

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Комп'ютерні науки»
зі спеціальності
122 – Комп'ютерні науки

тема роботи:

«Розробка математичної моделі та інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування.»

Виконав ст. гр. КН-22-1 _____ Попришко Д. Д.

Керівник _____ Курганов І. Д.

Нормоконтроль _____ Маринич І. А.

Завідувач кафедри _____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 29 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи КН-22-1 Попришко Данилу Дмитровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка математичної моделі та інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування.»

затверджено наказом по університету № 173с від 30.03.2026 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 10.06.2026 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 77с., додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (14 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2 доц. Курганов І. Д.

Нормоконтроль доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.04.26</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.26</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.26</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.26</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.26</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.26</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>10.06.26</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2026р.

Керівник _____ / Курганов І. Д./

7. **Запевнення:** Я, Попришко Данило Дмитрович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Попришко Д. Д./

АНОТАЦІЯ

Попришко Д. Д. Розробка математичної моделі та інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування. кваліфікаційна робота бакалавра : 122 – Комп'ютерні науки. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2026. 77 с.

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення ефективності функціонування vending-мереж шляхом використання сучасних методів математичного моделювання, прогнозування попиту, аналітичної обробки даних та автоматизації процесів управління запасами продукції. Використання систем дозволяє зменшити логістичні витрати, підвищити точність прогнозування продажів та забезпечити оперативне прийняття рішень.

Метою роботи є розробка математичної моделі та інформаційно – аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування для підвищення ефективності моніторингу, контролю залишків продукції, прогнозування попиту та оптимізації процесів обслуговування.

У першому розділі роботи проведено аналіз сучасних систем управління автоматами самообслуговування та досліджено архітектури інформаційних систем, що використовуються у vending-мережах. Розглянуто сучасні підходи до математичного моделювання процесів функціонування vending-систем, проаналізовано використання статистичних методів, регресійних моделей, часових рядів, алгоритмів оптимізації та технологій машинного навчання.

У другому розділі сформовано постановку задачі розробки інформаційно-аналітичної системи управління vending-мережею та розроблено математичну модель функціонування системи. Визначено основні параметри, змінні, критерії оптимізації та зовнішні обмеження моделі. Реалізовано програмну структуру системи у середовищі MATLAB, створено модулі збору телеметричних даних, прогнозування попиту та оптимізації запасів продукції. Для демонстрації роботи системи реалізовано GUI-інтерфейс користувача та виконано моделювання процесів функціонування vending-мережі.

Ключові слова:

VENDING-МЕРЕЖА, АВТОМАТ САМООБСЛУГОВУВАННЯ,
ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА, ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ,
РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАПАСІВ, ТЕЛЕМЕТРИЧНІ ДАНІ,
MATLAB.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1	10
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТАМИ САМООБСЛУГОВУВАННЯ.....	10
1.1 Загальна характеристика автоматів самообслуговування	10
1.2 Аналіз сучасних систем управління vending-мережами	12
1.3 Аналіз архітектур автоматизованих інформаційних систем.....	14
1.4 Аналіз методів математичного моделювання vending-систем.....	15
1.5 Аналіз проблем та недоліків існуючих систем	20
Висновки до розділу	20
РОЗДІЛ 2	22
РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНО- АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕЮ АВТОМАТІВ САМООБСЛУГОВУВАННЯ.....	22
2.1 Постановка задачі інформаційно-аналітичної системи управління vending-мережею	22
2.2 Розробка математичної моделі функціонування vending-мережі.....	24
2.3 Розробка структури інформаційно-аналітичної системи та постановка задачі програмної реалізації.....	28
2.4 Алгоритми функціонування системи	35
2.4.1 Алгоритм збору та обробки телеметричних даних	35
2.4.2 Алгоритм прогнозування попиту.....	38
2.4.3 Алгоритм оптимізації запасів продукції	42
2.4.4 Структурна схема взаємодії модулів інформаційно-аналітичної системи	45
2.5 Розробка програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи у середовищі MATLAB.....	48

