих результатів: точність виявлення вогнепальної зброї склала 84 %, насильства – 70 %, вибухонебезпечних предметів – 70 %. Час реакції системи не перевищує 1 секунди, що забезпечує своєчасне інформування відповідних органів про критичні ситуації. Крім того, алгоритм самонавчання дозволяє покращувати ефективність системи на основі аналізу нових відеозаписів (рис. 1).



Рисунок 1 – Алгоритм самонавчання моделі

Висновки. Розробка системи моніторингу відеопотоків стане ефективним інструментом для виявлення загроз у громадських місцях. Вона дозволить оперативно реагувати на небезпечні ситуації та значно підвищить рівень громадської безпеки. Основні переваги системи включатимуть високу точність виявлення, швидкий час реакції та можливість інтеграції з існуючими інфраструктурами. Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення функціональності системи шляхом інтеграції додаткових сенсорів, покращення алгоритмів аналізу відео та аудіо, а також адаптації до різних умов експлуатації.

Перелік посилань:

1. SSIVD-Net: A Novel Salient Super Image Classification & Detection Technique for Weaponized Violence. URL: <https://paperswithcode.com/paper/towards-smart-city-security-violence-and> (дата звернення: 25.08.2024).
2. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning, 2016 – 801 p. (дата звернення: 01.09.2024).
3. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. URL: <https://arxiv.org/pdf/1409.1556> (дата звернення: 10.09.2024).

¹ Бакалаврант 4 курсу Руденко В.І.; ¹ Бакалаврант 4 курсу Імаєва Т.А.

¹ Проф., д.т.н. Отрох С.І.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=Aye6WfAAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ ІОТ НА БАЗІ WIFI ТЕХНОЛОГІЇ

Постановка проблеми та її актуальність. В умовах розвитку технологій Інтернету речей (IoT) виникає проблема створення ефективних методів дистанційного керування пристроями, що забезпечують якісну комунікацію та безпечний обмін даними. Зазвичай, традиційні системи автоматизації технічно обмежені, через фізичну прив'язку контролера до інфраструктури, що ускладнює масштабування системи та підвищує витрати на обслуговування.

Технологія Wi-Fi спроможна забезпечити виконання поставлених задач з більшою ефективністю. Включає в собі якісні переваги, такі як: доступність, енергоефективність та надійність. Ідея використання даної технології дозволяє інтегрувати різноманітні IoT пристрої в одній мережі з використанням меншої кількості ресурсів, що також зменшує ціну обслуговування даної системи. Додатковою та головною перевагою є можливість дистанційного керування пристроями, що значно розширює доступний функціонал системи.

Однак подібні системи мають недоліки, що проявляються у вигляді необхідності розробки продуманої системи комунікацій між приладами, системи що включає в себе рішення ефективної передачі даних та необхідності оптимізації процесів обробки. Крім того, оптимізована обробка процесів є критичною необхідністю в даних типах системах, оскільки велика кількість пристроїв може генерувати значні обсяги трафіку, що потребують більш ефективного підходу оперування.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження у сфері керування IoT-пристроями з використанням Wi-Fi технологій часто зосередженні на розробці трьох напрямів: протоколи зв'язку для взаємодії пристроїв в системі, засоби інформаційної безпеки та оптимізації мережевих архітектур.

На кожен напрямок існує прогресивний лідер, що сфокусований на власних універсальних рішеннях. Прикладом таких представників будуть: OASIS (розробка стандарту MQTT) [2], Cisco (виявлення аномалій в мережі для підвищення безпеки) [3], Huawei (дослідження автономності систем) [1]. Але через особливості рішень виникає необхідність створення архітектури, яка спроможна об'єднати можливості різних напрямів в одне ціле. Це особливо актуально для великих розподілених мереж IoT, де стабільність передачі даних та енергоефективність є ключовими факторами успішної роботи системи.

Формулювання мети. Метою дослідження є розробка системи керування IoT пристроями за допомогою технології Wi-Fi, що має забезпечити надійну комунікацію, обмін даними та обробкою інформації. Робота передбачає використання сучасних протоколів зв'язку, зокрема MQTT. Розроблена система має бути оптимізованою стосовно енергоспоживання, задовольняти потреби стабільної передачі даних та підготовленою до гнучкого використання, розширивши можливості взаємодії пристроїв.

Основна частина. Керування пристроями IoT на базі Wi-Fi потребує для своєї роботи ефективної комунікації між пристроями та безпечного обміну даними. Використання MQTT протоколу задовольняє дані потреби та дозволяє реалізувати взаємодію між пристроями, брокером та клієнтською частиною [2]. MQTT працює за принципом «видавець-підписник», що дозволяє забезпечити високу швидкість передачі даних та гнучке керування пристроями Основні процеси, які виконує система включають в

себе прийом та виконання пристроєм зазначених команд та передавання інформації, отриманої в ході роботи.

На рис. 1 зображено спроектовану архітектуру взаємодії між основними компонентами системи. Користувач має можливість керувати пристроєм через додаток за допомогою запитів, які надсилаються на брокер-сервер. Брокер натомість надсилає інформацію до підключених пристроїв, що виконують певні функції в системі та за необхідності передавати зворотну відповідь у вигляді інформації з периферії. Подібна система спроможна забезпечити базовий двосторонній зв'язок та передачу інформації між компонентами.

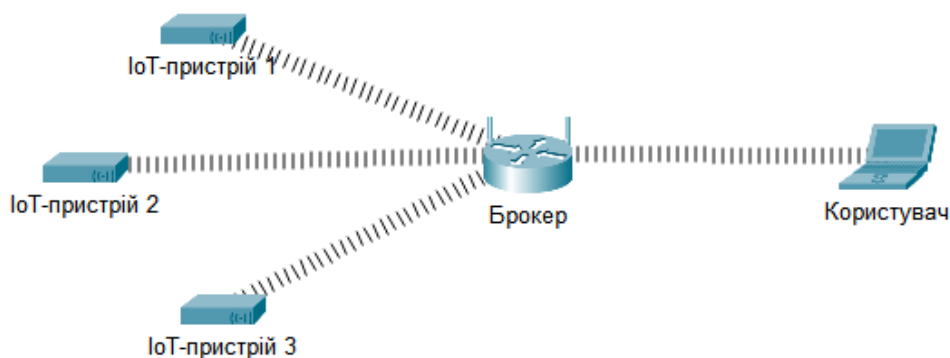


Рисунок 1 – Модель взаємодії IoT-пристроїв з системою

Система пристрою розробляється на базі мікроконтролера, який попри недоліки потужності має переваги у вигляді простоти використання, енергоефективності та мобільності [4]. Завдяки своїм характеристикам такий пристрій підходить до реалізації проектів IoT, оскільки дозволяє забезпечити роботу з використанням мінімум енергетичних ресурсів.

Такий пристрій підключений до MQTT-брокера, що представляє розгорнутий публічний сервер, такий підхід дозволяє передавати дані з мінімальними витратами енергії [2]. Взаємодія між кінцевими приладами, що включає в себе IoT-пристрій та додаток користувача, відбувається за допомогою запитів в JSON форматі. Такий підхід дозволяє інтегрувати пристрої із зовнішніми сервісами, наприклад, хмарними платформами для збору та аналізу даних [4].

Автоматизація керування пристроями можлива завдяки заздалегідь сформованим сценаріям, які надаються користувачеві для вибору. Це дозволяє адаптувати систему під конкретні потреби замовника, забезпечуючи гнучке налаштування поведінки пристроїв залежно від заданих умов або тригерів.

Висновки. Розроблена система керування IoT-пристроями на базі Wi-Fi технології дозволяє здійснювати ефективний та безпечний обмін даними між мікроконтролерами, брокером та клієнтським додатком. Ключовими факторами є реалізація механізму надійної передачі даних та комунікацій. Впроваджені рішення допоможуть оптимізувати енергоспоживання в системі та підвищити рівень обслуговування.

Перелік посилань:

1. Dang W., Huang R. Autonomous Driving Network: Network Architecture in the ERA of Autonomy. CRC Press LLC, 2024.
2. Shah P. H. MQTT Systems: A Survey. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2024. Vol. 12, no. 3. P. 1063–1067. URL: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.59000> (date of access: 03.03.2025).
3. Network management fundamentals / ed. by C. S. Inc. Indianapolis, IN : Cisco Press, 2007. 510 p.
4. Herrero R. Fundamentals of IoT Communication Technologies. Cham : Springer International Publishing, 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-70080-5>.

¹ Бакалаврант 4 курсу Сапожников О.Ю.

¹ Доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

<https://scholar.google.ru/citations?user=g3-qVSgAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ФАХІВЦЯ АЕС З ДОЗИМЕТРІЇ ТА ЗАХИСТУ ВІД ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Постановка проблеми та її актуальність. На території України існують райони з підвищеним рівнем радіаційного забруднення. Забруднені території становлять потенційну небезпеку для здоров'я людей, зокрема для фахівців, які працюють у галузі дозиметрії на атомних станціях. Дозиметристи, які здійснюють вимірювання рівня радіаційного випромінювання, можуть піддаватися впливу небезпечних доз іонізуючого випромінювання, що створює серйозні ризики для їхнього здоров'я та життя.

Сучасні методи радіаційного моніторингу в Україні мають ряд обмежень, зокрема: необхідність вручну здійснювати вимірювання на великій площі, що потребує значних ресурсів і часу; підвищена вірогідність людської помилки при вимірюваннях; відсутність інтегрованих систем для швидкої та точного збору даних, що обмежує можливість своєчасного реагування на критичні зміни радіаційного фону [1, 2].

Таким чином, актуальність проблеми полягає в необхідності розробки ефективних інструментів для автоматизованого контролю радіаційного забруднення, зокрема для забезпечення безпеки дозиметристів під час їх роботи в забруднених зонах. Враховуючи специфіку таких зон, важливим є впровадження новітніх технологій, таких як використання дронів для збору даних і їх подальша обробка в автоматизованих системах, що дасть змогу підвищити точність вимірювань, зменшити ризики для працівників і оперативно реагувати на зміни в радіаційному фоні.

Формулювання мети. Метою роботи є створення автоматизованого робочого місця для працівника АЕС, яке дозволяє здійснювати точні вимірювання рівня радіації в умовах забруднених територій, оцінювати потенційну дозу опромінення і інтегрувати отримані дані в географічні інформаційні системи для створення карти забруднення.

Основна частина. Для реалізації автоматизованого робочого місця фахівця з дозиметрії буде створена база даних, яка буде забезпечувати зберігання всіх необхідних даних, пов'язаних з процесом вимірювання та аналізу. Основні дані, які будуть зберігатися в базі даних, включають координати точок вимірювання, показники рівня радіації, типи дозиметрів, час між вимірюваннями, а також дані про користувачів. База даних буде підтримувати зберігання історії вимірювань, що дозволить проводити подальший аналіз та порівняння даних на різних етапах роботи.

Розроблений інтерфейс користувача, дозволить вводити необхідні дані про координати, обирати тип дозиметра та інші параметри, переглядати результати вимірювань і генерувати звіти за допомогою карти забруднення. Для побудови карти буде використовуватися географічна інформаційна система QGIS – це програмне забезпечення з відкритим кодом для роботи з геопросторовими даними, яке надає можливість здійснювати аналіз, візуалізацію і обробку на основі просторових даних [3].

Якщо територія виявляється частково забрудненою, фахівець з дозиметрії проводить точне вимірювання, проходячи територію з дозиметром та вносячи точні дані у систему. Після завершення вимірювань система дозволяє передати зібрані дані в геоінформаційну систему для створення візуальної карти забруднення.

Фінальним етапом є отримання карти забруднення та генерація звіту, який містить всі зібрані дані та візуальне представлення радіаційного фону території. Система також забезпечує можливість перегляду історії попередніх вимірювань.

Основний алгоритм роботи програми полягає в послідовному виконанні наступних кроків:

1. **Авторизація користувача.** Користувач вводить свої облікові дані для доступу до системи.
2. **Створення нового вимірювання.** Користувач створює нову сесію вимірювання, що включає інформацію про місце, час та цілі вимірювання.
3. **Генерація матриці вимірювання.** Програма автоматично генерує матрицю вимірювання, яка визначає точки, де будуть проводитись вимірювання.
4. **Грубе вимірювання дроном.** Використання дрона для первинного вимірювання рівня радіації на великій площі.
5. **Розрахунок потенційної дози.** На основі грубих вимірювань програма розраховує потенційну дозу опромінення.
6. **Перевірка рівня забруднення.** Програма аналізує дані, щоб визначити рівень радіоактивного забруднення.
7. **Точне вимірювання.** У разі виявлення проблемних зон програма пропонує виконати точне вимірювання за допомогою спеціалізованих приладів.
8. **Експорт в QGIS.** Дані вимірювань експортуються в систему QGIS (Geographic Information System) для подальшої просторової обробки та аналізу.
9. **Імпорт зображення.** Програма підтримує імпорт зображень, що дозволяє додавати візуальні дані до результатів вимірювань.
10. **Генерація звіту.** Після завершення всіх вимірювань та аналізу даних програма автоматично генерує звіт, який включає всі отримані дані, висновки та рекомендації.

Цей алгоритм охоплює всі аспекти дозиметричного дослідження, від збору даних до формування підсумкового звіту, що робить його надійним інструментом для забезпечення радіаційної безпеки.

Алгоритм враховує всі етапи дозиметричного дослідження від визначення параметрів території до формування підсумкового звіту, що робить його повноцінним інструментом для гарантії радіаційної безпеки.

Висновки. У результаті роботи розглянуто проблематику та вимоги до створення системи автоматизованого робочого місця для фахівця АЕС. Основна мета є реалізація інтегрованої системи для збору, обробки та візуалізації даних про радіаційне забруднення, що поєднає сучасні технології геоінформаційних систем та автоматизованого збору інформації.

Практичне значення системи полягає у мінімізації ризиків для фахівців завдяки зменшенню їхньої безпосередньої присутності в зонах підвищеного радіаційного забруднення. Візуалізація даних у геоінформаційній системі дозволяє оперативно ухвалювати рішення щодо заходів безпеки на території АЕС чи в інших зонах з підвищеним рівнем радіації. Запропоновані методи можуть бути використані у сфері екологічного моніторингу, аварійного реагування та оптимізації процесів радіаційного контролю на промислових об'єктах.

Перелік посилань:

1. Гудков І., Кашпаров В., Паренюк О. Радіоекологічний моніторинг. Київ, 2019. 188 с.
2. Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю. Радіоекологічний моніторинг: навчальний посібник. Київ, 2018. 194 с.
3. QGIS overview · QGIS Web Site. Spatial without Compromise · QGIS Web Site. URL: <https://qgis.org/project/overview/> (дата звернення 2.03.2025).

ІНТЕРАКТИВНА ВЕБ-ПЛАТФОРМА ПРОПОЗИЦІЇ СПОРТИВНИХ ТОВАРІВ

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасний ринок спортивних товарів постійно зростає за обсягом і пропонує широкий асортимент продукції (одяг, взуття, аксесуари, професійне обладнання). Через велику кількість пропозицій споживачі часто витрачають багато часу на пошук потрібного товару, порівняння характеристик і цін. В умовах стрімкого розвитку електронної комерції та зростання конкуренції серед інтернет-магазинів, постає потреба у створенні інтерактивних веб-платформ, які б не лише забезпечували зручну навігацію та персоналізовані рекомендації, а й підтримували сучасні технології (3D-візуалізація, доповнена реальність, хмарні рішення).

Аналіз останніх досліджень. Дослідження [1, 2] підтверджують, що провадження алгоритмів штучного інтелекту для аналізу уподобань користувачів, можливості «приміряти» товари в режимі реального часу (через AR) та наявність інтерактивних інструментів порівняння сприяють підвищенню конверсії продажів. Разом із тим, важливо враховувати такі аспекти, як розширені засоби фільтрації товарів, ефективна структура бази даних, масштабованість інфраструктури та забезпечення належного рівня безпеки.

Наукові та прикладні розвідки у сфері електронної комерції демонструють низку інноваційних підходів, спрямованих на покращення користувацького досвіду. Зокрема, у роботах [3] наголошується на важливості інтеграції елементів візуалізації (3D-моделі, 360°-огляди) та розумних фільтрів, що враховують не лише базові характеристики товару, але й додаткові критерії, такі як екологічність, популярність серед певних груп користувачів. Також значну увагу приділено впровадженню технологій доповненої реальності (AR), які дозволяють користувачам «приміряти» одяг, взуття або аксесуари онлайн, зменшуючи дискомфорт від неможливості фізично перевірити товар.

Досвід зарубіжних компаній свідчить, що комплексний підхід до розробки веб-платформ – із залученням фахівців з дизайну інтерфейсів, спеціалістів із даних та експертів у сфері штучного інтелекту – дає змогу створювати рішення, котрі ефективно поєднують естетику, зручність та функціональність. Разом з тим, мало хто з розробників приділяє достатню увагу інтеграції систем зворотного зв'язку, формуванню персоналізованих рекомендацій на основі машинного навчання та організації масштабованих хмарних інфраструктур.

Формулювання мети. З урахуванням згаданих тенденцій та виявлених потреб у сфері електронної комерції, метою даного дослідження є:

1. Розроблення концепції інтерактивної веб-платформи для продажу спортивних товарів, що включає: динамічне наповнення розділів сайту через базу даних, створення головної сторінки та впровадження системи навігації, інтеграцію веб-ресурсу з соціальними мережами.
2. Реалізація поетапного підходу до створення веб-сайту: від проєктування структури та бази даних до інтеграції серверної логіки, оптимізації продуктивності й впровадження ролей користувачів.
3. Забезпечення масштабованої архітектури і належного захисту персональних даних та платіжних транзакцій.

Основна частина. Розробка веб-платформи для продажу спортивних товарів включає кілька основних етапів, кожен з яких відповідає конкретним завданням:

1. Опрацювання літератури, що стосується засобів розробки веб-сайтів. Проєктування структури сайту і розробка схеми бази даних. На цьому етапі проводиться аналіз існуючих фреймворків та підходів до проєктування веб-сайтів. Визначаються основні розділи, категорії та функціонал платформи. Особливу увагу приділяють схемі бази даних, в якій передбачаються сутності «Товар», «Користувач», «Замовлення» та інші, необхідні для повноцінної роботи. Правильне структурування даних і проєктування зв'язків забезпечить високу продуктивність під час пошуку та обробки інформації.
2. Розробка інтерфейсу сайту. Додавання динамічного наповнення розділів сайту через базу даних. Створення головної сторінки та впровадження системи навігації. Інтеграція веб-ресурсу з соціальними мережами. Створення привабливого та зручного інтерфейсу з урахуванням принципів UI/UX-дизайну. На головній сторінці розміщуються ключові категорії спортивних товарів, акційні пропозиції та новинки. Також реалізується система навігації за категоріями та пошуковий рядок із можливістю розширених фільтрів. Важливою складовою є інтеграція з популярними соціальними мережами для спрощення комунікації з користувачами та просування товарів.
3. Програмування серверної частини. Створення базової автентифікації користувачів: реєстрація, вхід, вихід із системи. Створення панелі адміністратора. Реалізується механізм автентифікації, що дозволяє користувачам створювати облікові записи, входити та виходити із системи. Паралельно програмуються ролі: «звичайний користувач» має доступ до пошуку, перегляду, додавання товарів до кошика, а «адміністратор» може керувати списком товарів, відстежувати замовлення та модерувати відгуки. Для адміністратора створюється зручна панель керування з інтуїтивним інтерфейсом.
4. Програмна реалізація корзини для замовлень з оплатою при отриманні. Реалізація функціоналу налаштувань профілю користувача. Впроваджуються вдосконалені механізми безпеки: двофакторна авторизація, обмеження доступу до адмін-панелі згідно з ролями. Водночас триває активне інформаційне наповнення сайту – додаються детальні описи товарів, фотографії, характеристики. Для покупки товарів користувачам пропонується кошик із можливістю редагування товарів і формування замовлення з оплатою при отриманні. Додатково реалізується функціонал профілю: зміна пароля, перегляд історії покупок, налаштування контактних даних.
5. Оптимізація продуктивності сайту (зменшення часу завантаження, оптимізація зображень). Тестування сайту на працездатність. Завершальним етапом є оптимізація швидкодії. Використовуються методи кешування, мінімізація CSS/JS-файлів, конвертація зображень у сучасні формати (WebP) для скорочення часу завантаження сторінок. Також проводиться комплексне тестування. Виправляються виявлені помилки та вдосконалюються механізми безпеки.

Висновки. Запропонована концепція інтерактивної веб-платформи для продажу спортивних товарів враховує сучасні тенденції ринку та технологічні можливості. Поетапна розробка дозволяє систематично впроваджувати основний функціонал і забезпечувати належну продуктивність та безпеку. Реалізація подібного підходу сприятиме підвищенню конверсії онлайн-продажів, покращенню користувацького досвіду та зменшенню часу на вибір товарів. У перспективі таке рішення може бути масштабоване на інші сегменти ринку, де потрібні персоналізовані рекомендації та інноваційні технології візуалізації.

Перелік посилань:

1. Smith J. AI in E-Commerce: Trends and Developments. USA: O'Reilly Media, 2021. – С. 45–50.
2. Brown K. Personalized Shopping Experience. Journal of Digital Commerce, 2020. – С. 112–120.
3. Li J. Augmented Reality in Online Retail. International Conference on Web Technologies, 2019. – С. 78–85.

¹ Бакалаврант 4 курсу Стець А.О.

¹ Доц., к.т.н. Кублій Л.І.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=rXA1eMIAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТРЕНУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ГРИ «КАМІНЬ-НОЖИЦІ-ПАПІР»

Постановка проблеми та її актуальність. Методи машинного навчання і нейронні мережі широко застосовують у різних сферах для розв'язання задач, пов'язаних із прогнозуванням поведінки, аналізом закономірностей та адаптацією до змінних умов динамічних середовищ. Для ефективного навчання нейронних мереж критично важливими є різноманітні дані хорошої якості. У контексті гри «Камінь-Ножиці-Папір» дані, зібрані під час реальних ігор з людьми, дають можливість моделі вивчати закономірності і стратегії, які використовують гравці, оскільки гра може включати як випадкові, так і стратегічні ходи. Модель має навчитися адаптуватися до поведінки суперника і передбачати його наступні дії.