2.6 Розробка модуля GUI- інтерфейсу інформаційно-аналітичної системи vending-мережі у MATLAB	54
Висновки до розділу	59
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63
Додаток А Скрипт main.m	66
Додаток Б Скрипт модуля зчитування телеметричних даних telemetry_module.....	68
Додаток В Модуль preprocessing_module.m.....	69
Додаток Г Модуль forecasting_module.m	70
Додаток Д Модуль optimization_module.m.....	72
Додаток Є Модуль visualization_module.m	73
Додаток Ж Телеметричні данні (dataset) telemetry_data.csv	75
Додаток З Графічний інтерфейс GUI main_gui.m	76

ВСТУП

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується активним впровадженням автоматизованих систем у різні сфери економічної діяльності. Одним із перспективних напрямів цифровізації торговельної інфраструктури є використання автоматів самообслуговування, які забезпечують реалізацію товарів та послуг без безпосередньої участі оператора. Розвиток vending-технологій пов'язаний із поширенням засобів безготівкової оплати, Інтернету речей, хмарних сервісів, мобільних платформ та систем аналітики даних.

Автомати самообслуговування широко використовуються у сфері продажу напоїв, продуктів харчування, медичних товарів, електроніки, транспортних квитків та інших видів продукції. Основними перевагами таких систем є можливість цілодобового функціонування, зниження витрат на персонал, автоматизація процесів реалізації продукції та підвищення швидкості обслуговування користувачів. У сучасних умовах vending-мережі поступово трансформуються із локальних автономних рішень у складні розподілені інформаційно-технічні системи.

Збільшення кількості автоматів самообслуговування та розширення географії їх розташування призводить до ускладнення процесів управління. Виникає необхідність централізованого контролю технічного стану обладнання, моніторингу залишків продукції, аналізу продажів, формування статистичної звітності та прогнозування попиту. Традиційні методи обліку та управління, засновані на ручному контролі, характеризуються низькою оперативністю, значними часовими витратами та високою ймовірністю виникнення помилок.

Важливим напрямом розвитку сучасних vending-систем є інтеграція засобів телеметрії та хмарних технологій, що забезпечують збір і передачу даних у режимі реального часу. Використання IoT-платформ дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг обладнання, автоматичний контроль залишків продукції та централізоване управління мережею автоматів. Одночасно зростає

актуальність застосування математичних моделей для прогнозування попиту, оптимізації маршрутів обслуговування та мінімізації експлуатаційних витрат.

Питання автоматизації vending-систем розглядаються у роботах багатьох сучасних дослідників. У праці Ratnasri N. та Sharmilan T. виконано аналіз сучасних технологій vending-машин та визначено основні напрями розвитку систем автоматизованого управління [1]. Автори наголошують на перспективності використання IoT, бездротових мереж та хмарних платформ для централізованого моніторингу vending-обладнання.

У роботі Mourtzis D. розглянуто питання побудови систем керування автоматизованими торговельними комплексами та інтеграції інформаційних сервісів у розподілених середовищах [4]. Дослідження Kvak K. та Straka M. присвячені використанню Інтернету речей у логістичних процесах vending-систем, де показано ефективність застосування IoT для автоматизації контролю запасів та оптимізації постачання продукції [5].

Методи математичного моделювання vending-систем розглянуто у роботі «A simulation-optimisation genetic algorithm approach to product allocation in vending machine systems», де запропоновано використання генетичних алгоритмів для оптимізації розподілу продукції між автоматами самообслуговування [8]. Питання побудови систем моніторингу та прогнозування у IoT-орієнтованих vending-мережах досліджуються у працях [3, 13].

Незважаючи на значну кількість досліджень, питання створення комплексної автоматизованої інформаційної системи управління мережею автоматів самообслуговування із використанням математичних моделей прогнозування, централізованої обробки даних та засобів аналітики залишаються недостатньо дослідженими. Більшість існуючих систем орієнтовані переважно на виконання функцій моніторингу та збору статистичної інформації без реалізації інтелектуальних механізмів підтримки прийняття рішень.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування та управління мережею автоматів самообслуговування.