Збір великого обсягу ігрових даних є складним завданням, оскільки для цього необхідно залучити велику кількість гравців. Щоб розв'язати цю проблему, доцільно використовувати методи аугментації (розширення) і генерації даних. Це дає змогу збільшити навчальний набір, покращити його репрезентативність і забезпечити стійкість моделі до різних стилів гри. Додатково важливим аспектом є узагальнення отриманих даних для створення гнучкої ефективної моделі. Поєднання реальних і згенерованих даних сприяє кращому узагальненню даних, що дає можливість класифікувати стилі гри гравців і підбирати оптимальні стратегії для досягнення перемоги.

Аналіз останніх досліджень. Хоч безпосередньо для гри «Камінь-Ножиці-Папір» існує обмежена кількість досліджень, багато публікацій присвячено розробці алгоритмів, здатних прогнозувати дії користувачів і моделювати їхні стратегії, що робить їх актуальними для реалізації цього проєкту.

Одним із ключових факторів для побудови ефективної ігрової моделі є аналіз минулих дій гравця, що дає можливість прогнозувати його наступний вибір. Дослідження, виконані в роботі [1], показали, що адаптація до стилю гри суперника на основі машинного навчання значно покращує результати моделі. Незважаючи на відмінності між покером і грою «Камінь-Ножиці-Папір», принцип аналізу поведінки гравця залишається важливим для обох ігор. У роботі [2] розглянуто питання, як штучний інтелект може імітувати в рамках стратегічних ігор стратегії прийняття рішень, подібні до людських. Досліджено методи прогнозування рішень, які дають можливість штучному інтелектові краще взаємодіяти з людиною в ігрових сценаріях. Крім цього, в роботі [3] досліджено застосування автоенкодерів для оптимізації нейронних мереж, що сприяє зменшенню кількості входних параметрів, зберігаючи при цьому ключові характеристики даних. Такий підхід дає можливість мінімізувати обчислювальні витрати і водночас підвищити точність аналізу ігрових схем, а це є особливо корисним для прогнозування стратегій у грі «Камінь-Ножиці-Папір».

Формулювання мети. Метою проєкту є розробка нейронної мережі, здатної грати в гру «Камінь-Ножиці-Папір» з людиною, забезпечуючи їй конкурентоспроможний захоплюючий досвід. Задум полягає в створенні моделі, яка не просто вибирає хід випадковим чином, а аналізує попередні дії гравця, виявляє можливі закономірності, адаптується до індивідуальної стратегії кожного гравця.

Основна частина. Для ефективного навчання нейронних мереж критично важливими є різноманітні якісні дані. У контексті гри «Камінь-Ножиці-Папір» дані, зібрані

під час реальних ігор з людьми, дають можливість мережі вивчити закономірності і стратегії, які використовують гравці. Такі дані повинні відображати різноманітні стилі гри, щоб була можливою адаптація до поведінки суперника і стійкість до випадковості вибору гравця, щоб модель могла ефективно передбачати наступний хід і підбирати відповідну стратегію для досягнення перемоги. Різноманітність і репрезентативність вибірок є основою для створення нейронної мережі, здатної не лише до навчання, але й до узагальнення даних. Для обробки даних широко використовують бібліотеку Pandas [4], яка забезпечує можливість ефективно працювати з таблицями даних і виконувати різні статистичні операції. Для аналізу закономірностей корисним є застосування методів машинного навчання, доступних у бібліотеці scikit-learn [5].

Збір даних, як правило, є найскладнішим етапом у створенні моделі. Робота з даними трудомістка і вимагає багато часу і фінансів. Часом і зовсім неможливо зібрати достатній обсяг даних. У розробленій моделі даними є записи ігор гравців і моделі, проте зібрати достатню кількість гравців для гри з моделлю неможливо. Також для того, щоб хтось грав з моделлю, потрібно мати модель. Виникає проблема – «що з'явилося раніше: курка чи яйце», тому в дослідженні використано аугментацію і генерування даних для моделі. У подальшому модель, яка бачила лише згенеровані дані, зустрінеться з реальними гравцями і цим буде доповнено дані для тренування фінальної моделі. Аугментація даних – це техніка, яка полягає в штучному розширенні набору даних шляхом створення нових прикладів з наявних. Вона особливо важлива в задачах, де зібрати великий обсяг реальних даних складно або дорого. Аугментація може включати в себе різноманітні стратегії вибору ходів, що дає можливість нейронній мережі вивчити більшу кількість варіацій гри та адаптуватися до різних стилів поведінки гравців. Для аугментації даних доречно використовувати бібліотеку NumPy [6].

Поєднання реальних і згенерованих даних допоможе розуміти латентний (прихований) простір, оскільки згенеровані дані можуть бути маркерами в ньому. Якщо репрезентація поведінки гравця в латентному просторі буде близькою до певної згенерованої поведінки, то можна припустити, що ці дві поведінки є близькими й подібними. За допомогою цих маркерів можна буде класифікувати, до якого типу гравців належить певний гравець. Цей гравець буде більш ризикованим, чи впертим, чи більше буде любити вибирати ножиці чи камінь.

Під час тренування моделі існують два суттєві ризики: перенавчання і недонавчання. Перенавчання виникає, коли модель надмірно адаптується до навчальних даних, шукаючи надмірні закономірності, які не є загальними, і це призводить до погіршення здатності моделі до узагальнення на нових даних. Недонавчання виникає тоді, коли модель не може вивчити основні закономірності через обмеженість або нестачу даних. Саме для уникнення таких проблем використовують затверджувальні й тестувальні дані. Найкращим варіантом буде сформувати тестувальні дані виключно з історією гри з реальними гравцями. Тоді буде видно, як тренування покращує результативність моделі в гіпотетичній грі з реальними гравцями. Так можна вчасно виявити проблеми перенавчання і недонавчання й запобігти їм. Також аугментація даних повинна допомогти розв'язати ці проблеми. Вона дає можливість заповнити прогалини в даних, створюючи нові варіанти ходів і стратегій гри, що дає моделі більше інформації для навчання. Це допомагає уникнути перенавчання і недонавчання, забезпечуючи більшу різноманітність тренувальних прикладів і даючи моделі можливість навчатися більш загальних схем.

Нормалізація даних важлива для запобігання проблемам зі зникаючим і вибуховим градієнтами під час тренування нейронних мереж. Зникаючий градієнт виникає, коли градієнти занадто малі і не дають можливості ефективно оновлювати ваги, а вибуховий градієнт – коли вони стають надто великими, що спричиняє нестабільність. Нормалізація допомагає вирівняти масштаби вхідних даних, забезпечуючи цим стабільніший процес навчання, підтримує градієнти в оптимальних межах і дає можливість моделі краще адаптуватися до різних варіантів даних. Особливо важливо застосовувати нормалізацію,

коли використовуються методи оптимізації, які ґрунтуються на градієнтному спуску, оскільки ці методи чутливі до масштабів вхідних даних. Нормалізація дає можливість уникнути ситуацій, коли певні ознаки домінують через свої великі значення або частоту, тим самим покращуючи загальну ефективність моделі. Для цього корисним є модуль `preprocessing` з бібліотеки `scikit-learn` [5], який дає можливість масштабувати і нормалізувати дані перед передачею в нейронну мережу.

Декодування латентного простору – важливий етап у процесі прийняття рішень нейронною мережею. Латентний простір є внутрішнім поданням даних, яке нейронна мережа створює на основі вхідної інформації, даючи можливість моделі зрозуміти сутність закономірностей і взаємозв'язків між різними аспектами гри. Таке подання може бути використане для генерації прогнозів і вибору оптимальних стратегій у процесі гри. Бібліотеки TensorFlow [7] і PyTorch [8] дають можливість працювати з багатовимірними поданнями та аналізувати латентні змінні для оптимізації стратегії гри.

Процес декодування латентного простору полягає в тому, щоб із цього внутрішнього подання витягнути інформацію, необхідну для прийняття рішення. У випадку гри «Камінь-Ножиці-Папір» це може включати визначення ймовірності вибору певного ходу на основі минулих дій гравця або його стратегій. Модель повинна вміти зрозуміти не лише поточний стан гри, але й передбачити подальші дії, адаптуючи свої стратегії до поведінки суперника.

Декодування латентного простору дає моделі можливість зрозуміти гравців різних типів і відповідно вибирати стратегії, які найбільше підходять для кожного конкретного випадку. Наприклад, якщо модель бачить, що якийсь гравець схильний вибирати певний хід частіше за інші, вона може скоригувати свою стратегію, обираючи контрхід. Латентний простір також може містити інформацію про те, чи є гравець більш агресивним, чи більш оборонним, даючи моделі можливість краще адаптувати свої стратегії для перемоги.

Одним із основних завдань декодування є правильне трактування цього латентного простору, оскільки модель повинна не лише правильно відображати стратегії гравців, але й генерувати відповіді, які є максимально корисними для досягнення бажаного результату в грі. Це може бути складним, особливо коли поведінка гравців є непередбачуваною або коли модель повинна адаптуватися до різних варіацій стратегій.

Висновки. Розробка нейронної мережі для гри «Камінь-Ножиці-Папір» потребує різноманітних даних, а аугментація і генерування нових прикладів допомагають уникнути перенавчання і недонавчання моделі. Нормалізація даних забезпечує стабільне навчання, а декодування латентного простору дає можливість моделі адаптувати стратегії до поведінки гравців для досягнення перемоги.

Перелік посилань:

1. Brown N., Sandholm T. Superhuman AI for heads-up no-limit poker: Libratus beats top professionals. *Science Journals* – AAAS. 26 Jan 2018. Vol. 359. P. 418–424. URL: <https://noambrown.github.io/papers/17-Science-Superhuman.pdf> (дата звернення: 25.02.2025).
2. Harré M.S., El-Tarifi H. Testing Game Theory of Mind Models for Artificial Intelligence. *Games*. 2024. Vol. 15(1). URL: <https://www.mdpi.com/2073-4336/15/1/1> (дата звернення: 25.02.2025).
3. Kingma D.P., Welling M. Auto-Encoding Variational Bayes. 10 Dec 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/1312.6114v10> (дата звернення: 25.02.2025).
4. Pandas: веб-сайт. URL: <https://pandas.pydata.org> (дата звернення: 25.02.2025).
5. scikit-learn: веб-сайт. URL: <https://scikit-learn.org> (дата звернення: 25.02.2025).
6. NumPy: веб-сайт. URL: <https://numpy.org> (дата звернення: 25.02.2025).
7. TensorFlow: веб-сайт. URL: <https://www.tensorflow.org> (дата звернення: 25.02.2025).
8. PyTorch: веб-сайт. URL: <https://pytorch.org> (дата звернення: 25.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Турлак С.С.

¹ Доц., к.т.н. Кублій Л.І.

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=en&user=rXA1eMIAAAAJ>

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ГРАФІЧНИЙ КАЛЬКУЛЯТОР ПОБУДОВИ ЛОГІЧНИХ СХЕМ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасних умовах цифрових технологій логічні схеми відіграють ключову роль у розробці електронних пристроїв, мікропроцесорів і програмного забезпечення, яке працює з двійковими даними. Вивчення логічних схем є обов'язковою частиною курсу цифрової електроніки і дискретної математики в багатьох навчальних закладах, а також необхідною компетенцією для фахівців у сфері комп'ютерної інженерії, автоматизації і розробки апаратного забезпечення.

Проблема побудови та аналізу логічних схем є актуальною як у сфері цифрової електроніки, так і в навчальному процесі. Традиційні методи проектування, такі як папір і олівець або базові графічні редактори, не дають можливості інтерактивно змінювати схему і спостерігати за її змінами в режимі реального часу. Крім того, багато навчальних програмних засобів мають обмежену функціональність або застарілий інтерфейс, що ускладнює їхнє використання.

Ще однією проблемою є відсутність зручних інструментів для автоматичного аналізу схем. Формування таблиць істинності, побудова досконалих диз'юнктивних і кон'юнктивних форм (ДДНФ і ДКНФ), а також мінімізація булевих функцій вручну збільшує ризик помилок і вимагає значних витрат часу. Традиційні методи не дають можливості миттєво оцінювати вплив змін у схемі, що ускладнює розуміння роботи логічних елементів. Наявні програмні рішення рідко підтримують збереження схем у зручному форматі, що унеможливує їхнє повторне використання і модифікацію.

Розробка графічного калькулятора побудови логічних схем розв'язує ці проблеми, автоматизуючи процес проектування схем і забезпечуючи користувачів зручним інтерфейсом для їхнього створення. Інтерактивна візуалізація з використанням кольорових ліній дає можливість краще розуміти поведінку схеми, а автоматична генерація таблиці істинності, ДДНФ і ДКНФ спрощує аналіз логічної функції. Реалізація мінімізації булевих виразів методом Куайна-Мак-Класкі забезпечить можливість отримувати оптимізовані логічні вирази, що є важливим при проектуванні цифрових пристроїв. Додатково можливість збереження і завантаження схем у файловій системі підвищить зручність роботи і сприятиме довготривалому збереженню даних. Таким чином, розробка такого програмного забезпечення, як графічний калькулятор, буде корисною і для навчального процесу, і для досліджень у сфері цифрової електроніки.

Аналіз останніх досліджень. Існує ряд програмних засобів для моделювання й візуалізації логічних схем, які надають користувачам можливість створювати й тестувати різноманітні логічні конструкції. Веб-сайт Circuitverse [1] пропонує зручний редактор для швидкого створення логічних діаграм з використанням усіх необхідних символів. Цей інструмент надає користувачам можливість будувати логічні моделі, корисні як в освітніх, так і в професійних цілях. Основною його перевагою є зручне масштабування робочого полотна, але його недоліками є незрозумілий інтерфейс і неповний набір логічних вентилів, доступних для використання. Веб-сайт logic.ly [2] надає можливість для створення блок-схем і діаграм різного типу. Ресурс надає більший спектр вентилів, його дизайн є простішим для користувача. Веб-ресурс logigator.com [3] має прості для користування засоби побудови схем будь-якої складності. Після формування схеми потрібно почати режим симуляції, який уже дає можливість маніпулювати перемикачами і демонструвати роботу схеми. Проте,

більшість подібних інструментів орієнтовані на загальне створення діаграм і не завжди пропонують для побудови й аналізу логічних схем спеціалізовані функції, такі як автоматичне генерування таблиць істинності або мінімізацію. Це підкреслює потребу в розробці спеціалізованого програмного забезпечення, яке б поєднувало інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для побудови логічних схем з потужними аналітичними інструментами для їхнього дослідження та оптимізації.

Формулювання мети. Метою роботи є розробка графічного калькулятора для побудови логічних схем, який дасть можливість користувачам легко моделювати й аналізувати логічні вирази, використовуючи візуальний інтерфейс. Калькулятор має забезпечувати інтерактивну роботу зі схемами, надавати можливість перетягати логічні вентиля, з'єднувати їх між собою і змінювати вхідні дані в реальному часі, спостерігаючи за змінами виходу. Такий підхід забезпечить наочне подання логічних процесів, сприятиме як навчальним, так і професійним цілям у сфері цифрової електроніки.

Програма також має виконувати додаткові аналітичні функції, такі як автоматичне формування таблиці істинності, побудова ДДНФ і ДКНФ, а також мінімізацію булевих функцій методом Куайна-Мак-Класкі. Реалізація цих функцій дасть можливість користувачам не тільки моделювати логічні схеми, а й проводити їхню оптимізацію, що є важливим для проєктування ефективних цифрових систем. Додатково має бути передбачена функція збереження й відкривання схем через серіалізацію, що забезпечить зручність у роботі та можливість подальшого редагування проєктів.

Основна частина. При створенні програмного забезпечення для графічного калькулятора побудови логічних схем основними засобами розробки вибрано мову програмування C#, платформу розробки програмного забезпечення Microsoft .NET Framework і зокрема її складову Windows Forms. Мова програмування C#, побудована на принципах об'єктно-орієнтованого програмування, допомагає в лаконічних обсягах коду реалізувати той чи інший аспект програмування класів та об'єктів. Використання .NET Framework надає можливість створювати застосунки, які можуть виконуватися на різних типах пристроїв. Також, враховуючи те, що найпопулярнішою операційною системою в освітніх закладах України є Windows, найбільш придатним варіантом є інтерфейс програмування застосунків Windows Forms. Ця технологія пропонує безліч засобів для роботи з двовимірною графікою, створення віконних застосунків з інтерактивним підлаштованим під операційну систему інтерфейсом. Створений з використанням вказаних засобів розробки десктопний застосунок буде працювати без підключення до мережі Інтернет, що є перевагою, враховуючи блек-аут на території України. Поєднання вибраних технологій забезпечує можливість розробки зручного і гнучкого інтерфейсу, реалізації інтуїтивно зрозумілого перетягування логічних вентилів, їхнього з'єднання і візуалізацію процесу обчислення булевої функції. Завдяки використанню можливостей об'єктно-орієнтованого програмування створено гнучку архітектуру програми, яка передбачає легку масштабованість і підтримку нових функціональних можливостей у майбутньому.

Основний функціонал програми включає можливість додавання і редагування логічних елементів, поданих у вигляді об'єктів класів, які реалізують відповідні булеві операції. Вентилі мають входи й виходи і їх можна з'єднувати між собою, формуючи складніші логічні схеми. Важливим аспектом є автоматичне оновлення значення на «виході» (результату роботи схеми) при перемиканні будь-якого «входу» між логічними одиницею і нулем. Для кращого візуального сприйняття реалізовано зміну кольорів з'єднувальних ліній залежно від значення сигналу – синій колір для логічної одиниці, жовтий для логічного нуля.

Крім основного функціоналу побудови схем, реалізовано механізм аналізу булевих функцій, які відповідають зібраним логічним схемам. Однією з важливих можливостей є автоматична побудова таблиці істинності, яка відображає результати роботи схеми для всіх можливих комбінацій вхідних значень. На основі отриманої таблиці програма формує

диз'юнктивну і кон'юнктивну нормальні форми, що дає можливість користувачеві отримати аналітичне подання побудованої логічної функції.

У програмі реалізовано мінімізацію булевих функцій методом Куайна-Мак-Класкі. Цей метод дає можливість спростити логічний вираз, зменшуючи кількість необхідних логічних елементів у схемі. Мінімізована функція виводиться в текстовому вигляді в окремому вікні, забезпечуючи користувачеві можливість порівнювати її початковий і спрощений вигляд.

Для збереження і відкриття схем використано механізм бінарної серіалізації, що дає можливість зберігати створені схеми у файл і завантажувати їх для подальшого редагування. Такий підхід гарантує збереження всієї інформації про схему, включаючи розташування елементів, їхні з'єднання і поточний стан.

Додатковою перевагою розробленої програми є можливість задання користувачем власних імен для входів і виходів логічної схеми. Це також забезпечує можливість не тільки зручніше орієнтуватися у складних схемах, а й спрощує їхній подальший аналіз. Наприклад, замість стандартних позначень можна використовувати осмислені назви, які відповідають конкретним змінним розв'язуваної користувачем задачі. Введені імена автоматично відображаються в таблиці істинності, забезпечуючи узгодженість даних.

Ще однією важливою функцією є можливість вільного розміщення логічних елементів на полотні. Користувач може змінювати положення вентилів після їхнього додавання, що забезпечує можливість організувати схему більш зручним способом. Це особливо корисно при створенні великих схем, де правильне розташування елементів значно покращує зчитуваність і розуміння логічної структури побудованої схеми.

Для полегшення роботи з логічними елементами в програмі реалізовано функцію швидкого доступу до таблиці істинності кожного вентиля. Якщо користувач наводить курсор миші на певний логічний елемент, у лівому нижньому куті вікна спливає підказка, яка містить назву вентиля і його таблицю істинності. Це дає можливість оперативно перевіряти поведінку елемента без необхідності відкривати додаткові довідкові матеріали, що значно підвищує зручність користування програмою.

Таким чином, розроблена програма не лише забезпечує можливість будувати логічні схеми, але й надає інструментарій для їхнього аналізу, оптимізації та збереження. Завдяки використанню мови програмування C#, платформи .NET Framework та інтерфейсу програмування застосунків Windows Forms забезпечено стабільну роботу програми і зручний графічний інтерфейс. Дотримання принципів об'єктно-орієнтованого програмування зробило код зрозумілим і підтримуваним, що надає можливість легко розширювати функціонал.

Висновки. Після детального аналізу проблематики, існуючих досліджень і технологій, визначено ключові вимоги до розробки графічного калькулятора побудови логічних схем. Запропонований підхід дає можливість створити інструмент, який забезпечить зручний інтерфейс для візуального конструювання схем, інтерактивного тестування логічних виразів та автоматизованого аналізу булевих функцій. Реалізація такого застосунку сприяє спрощенню процесу вивчення цифрової логіки, підвищенню ефективності роботи з логічними схемами, їхньою мінімізацією, що є важливим як для освітніх, так і для дослідницьких цілей. Програма може бути корисною для студентів, викладачів і всіх, хто займається цифровою логікою та автоматизацією розрахунків логічних виразів.

Перелік посилань:

1. Circuitverse: веб-сайт. URL: <https://circuitverse.org/simulator> (дата звернення: 21.02.2025).
2. Logic.ly: веб-сайт. URL: <https://logic.ly/demo/> (дата звернення: 21.02.2025).
3. Logigator.com: веб-сайт. URL: <https://logigator.com/editor/> (дата звернення: 21.02.2025).

¹ Бакалаврант 4 курсу Чубукова А.О.¹ Ст.викл. Беспала О.М.<https://scholar.google.com.ua/citations?user=gLUrLHUAAAAAJ&hl=uk>¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ТРАНЗАКЦІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПОВЕДІНКОВИХ ФАКТОРІВ НА ПРОДАЖІ

Постановка проблеми та її актуальність. У сучасних умовах високої конкуренції підприємства сфери обслуговування стикаються з необхідністю аналізу факторів, що впливають на обсяг продажів [1]. Тому існує потреба у створенні системи аналізу, яка б дозволила оцінити поведінкові чинники та їх вплив на фінансові показники підприємства.