Предметом дослідження є методи математичного моделювання та автоматизації процесів управління мережею автоматів самообслуговування.

Метою роботи є розробка математичної моделі та інформаційно – аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування для підвищення ефективності моніторингу, контролю залишків продукції, прогнозування попиту та оптимізації процесів обслуговування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз сучасних систем управління автоматами самообслуговування;
- дослідити архітектури автоматизованих інформаційних систем;
- виконати аналіз сучасних IoT-технологій у vending-системах;
- дослідити методи математичного моделювання процесів функціонування vending-мереж;
- розробити математичну модель функціонування системи;
- спроектувати структуру автоматизованої інформаційної системи;
- розробити структуру бази даних та алгоритми обробки інформації;
- реалізувати алгоритми моніторингу та прогнозування;
- виконати моделювання роботи системи;
- оцінити ефективність запропонованих рішень.

У роботі використано методи системного аналізу, математичного моделювання, статистичного аналізу, теорії баз даних, об'єктно-орієнтованого проектування та інформаційних технологій.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої автоматизованої інформаційної системи для централізованого управління мережею автоматів самообслуговування, автоматизації процесів моніторингу та контролю, зменшення експлуатаційних витрат і підвищення ефективності функціонування vending-мереж.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТАМИ САМООБСЛУГОВУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика автоматів самообслуговування

Автомати самообслуговування є автоматизованими технічними комплексами, призначеними для реалізації товарів або надання послуг без участі продавця. Основною функцією таких систем є забезпечення автоматизованої взаємодії між користувачем та торговельним обладнанням із використанням електронних засобів управління, систем оплати та контролю.

Сучасні vending-системи застосовуються у різних сферах діяльності. Найбільш поширеними є автомати з продажу напоїв, продуктів харчування, медичних товарів, транспортних квитків, електроніки та засобів індивідуального захисту. Окремим напрямом розвитку є використання автоматів самообслуговування у логістичних системах та сфері видачі товарів електронної комерції.

Основними перевагами автоматів самообслуговування є можливість цілодобового функціонування, мінімізація витрат на персонал, автоматизація процесів продажу та скорочення часу обслуговування користувачів. Використання vending-систем дозволяє підвищити ефективність торговельної діяльності та знизити експлуатаційні витрати підприємств.

Сучасні vending-системи характеризуються високим рівнем інтеграції інформаційних технологій. У конструкції автоматів використовуються сенсорні панелі, телеметричні модулі, контролери, системи безготівкової оплати та бездротові засоби зв'язку. У роботі [1] зазначено, що одним із ключових напрямів розвитку vending-технологій є інтеграція IoT та хмарних сервісів для реалізації централізованого моніторингу та аналітики.

Важливою складовою сучасних vending-систем є використання телеметрії. Передача інформації про продажі, стан обладнання та залишки продукції

дозволяє реалізувати віддалений контроль роботи автоматів та підвищити ефективність управління мережею. У роботі [13] розглянуто структуру IoT-системи моніторингу запасів продукції у vending-автоматах та визначено переваги використання бездротових технологій зв'язку.

Вітчизняні науковці також приділяють значну увагу розвитку vending-технологій. У дослідженні П'ятницької Г. Т. та співавторів [26] виконано аналіз сучасного стану вендингової торгівлі, визначено її основні переваги, економічні ризики та перспективи розвитку в умовах цифровізації економіки. Автори зазначають, що автоматизація процесів продажу дозволяє підвищити ефективність торговельної діяльності та знизити експлуатаційні витрати.

У роботі Бадещенкової К. та співавторів [32] розглянуто вендинг як перспективний напрям розвитку підприємств, що працюють у сфері реалізації мінеральних вод. У дослідженні підкреслюється важливість автоматизації процесів обліку та контролю vending-обладнання для забезпечення стабільного функціонування торговельної мережі.