На практиці система може бути використана в різних предметних областях. Протягом останніх кількох років в Україні активно розвивається галузь книговидавництва та книготоргівлі, і як наслідок – відкриття великої кількості нових книгарень [2]. Також спостерігається тенденція перетворення книгарень на книгарні-кав'ярні та мультимедійні культурні простори [3]. В свою чергу, кави часто складає доволі високий відсоток покупок [4]. Однак на даний момент підхід до моделювання виручки книгарні-кав'ярні з урахуванням параметрів, пов'язаних із продажами кави, все ще вимагає подальшого вдосконалення. Створення системи моделювання виручки буде дуже корисним, оскільки вона дозволить точно оцінювати вплив продажів кавових напоїв на виручку закладу.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні цифрові технології є одним з найважливіших чинників економічного розвитку, оскільки дозволяють швидко збирати та аналізувати великі обсяги інформації. Останні дослідження показують, що застосування штучного інтелекту, Інтернету речей і хмарних сервісів допомагає зменшити витрати, підвищити якість послуг та створити нові, інноваційні бізнес-моделі. Інтеграція сучасних технологій дозволяє підприємствам не тільки краще аналізувати фінансові показники, а й прогнозувати їх зміни [5].

Формулювання мети. Метою цієї роботи є створення системи аналізу транзакційних даних для оцінки поведінкових факторів та їх впливу на обсяг продажів в закладах обслуговування.

Основна частина. Основна ідея розробленої системи полягає у створенні інтерактивного веб-додатку, який дозволяє моделювати збільшення виручки як залежну змінну. Система реалізована за допомогою R Shiny, що забезпечує зручний графічний інтерфейс та доступність через веб-браузер.

У даній роботі розглядається система, що містить набір параметрів N_i , що представлені у вигляді набору згенерованих даних. Ці параметри охоплюють такі характеристики операцій, як дату та час покупки, ідентифікатори клієнтів, інформацію про заклад, категорії товарів та фінансові показники (ціна, кількість, загальна сума чеку). Приклад набору даних представлений в табл. 1.

Задача полягає в тому, щоб визначити зв'язок між цими параметрами та загальними фінансовими результатами, що дозволить оцінити вплив поведінкових факторів (частота покупок, тощо) на обсяг продажів.

Для обробки транзакційних даних використано бібліотеки R `readxl` і `dplyr`, які дозволяють імпортувати дані з Excel-файлів, проводити очищення, групування та узагальнення даних за релевантними параметрами, такими як: дата покупки та назва закладу [6].

Таблиця 1 – Приклад набору даних

ID	date	customer ID	bookstore ID	category2	price	amount	total Price
9	2025-01-05	466	1	Класична література	310	2	620
10	2025-01-06	95	2	Комікси та манґи	345	2	690
11	2025-01-06	444	1	Кавові напої	70	1	70
12	2025-01-06	794	1	Класична література	240	1	240
12	2025-01-06	794	1	Детективи	380	1	380
12	2025-01-06	794	1	Трилери та жахи	750	1	750
13	2025-01-06	580	2	Історична та пригодницька проза	525	3	1575
14	2025-01-06	110	2	Історія, факти та біографії	570	1	570
15	2025-02-04	113	2	Кавові напої	65	1	65

На основі агрегованих даних застосовується економіко-статистичний підхід із використанням лінійної регресії для оцінки впливу продажів кави на фінансові результати закладів [7]. Сценарне моделювання дає можливість змодельовати різні умови – наприклад, підвищення продажів певної категорії товарів – і прогнозувати відповідні зміни загальних фінансових показників. Для візуалізації результатів використовується бібліотека ggplot2, що дозволяє наочно представити виявлені залежності через графіки та діаграми [8]. Система використовує MySQL для зберігання та швидкого доступу до даних.

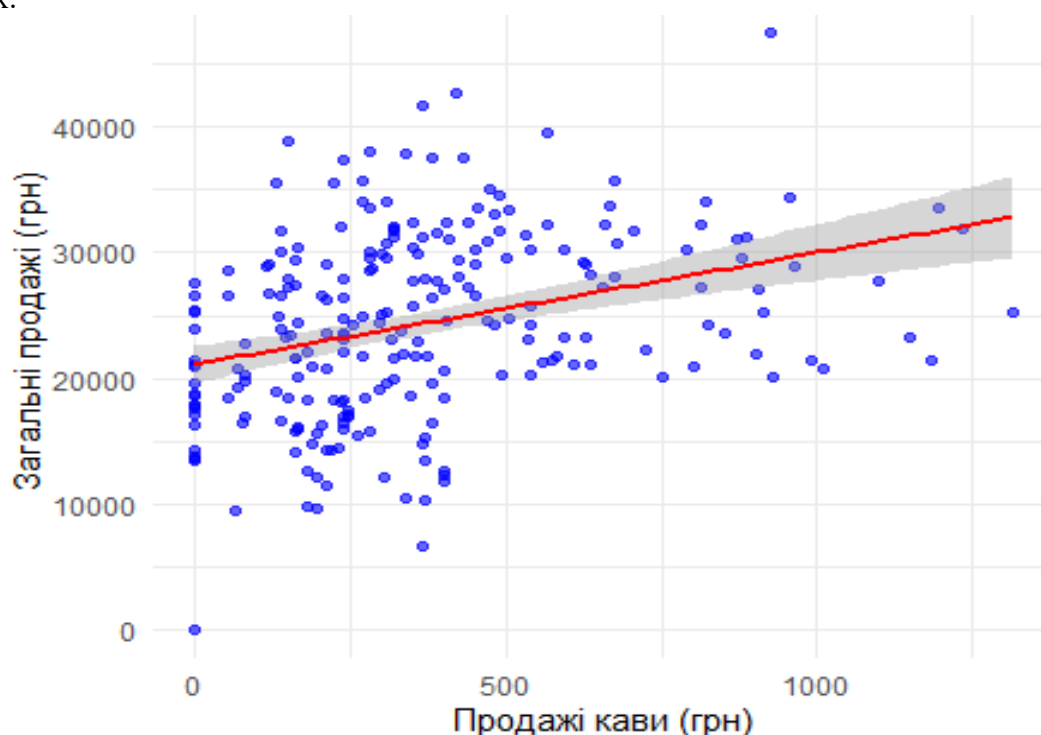


Рисунок 2 – Вплив продажу кави на загальні продажі закладу

Модель регресії, задана функцією:

$$Total_Sales = 21083,5 + 8,928 \times Coffee_Sales$$

демонструє статистично значущий вплив продажів кави на загальні продажі. Інтерсепт, що дорівнює 21 083,5, відображає базовий рівень виручки, а коефіцієнт при змінній *Coffee_Sales* (8,928) свідчить, що кожна додаткова одиниця продажів кави збільшує загальні продажі приблизно на 9 гривень. Висока t-статистика (5,377) та дуже малий p-value (1,81e-07) підтверджують надійність оцінок. Хоча Multiple R-squared (0,1087) показує, що продажі кави пояснюють лише близько 11 % варіації загальних продажів, це відкриває можливості для подальшого розширення моделі шляхом включення додаткових факторів, що впливають на виручку.

Результати. Отримані показники свідчать про наявність статистично значущого позитивного зв'язку між продажами кави та загальними продажами. Коефіцієнти моделей показують, що збільшення обсягів продажів кавових напоїв веде до зростання загальної виручки. Графіки підтвердили наявність чіткої тенденції до зростання фінансових показників при збільшенні продажів кави.

Висновки. Таким чином, в результаті аналізу було встановлено, що продаж кавових напоїв є важливим чинником, який суттєво впливає на загальний обсяг продажів книгарні-кав'ярні. Лінійна регресія дозволила оцінити цей вплив, що обґрунтовує впровадження спеціальних маркетингових заходів – наприклад, проведення акцій та оптимізацію асортименту. Практичні рекомендації, розроблені на основі отриманих результатів, можуть сприяти підвищенню фінансової ефективності підприємства, а подальше покращення моделі дозволить врахувати додаткові фактори для ще точнішої оцінки.

Перелік посилань

1. Smith J., Doe A. Digital Technologies and Innovation: A New Paradigm // Technological Forecasting and Social Change. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278431917300646> (дата звернення 27.02.2025).
2. MC.TODAY. Чому в Києві виник книжковий бум: все про книгарні, кав'ярні та з чим їх їдять. URL: <https://mc.today/uk/chomu-v-kiyevi-vinik-knizhkovij-bum-vse-pro-knigarni-kav-yarni-ta-z-chim-yih-yidyat/> (дата звернення 27.02.2025).
3. Андрійчук М.Т. Особливості діяльності київських книгарень у 2022–2024 роках: науковий журнал. Київ : КПІ. 2024. С. 175–187.
4. Феліксов Д. Скільки треба грошей, щоб відкрити книгарню-кав'ярню: досвід Дмитра Феліксова, засновника мережі REadeAT. URL: <https://mc.today/uk/blogs/skilki-treba-groshej-shhob-vidkriti-knigarnyu-kav-yarnyu-dosvid-dmitra-feliksova-zasnovnika-merezhi-readeat/> (дата звернення 27.02.2025).
5. Ткаченко С.М. Цифровізація економіки як стратегічна платформа розвитку держави : тези доповідей. Запоріжжя : Запорізький національний університет. 2024. С. 153 – 160.
6. Wickham H., Cetinkaya-Rundel M., Grolemund G. R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data. USA: O'Reilly Media. 2023. 576 p.
7. Hoffmann J.P. Linear Regression Models: Applications in R. UK: Chapman and Hall/CRC. 2021. 420 p.
8. Brown D.S. Statistics and Data Visualization Using R: The Art and Practice of Data Analysis. USA: SAGE Publications. 2021. 616 p.

¹ MS's programme 2nd year Hlavatskyi O.S.

¹ Prof., doc.eng.sc. Shushura O.M.

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=beUGko0AAAAJ&hl=uk&oi=sra>

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

FUZZY LOGIC AND COMPUTER VISION-BASED QUADCOPTER LANDING CONTROL ALGORITHM

Statement of the problem and its relevance. As UAV usage increases, real-time tracking and flight trajectory prediction have become essential. A fuzzy logic-based control system combined with computer vision allows adaptive decision-making for stable flight and safe landing in unpredictable conditions. If communication with the operator is lost, the quadcopter must land autonomously with minimal risk to the environment, equipment, and people. This challenge is further complicated by dynamic environments, requiring real-time adaptation and efficient onboard processing. Key challenges include adapting to changing conditions, assessing safe landing surfaces, and making decisions under uncertainty, with noisy or incomplete sensor data adding risk. Computational and power constraints limit complex onboard algorithms, highlighting the need for efficient control systems. Addressing these issues is crucial for improving quadcopter reliability in search missions, monitoring, and other applications.

Analysis of the latest research. Object detection in UAV imagery faces challenges like large image sizes, small objects, dense layouts, and poor lighting. The YOLO model addresses these challenges effectively [1–2]. Fuzzy logic helps with quadcopter control, particularly for altitude and orientation, allowing drones to adapt to environmental changes like battery discharge and sensor variations [3]. This ensures stable flight during conditions such as voltage drops or signal fluctuations. Combining neural networks and fuzzy logic, as seen in controllers for marine rescue drones, improves performance in tough conditions like strong winds. Integrating these adaptive methods with deep learning models like YOLO enhances UAV autonomy, critical for rescue missions, monitoring, and real-time applications. Autonomous control is essential for quadcopters, especially during communication loss due to technical issues or signal disruptions, where fuzzy logic algorithms enable real-time decision-making in uncertain conditions.

Goal formulation. This study aims to develop an autonomous quadcopter control system that ensures stable flight and safe landing during communication loss. It focuses on using computer vision and fuzzy logic for adaptive control under uncertain conditions with incomplete sensor data. Key tasks include developing the controller architecture and algorithm to ensure stability and autonomous control during communication loss. A fuzzy control model will allow trajectory adaptation based on uncertain data. Membership functions for linguistic variables will be defined, accounting for the quadcopter's characteristics, weather conditions, and flight environment. YOLO models will be integrated for real-time image processing to identify safe landing zones.

Main part. The autonomous quadcopter control system has two main components: a fuzzy logic-based controller and a sensor model for data collection. The controller adjusts the trajectory to maintain a stable flight. Upon signal loss, the system switches to autonomous mode to ensure safety. The system operates by activating the controller and receiving commands. If the connection is lost, the controller switches to autonomous mode. The camera captures images, which are processed by the YOLO model. Once a target is identified, trajectory deviations are sent to the fuzzy model, which evaluates them and determines the control commands. These commands are then sent to the propellers, ensuring controlled movement (Fig. 1).

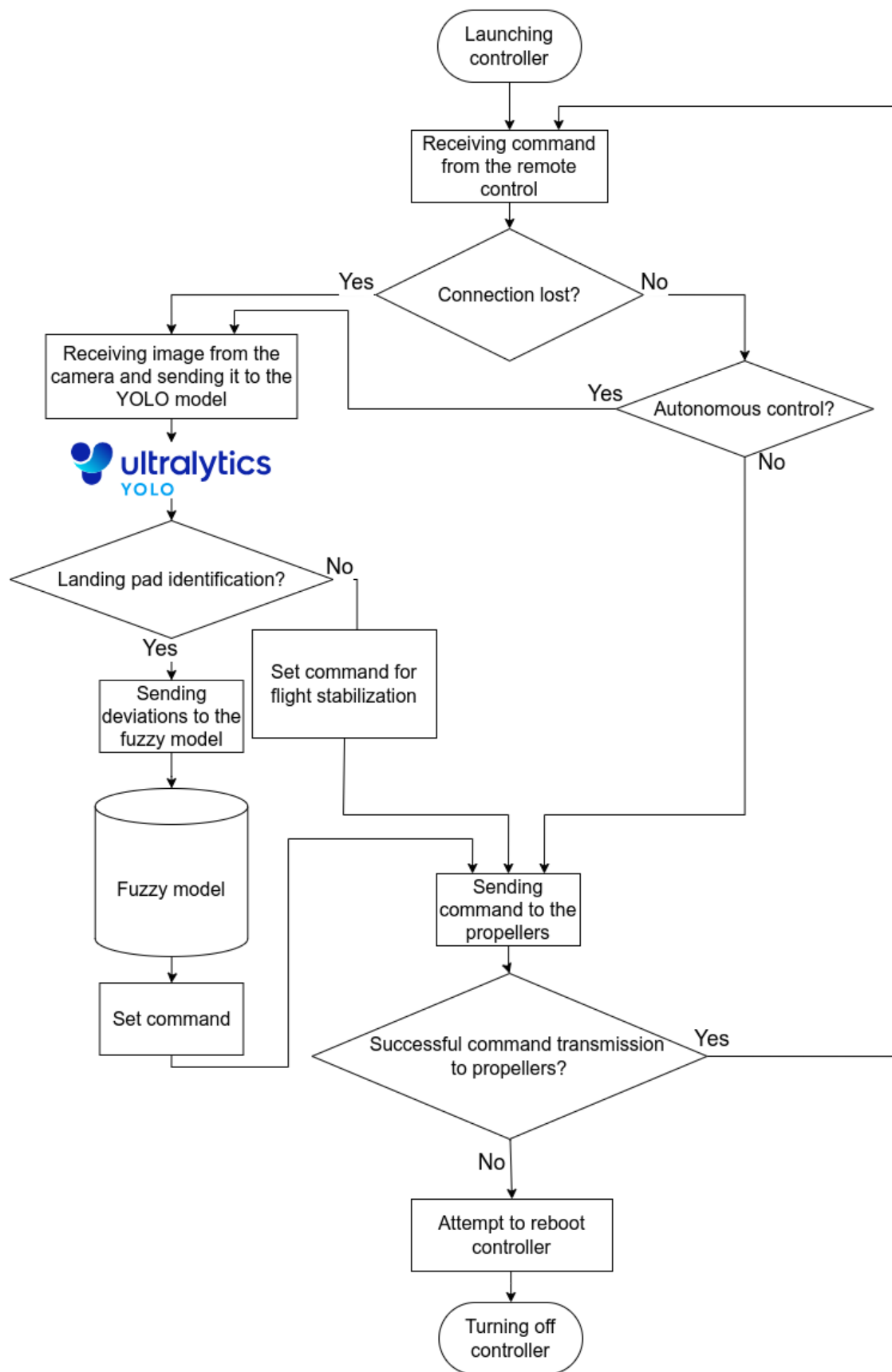


Figure 1 – Autonomous quadcopter control with YOLO-based vision and fuzzy logic

The fuzzy model plays a crucial role in the overall control system, significantly enhancing the controller's ability to process, interpret, and respond to incomplete, imprecise, or noisy data collected from various onboard sensors. Classical control algorithms often struggle to manage such

uncertain or ambiguous information, leading to reduced accuracy, unstable behavior, or even loss of control in challenging operational conditions. The fuzzy model effectively addresses these limitations by taking deviations from the desired flight trajectory or raw sensor readings, representing them as fuzzy sets, and generating precise, adaptive control commands to regulate the quadcopter's movement, stabilization, and response to environmental disturbances. This approach ensures that the system can function reliably even when sensor data is partially missing, inconsistent, or affected by external noise.

Linguistic variable terms, such as throttle, altitude correction, and stabilization adjustments, are carefully defined based on multiple influencing factors, including the quadcopter's aerodynamic properties, specific flight dynamics, current weather conditions, wind speed, and real-time tilt or angular orientation. The use of Gaussian membership functions plays a crucial role in ensuring smooth transitions between control states, enabling precise, non-linear responses that facilitate stable flight performance. This is particularly important during complex aerial maneuvers, high-speed trajectory corrections, or precision landing adjustments in dynamically changing environments. By incorporating fuzzy logic principles, the system can dynamically adjust flight parameters to optimize stability and control, even when operating under unpredictable conditions.

The system's safe landing zone detection relies on the quadcopter's camera and computer vision models, like YOLO, which provide fast and accurate real-time analysis of the environment. YOLO's capabilities allow for quick identification of objects and obstacles, ensuring timely decision-making regarding flight trajectories. The system's software will be developed by integrating technologies such as Python, OpenCV, YOLO, FuzzyLogic, Matlab, and PyvJoy to enable efficient data processing and real-time control accuracy. Finally, system modeling and testing will be conducted in the LiftOff simulator to optimize control algorithms and verify the system's performance under various conditions [4].

Conclusions. This study explores the application of advanced artificial intelligence technologies for developing an autonomous quadcopter landing system, incorporating adaptive flight control approaches in challenging conditions. The proposed system ensures high navigation accuracy and guarantees stability and operational safety, even in cases of communication loss with the operator or sensor system failures. A key aspect is the system's ability to make well-founded decisions based on uncertain and incomplete data, enabling effective operation in unpredictable environments. As a result, the quadcopter can reliably perform tasks even in extreme conditions with dynamic or complex surroundings. Testing confirmed the system's high accuracy and reliability across various scenarios. The proposed approach demonstrates the effectiveness of integrating modern computer vision techniques with adaptive fuzzy logic for autonomous quadcopter control. The practical value of this research lies in its potential applications across different domains, including environmental monitoring, search and rescue missions, cargo delivery, and other operations where precision, safety, and real-time efficiency are critical. Future research should explore using multiple computer vision models for varying weather conditions, integration of multisensor data, collaboration between multiple drones in swarm formations, and optimization of quadcopter trajectories for energy efficiency.

References:

1. Drone-YOLO: An Efficient Neural Network Method for Target Detection in Drone Images. Drones 2023, 7(8), 526. URL: <https://doi.org/10.1007/s00521-022-06960-9> (access date 27.02.2025).
2. A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. Mach. Learn. Knowl. Extr. 2023, 5(4), 1680–1716. URL: <https://doi.org/10.3390/make5040083> (access date 27.02.2025).
3. Control Of UAV Based On Fuzzy Logic In A Controlled Environment. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019, 14(24) (access date 27.02.2025).
4. Liftoff: FPV Drone Racing LuGus. URL: <https://www.lugus-studios.be/portfolio/liftoff-fpv-drone-racing> (access date 27.02.2025).

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ № 7 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ	3
Застосування машинного навчання для оптимізації використання електричних та теплових акумуляторів енергії.	4
<i>ВЕРЕМЧУК О.Ю., мол. вчений</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Степанець О.В.</i>	
EnergyPLAN – програмний пакет для створення та дослідження «розумних» енергетичних систем.	7
<i>НІКІФОРОВИЧ О.Є., мол. вчений</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Волощук В.А.</i>	
Розроблення інтелектуальної низькотемпературної системи теплозабезпечення будівель з використанням технології цифрових двійників.	10
<i>НОВІКОВ П.В., мол. вчений; ЗАХАРЧЕНКО А.С., мол. вчений</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Волощук В.А.</i>	
Регулювання температури корпусу смартфона за принципом розподілу потужності.	12
<i>ЗІНЧЕНКО Д.Д., аспірант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Маріяш Ю.І.</i>	
Імітаційне моделювання системи автоматизованого керування шляхом інтеграції MATLAB/Simulink з засобами мови програмування Python.	15
<i>КУЧИНСЬКА К.А., аспірант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Новіков П.В.</i>	
Спосіб розробки цифрового двійника системи тепlopостачання фармацевтичного підприємства з використанням SCADA-даних та методів машинного навчання.	18
<i>ГЕРАЩЕНКО О.О., аспірант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Новіков П.В.</i>	
AI-агенти в автоматизації теплоенергетичних процесів.	21
<i>ЗДОЛЬНИК М.О., аспірант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Степанець О.В.</i>	
Визначення позицій і типу компонентів друкованих електричних плат методами штучних нейронних мереж і комп’ютерного зору.	23
<i>СЕЛЬОТКІН В.О., аспірант</i>	
<i>Керівник – доц., д.т.н. Волощук В.А.</i>	
Предиктивна діагностика несправностей електродвигунів на основі нейромережевого підходу CNN-LSTM.	26
<i>ТЕМЧУР В.С., аспірант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Баган Т.Г.</i>	
Підвищення енергоефективності теплових насосів за допомогою цифрових двійників.	29
<i>АРСФ’ЄВА А.О., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Поліщук І.А.</i>	
Тренажерне моделювання систем автоматичного регулювання і програмно-логічного управління атомної електростанції.	32
<i>ВАСЯНОВИЧ В.М., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Батюк С.Г.</i>	
Використання цифрових двійників для оптимізації продуктивності роботи когенераційних установок.	35
<i>ГУМЕНЮК В.Ю., магістрант</i>	

<i>Керівник – ст.викл. Поліщук І.А.</i>	
Методи предиктивного керування для обслуговування малих модульних реакторів.	38
<i>ГУМЕНЮК М.Д., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Поліщук І.А.</i>	
Інтеграція MES-систем у харчову промисловість на прикладі броварні.	40
<i>ЖЕЛЕЗНЯК К.М., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Штіфзон О.Й.</i>	
Адаптивне керування системами вентиляції та кондиціонування повітря.	42
<i>КОРОЛЬ А.С., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Любицький С.В.</i>	
Моделювання технологічного процесу роботи компресорної централі холодильної установки.	45
<i>ПОНОМАРЕНКО К.С., магістрант</i>	
<i>Керівник – асист. Захарченко А.С.</i>	
Автоматизовані системи діагностики та технічного обслуговування сонячних інверторів.	48
<i>ПРОХОРЕНКО К.Ю., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Використання нечітких регуляторів в системах управління мікрокліматом приміщень.	51
<i>ЮДІН О.С., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Штіфзон О.Й.</i>	
Огляд сучасних технологій керування охолодженням серверної апаратури з використанням методів машинного навчання.	54
<i>АРШАНСЬКИЙ Д.І., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Степанець О.В.</i>	
Моделювання методів активної енергоефективності.	57
<i>ГУРСЬКИЙ О.Т., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл., к.т.н. Некрашевич О.В.</i>	
Адаптивне керування котлами для кораблів на основі зображень полум'я з використанням ІМС-РІD.	60
<i>АКСЬОНОВА Я.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Маріяш Ю.І.</i>	
Застосування машинного навчання з підкріпленням на базі DQN в системах OBiK.	62
<i>АЛЕКСЄЄВА В.Г., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Богза М.С.</i>	
Автоматизація апарату дистиляції з ректифікаційною колоною.	65
<i>БОНДАР Д.Д., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Грудзинський Ю.Є.</i>	
Використання штучного інтелекту для енергозбереження в промисловості.	67
<i>ВОВЧЕНКО І.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Застосування цифрових двійників і систем штучного інтелекту в автоматизації інженерних систем.	69
<i>ВОРОНЮК М.В., спеціаліст; ПОМПЕ Д.А., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Батюк С.Г.</i>	
Автоматизована система керування хлібопічкою.	72
<i>ГАЖА М.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Ноженко К.Д.</i>	

Використання Kubernetes для вдосконалення керування ІТ-інфраструктурою.	75
<i>ГАЛУШКА В.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Впровадження Інтернету речей для автоматизації 3D-друкарських ферм.	78
<i>ГУМЕНЮК В.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Автоматизована система керування мікрокліматом офісного приміщення.	80
<i>ЗБОРІВСЬКИЙ О.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Штіфзон О.Й.</i>	
Застосування машинного навчання для прогнозування теплового режиму будівлі в системах ОВіК.	82
<i>ІГНАТЕНКО В.О., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Богза М.С.</i>	
Автоматизація системи вентиляції офісного приміщення.	85
<i>КАЛІНЕЦЬ І.С., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Грудзинський Ю.Є.</i>	
Системи автоматичного регулювання параметрів мікроклімату у фарбувальній камері для автомобілів.	87
<i>КОЗУРАК Т.С., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Любицький С.В.</i>	
Особливості мікроклімату теплиці для вирощування зелені.	89
<i>КОРНІЙЧИК І.Ю., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунке О.С.</i>	
Особливості АСК керування мікрокліматом чистих приміщень на фармацевтичному виробництві.	91
<i>КРИВОРОТОВА А.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Новіков П.В.</i>	
Hydrogen 4.0 для електростанцій, що виробляють водневу енергію.	93
<i>ЛОБАЄВСЬКИЙ О.Ю., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Використання прогнозуючих моделей в системах автоматичного керування.	96
<i>МАВРОДІ В.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Маріяш Ю.І.</i>	
Огляд схем регулювання рівня у барабані парового котла.	98
<i>МАРУДА М.А., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунке О.С.</i>	
Використання відходів як джерела енергії: інноваційні підходи та перспективи.	102
<i>НАУМЕНКО А.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Автоматизована система управління сушарки деревини.	105
<i>НЕКРОТЮК А.С., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Бунке О.С.</i>	
Задачі автоматизації системи автономного електропостачання і життєзабезпечення житлового будинку.	107
<i>ПОМПЕ Д.А., бакалаврант; ВОРОНЮК М.В., спеціаліст</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Батюк С.Г.</i>	
Оптимізація енергоефективності в серійно-паралельних насосних системах.	110

<i>ПОСОХОВ О.Д., бакалаврант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Маріяш Ю.І.</i> Автономні системи генерації енергії: історія, сучасність та перспективи розвитку.	113
<i>РОМАНЮК С.М., бакалаврант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Баган Т.Г.</i> Інтеграція автоматизованих систем управління в вентиляційні установки для підвищення енергоефективності.	116
<i>СКРИПЧЕНКО О.А., бакалаврант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Бунь В.П.</i> СЕКЦІЯ № 8 АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРІЙ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ	119
Управління мікрогрід системами в реальному часі з використанням Deep Q Network.	120
<i>ВАЩЕНКО М.Ю., магістрант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Шпурик В.В.</i> «Код-детектив»: інноваційний підхід до навчання програмуванню для майбутніх інженерів-програмістів.	123
<i>ВЛАСЮК І.В., магістрант</i> <i>Керівник – доц., к.ф.-м.н. Свинчук О.В.</i> Аналіз ефективності моделей передбачення чисельних метрик в часових рядах.	125
<i>ВОЙТКО А.С., аспірант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Кузьмич В.О.</i> Огляд програмного забезпечення для топологічної оптимізації.	128
<i>ДАЩИК А.С., аспірант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Залевська О.В.</i> Методи визначення показників функціональної стійкості інформаційної системи на основі машинного навчання.	131
<i>ДУДКІН О.М., магістрант</i> <i>Керівник – проф., д.т.н. Мусієнко А.П.</i> Проблеми адаптації традиційних підходів мутаційного аналізу до систем з машинним навчанням.	134
<i>ЛЕБЕДЄВ А.В., аспірант</i> <i>Керівник – проф., д.т.н. Федорова Н.В.</i> Застосування вейвлет-перетворень при класифікації гідроакустичних сигналів.	137
<i>МАЙОРОВ І.Д., магістрант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Варава І.А.</i> Методи, виклики та проблеми визначення джерела інформації та авторства тексту в мережі Інтернет на основі нейронних мереж.	139
<i>ПЕРЕДЕРА В.Р., аспірант</i> <i>Керівник – доц., д.т.н. Недашківський О.Л.</i> Програмне забезпечення для вибору навчальних дисциплін на основі аналізу навичок, професійних цілей та вимог ринку праці.	142
<i>ПІДГІРНИЙ В.М., магістрант</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Залевська О.В.</i> Технологічні можливості хмарної платформи sap для інтеграції автоматизованих рішень у галузі енергетики.	145
<i>СЄВЄРЦЕВ М.С., магістрант</i>	

<i>Керівник – асист., к.т.н. Єрошкін Ю.М.</i>	
Аналіз ефективності ймовірнісної моделі управління процесом розробки програмного забезпечення.	148
<i>СИТНИК І.О., аспірант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Шпурик В.В.</i>	
Архітектурний дизайн «Модульний моноліт».	151
<i>ФАЙДЮК Т.Р., магістрант</i>	
<i>Керівник – ст.викл., д.ф.-м.н. Бандурка О.І.</i>	
Програмне забезпечення для моделювання поширення епідемій у віртуальній реальності з використанням тривимірних клітинних автоматів.	153
<i>ШАЛАК Д.В., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Залевська О.В.</i>	
Первинний аналіз та оцінка поточних даних.	155
<i>ШЕВЧЕНКО В.Г., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Кузьмініх В.О.</i>	
Оцінка живучості елементів інформаційної системи за допомогою функціональної стійкості.	157
<i>МАКАРЧУК А.В., аспірант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Барабаш О.В.</i>	
Програмне забезпечення аналізу стану обладнання за використанням граничних обчислень.	159
<i>ДЕМСЬКИЙ І.С., бакалаврант; ГОЛЕЦЬ В.О., аспірант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Коваль О.В.</i>	
Програмно-апаратний модуль для автентифікації користувача за відбитком пальця для СКУД системи кафедри.	162
<i>КРИВОКОНЬ А.О., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Голець В.О.</i>	
Розробка комплексної інфраструктури за принципом «Infrastructure as Code» з використанням Terraform і Ansible для OpenStack, Gitlab та Apache.	164
<i>КРУТИГОЛОВА В.О., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Голець В.О.</i>	
Інтеграція та автоматизація системи управління ідентифікацією та доступом (IAM) на базі Keycloak з підвищеними вимогами до безпеки інфраструктури..	167
<i>МИКОЛЮК Б.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Голець В.О.</i>	
Автоматизація розгортання та управління хмарною інфраструктурою OpenStack на базі VMware ESXi та vCenter з використанням Terraform, Packer і Ansible.	170
<i>ОБОДОВСЬКИЙ А.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Голець В.О.</i>	
Програмне забезпечення планування енергоспоживання на основі даних про стан обладнання споживача.	172
<i>ОМЕЛЬЧЕНКО А.О., бакалаврант; ГОЛЕЦЬ В.О., аспірант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Коваль О.В.</i>	
Програмне забезпечення побудови таксономії предметної області.	174
<i>ПІХОВКІНА К.В., бакалаврант; ГОЛЕЦЬ В.О., аспірант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Коваль О.В.</i>	

**СЕКЦІЯ № 9 КОМП'ЮТЕРНИЙ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ
МОНІТОРИНГ ТА ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ
І СИСТЕМ** 177

Моделювання впливу рушійного фактору на екологічні та економічні показники з використанням машинного навчання. 178

ТИМКОВА А.В., бакалаврант

Керівник – ст. викл. Беспала О.М.

**СЕКЦІЯ № 10 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ** 181

Intelligent personalization methods based on the user's history for recommendation system. 182

HURYN I.A., MS's programme

Academic leader – assoc.prof., cand.eng.sc. Shapovalova S.I.

Improving the SWOT analysis of the artificial intelligence implementation in higher education. 184

LEN V.V., MS's programme

Academic leader – assoc.prof., cand.econ.sc. Karaieva N.V.

Development of an e-commerce system for online trading. 187

SHUST K.E., BS's programme

BRATCHUKOVA N.V., BS's programme

Academic leader – prof., doc.eng.sc. Shushura O.M.

Analysis of the Effectiveness of Anomaly Classification Methods in High-Load Network Systems. 190

TITOV V.M., postgraduate

Academic leader – assoc.prof., cand.eng.sc. Shapovalova S.I.

Модель керування ієрархічним об'єктом на основі продукційної моделі. 192

БАРАНИЧЕНКО О.М., аспірант

Керівник – доц., к.т.н. Шаповалова С.І.

Інтеграція хмарних телефонних сервісів з інформаційною системою ODOO для обробки SMS. 195

ВАСИЛЕНКО М.А., магістрант

Керівник – проф., д.т.н. Шушура О.М.

Методи повнотекстового пошуку інформації в системі Odoo. 197

ЛАЗОРЕНКО А.Р., магістрант

Керівник – проф., д.т.н. Шушура О.М.

Інтеграція моделей штучного інтелекту з протоколом WebRTC. 200

ПІНЧУК М.Л., магістрант

Керівник – проф., д.т.н. Аушева Н.М.

Технології інтеграції застосунків ASP.NET Core з сучасними фронтенд-інструментами. 202

ПАДАЛКО Д., магістрант

Керівник – доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

Автоматизація процесу закупівель енергетичного обладнання. 205

СЕРЕДА В.О., магістрант

Керівник – доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.

Інтеграція програмних реєстраторів розрахункових операцій з інформаційною системою ODOO. 207

СУХЕНКО Б.О., магістрант

<i>Керівник – проф., д.т.н. Шушура О.М.</i>	
Апаратно-програмна система розпізнавання та утримання об'єкта в кадрі.	209
<i>ХІЛОБОК О.О., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Крячок О.С.</i>	
Веб-застосунок для аналізу тренувальних факторів і прогнозування спортивних результатів.	211
<i>ХОЛОДНИЦЬКА А.Ю., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Кублій Л.І.</i>	
Інструментальні засоби розробки систем оповіщення населення про якість повітря, радіаційну та хімічну небезпеку.	213
<i>ЧУЙКО Д.С., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.</i>	
Testing a web server load balancer.	215
<i>SAVCHUK V.V., MS's programme</i>	
<i>Academic leader – assoc.prof., cand.eng.sc. Shapovalova S.I.</i>	
Multimodal Retrieval-Augmented Generation: Enhancing AI-Driven Information Systems.	218
<i>YUVZHENKO D.I., postgraduate</i>	
<i>Academic leader – prof., doc.eng.sc. Putrenko V.V.</i>	
Розробка нечіткої графової бази даних.	220
<i>КОКІДЬКО Б.С., аспірант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Шушура О.М.</i>	
Інтернет-платформи для навчання програмування з використанням методів штучного інтелекту.	223
<i>ШЕЛЕСТЮК М.О., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Кублій Л.І.</i>	
Розробка ботів для веб-симулятора «Монополія».	226
<i>ЮЩЕНКО О.І., магістрант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Кублій Л.І.</i>	
Застосування полігонів Тіссена для визначення вітрового режиму на основі просторового розподілу швидкості вітру.	229
<i>КАРДАШОВ О.В., аспірант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Аушева Н.М.</i>	
Use of AI for music transcription processing.	232
<i>PROSHCHAKOV T.A., BS's programme</i>	
<i>Academic leader – assoc.prof., cand.eng.sc. Demchyshyn A.A.</i>	
Особливості застосування системи Odoo для кол-центру продовольчої компанії.	235
<i>ДІКОВСЬКИЙ А.М., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Кардашов О.В.</i>	
Автоматизована система управління освітнім процесом.	237
<i>ДЕРКАЧ Д.І., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Беспала О.М.</i>	
Технологічні аспекти розробки універсальних застосунків на основі .NET MAUI.	239
<i>ДРЕЛЯ Є.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.</i>	
Обмін інформацією системи ODOO з платформою Prom.ua.	241
<i>ЄРЬОМЕНКО В.М., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Шушура О.М.</i>	

Агент студента з контролю за станом підготовки до семестрового контролю.	243
<i>КАРКУШЕВСЬКИЙ В.Л., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.</i>	
Порівняння технологій захоплення мережевого трафіку для розробки системи глибокого аналізу пакетів.	245
<i>КОВАЛЬОВ О.О., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – асист. Кардашов О.В.</i>	
Градiєнти методи для сегментації зображень з метою виявлення пожеж.	248
<i>КУЛИКОВСЬКИЙ В.Г., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Кузьменко І.М.</i>	
Веб-застосунок для планування харчування та обліку калорій групи осіб.	250
<i>МАРТИНЧУК А.В., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.е.н. Сегеда І.В.</i>	
Система ідентифікації музичної композиції за аудіофрагментом.	252
<i>ПЕСТЕНКОВ Д.О. студент 4 курс, гр. ТР-14</i>	
<i>Доцент, к.військ. н. Онисько А.І.</i>	
Система моніторингу відеопотоків для виявлення потенційних загроз.	254
<i>РЄЗЕНКОВ Д.А. студент 4 курс, гр. ТР-14</i>	
<i>Доцент, к.е.н Сегеда І.В.</i>	
Дистанційне керування пристроями IoT на базі wifi технології.	256
<i>РУДЕНКО В.І., бакалаврант; ІМАЄВА Т.А., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Отрох С.І.</i>	
Автоматизоване робоче місце фахівця АЕС з дозиметрії та захисту від іонізуючого випромінювання.	258
<i>САПОЖНИКОВ О.Ю., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.ф.-м.н. Тарнавський Ю.А.</i>	
Інтерактивна веб-платформа пропозиції спортивних товарів.	260
<i>СКОПЦОВА В.О. студентка 4 курс, гр. ТР-14</i>	
<i>Доцент, к.е.н Сегеда І.В.</i>	
Тренування нейронної мережі для гри «камiнь-ножиці-папір».	262
<i>СТЕЦЬ А.О., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Кублій Л.І.</i>	
Графічний калькулятор побудови логічних схем.	265
<i>ТУРЛАК С.С., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Кублій Л.І.</i>	
Аналіз транзакцій для оцінки впливу поведінкових факторів на продажі.	268
<i>ЧУБУКОВА А.О., бакалаврант</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Беспала О.М.</i>	
Fuzzy Logic and Computer Vision-Based Quadcopter Landing Control Algorithm.	271
<i>HLAVATSKYI O.S., MS's programme</i>	
<i>Academic leader – prof., doc.eng.sc. Shushura O.M.</i>	

ПОКАЖЧИК АВТОРІВ ДОПОВІДЕЙ

- Bratchykova N.V. 187
Demchyshyn A.A. 232
Hlavatskyi O.S. 271
Huryn I.A. 182
Karaieva N.V. 184
Len V.V. 184
Proshchakov T.A. 232
Putrenko V.V. 218
Savchuk V.V. 215
Shapovalova S.I. 182, 190, 215
Shushura O.M. 187, 271
Shust K.E. 187
Titov V.M. 190
Yuvzhenko D.I. 218
Аксьонова Я.В. 60
Алексеева В.Г. 62
Ареф'єва А.О. 29
Аршанський Д.І. 54
Аушева Н.М. 200, 229
Баган Т.Г. 26, 113
Бандурка О.І. 151
Барабаш О.В. 157
Бараніченко О.М. 192
Батюк С.Г. 32, 69, 107
Беспала О.М. 178, 237, 268
Богза М.С. 62, 82
Бондар Д.Д. 65
Бунке О.С. 89, 98, 105
Бунь В.П. 48, 67, 75, 78, 93, 102, 116
Варава І.А. 137
Василенко М.А. 195
Васянович В.М. 32
Ващенко М.Ю. 120
Веремчук О.Ю. 4
Власюк І.В. 123
Вовченко І.В. 67
Войтко А.С. 125
Волощук В.А. 7, 10, 23
Воронюк М.В. 69, 107
Гажа М.В. 72
Галушка В.В. 75
Геращенко О.О. 18
Голець В.О. 159, 162, 164, 167, 170, 172, 174
Грудзинський Ю.Є. 65, 85
Гуменюк В.В. 78
Гуменюк В.Ю. 35
Гуменюк М.Д. 38
Гурський О.Т. 57
Дащик А.С. 128
Демський І.С. 159
Деркач Д.І. 237
Діковський А.М. 235
Дреля Є.В. 239
Дудкін О.М. 131
Єрошкін Ю.М. 145
Єрмоєнко В.М. 241
Железняк К.М. 40
Залевська О.В. 128, 142, 153
Захарченко А.С. 10, 45
Зборівський О.В. 80
Здольник М.О. 21
Зінченко Д.Д. 12
Ігнатенко В.О. 82
Імаєва Т.А. 256
Калінець І.С. 85
Кардашов О.В. 229, 235, 245
Каркушевський В.Л. 243
Коваль О.В. 159, 172, 174
Ковальов О.О. 245
Козурак Т.С. 87
Кокідько Б.С. 220
Корнійчик І.Ю. 89
Король А.С. 42
Кривоконь А.О. 162
Криворотова А.В. 91
Крутигорова В.О. 164
Крячок О.С. 209
Кублій Л.І. 211, 223, 226, 262, 265
Кузьменко І.М. 248
Кузьмініх В.О. 125, 155
Куликовський В.Г. 248
Кучинська К.А. 15
Лазоренко А.Р. 197
Лебедєв А.В. 134
Лобаєвський О.Ю. 93
Любицький С.В. 42, 87
Мавроді В.В. 96
Майоров І.Д. 137
Макарчук А.В. 157
Маріяш Ю.І. 12, 60, 96, 110
Мартинчук А.В. 250
Маруда М.А. 98
Миколук Б.В. 167
Мусієнко А.П. 131
Науменко А.В. 102
Недашківський О.Л. 139
Некрашевич О.В. 57
Некротюк А.С. 105
Нікіфорович О.Є. 7
Новіков П.В. 10, 15, 18, 91

Ноженко К.Д. 72
Ободовський А.В. 170
Омельченко А.О. 172
Онисько А.І. 252
Отрох С.І. 256
Падалко Д. 202
Передера В.Р. 139
Пестенков Д.О. 252
Підгірний В.М. 142
Пінчук М.Л. 200
Піховкіна К.В. 174
Поліщук І.А. 29, 35, 38
Помпе Д.А. 69,107
Пономаренко К.С. 45
Посохов О.Д. 110
Прохоренко К.Ю. 48
Резєнков Д.А. 254
Романюк С.М. 113
Руденко В.І. 256
Сапожников О.Ю. 258
Свинчук О.В. 123
Сегеда І.В. 250, 254, 260
Сельоткін В.О. 23
Середа В.О. 205
Сєверцев М.С. 145
Ситнік І.О. 148
Скопцова В.О. 260
Скрипченко О.А. 116
Степанець О.В. 4, 21, 54
Стець А.О. 262
Сухенко Б.О. 207
Тарнавський Ю.А. 202, 205, 213, 239, 243, 258
Темчур В.С. 26
Тимкова А.В. 178
Турлак С.С. 265
Файдюк Т.Р. 151
Федорова Н.В. 134
Хілобок О.О. 209
Холодницька А.Ю. 211
Чубукова А.О. 268
Чуйко Д.С. 213
Шалак Д.В. 153
Шаповалова С.І. 192
Шевченко В.Г. 155
Шелестюк М.О. 223
Шпурик В.В. 120, 148
Штіфзон О.Й. 40, 51, 80
Шушура О.М. 195, 197, 207, 220, 241
Юдін О.С. 51
Ющенко О.І. 226

Наукове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

У 2-х томах

Том 2

Матеріали XXII Міжнародної
науково-практичної конференції
молодих вчених і студентів

м. Київ, 22–25 квітня 2025 року

*В авторській редакції
Надруковано з оригінал-макета замовника*

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Берестейський, 37, м. Київ, 03056

Підп. до друку 02.06.2025. Формат 60×84¹/₁₆. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 16,68. Обл.-вид. арк. 21,37.
Наклад 9 пр. Зам. № 25-042.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
03056, м. Київ
тел. (044) 204-81-78