Окремим напрямом розвитку сучасних vending-систем є інтеграція систем електронної оплати та сенсорних інтерфейсів. У кваліфікаційній роботі Квача Д. Р. [28] розглянуто питання розробки програмного забезпечення системи автоматів самообслуговування на базі сенсорних терміналів платіжної системи EasyPay. У роботі досліджено принципи побудови програмної архітектури системи, засоби обробки транзакцій та механізми взаємодії між обладнанням і серверною частиною.

У сучасних vending-системах активно використовуються засоби телеметрії та IoT-технології. У роботі Mudryk R. та Orestov Y. [27] досліджено процес цифровізації автоматів продажу води та визначено переваги використання віддаленого моніторингу обладнання, контролю параметрів функціонування та автоматизованого збору статистичних даних.

Таким чином, сучасні vending-системи є складними інформаційно-технічними комплексами, що поєднують засоби автоматизації, інформаційні технології, телеметрію та аналітичні системи підтримки прийняття рішень.

1.2 Аналіз сучасних систем управління vending-мережами

Сучасні системи управління мережею автоматів самообслуговування призначені для централізованого контролю обладнання, обробки інформації про продажі, моніторингу залишків продукції та формування аналітичної звітності. Основними функціями таких систем є дистанційний моніторинг технічного стану автоматів, контроль фінансових операцій, облік запасів продукції, підтримка процесів постачання та прийняття управлінських рішень.

Основними функціями таких систем є моніторинг технічного стану автоматів, контроль залишків продукції, аналіз статистики продажів, управління фінансовими операціями та формування аналітичної звітності. Використання централізованих платформ дозволяє здійснювати контроль роботи великої кількості автоматів у режимі реального часу.

Одним із провідних рішень у сфері vending-менеджменту є система Nayax, яка забезпечує інтеграцію телеметрії, платіжних сервісів та засобів аналітики. Платформа дозволяє здійснювати дистанційний контроль vending-обладнання, аналіз продажів та моніторинг фінансових операцій.

Система Vendon орієнтована на реалізацію функцій моніторингу запасів продукції та контролю стану vending-автоматів. Використання телеметричних модулів дозволяє передавати інформацію до централізованого сервера та формувати статистичну звітність.

Рішення Crane Payment Innovations забезпечують інтеграцію платіжних систем та підтримку безготівкових транзакцій. Використання електронних засобів оплати є одним із ключових напрямів розвитку сучасних vending-систем.

У сучасних vending-мережах активно використовуються технології GSM, GPRS, Wi-Fi, Bluetooth та MQTT. Застосування бездротових засобів зв'язку забезпечує передачу інформації у режимі реального часу та дозволяє реалізувати дистанційне адміністрування обладнання.

У роботі [5] визначено, що використання IoT-платформ у логістичних процесах vending-мереж дозволяє знизити витрати на обслуговування та підвищити ефективність постачання продукції.

Дослідження [3] підтверджують перспективність використання IoT-технологій для побудови інтелектуальних vending-систем із функціями автоматизованого моніторингу та прогнозування.

Важливим напрямом розвитку сучасних систем управління є інтеграція аналітичних модулів та засобів прогнозування. Використання статистичних методів та алгоритмів машинного навчання дозволяє прогнозувати попит, аналізувати поведінку користувачів та оптимізувати процеси постачання продукції.

У роботі Ткаченка О. І. та Тишури О. М. [33] розглянуто особливості розробки веб-орієнтованої системи Coffee++, призначеної для автоматизації процесів управління мережею кавових автоматів. У дослідженні визначено основні принципи побудови клієнт-серверної архітектури системи, організації взаємодії між користувачем та сервером, а також засоби реалізації веб-інтерфейсу.

У роботі Медвідь Л. В. [29] досліджено методи вдосконалення систем аналізу vending-автоматів та розглянуто підходи до побудови аналітичних модулів обробки статистичних даних. Автором визначено, що використання аналітичних засобів дозволяє підвищити ефективність прогнозування попиту та оптимізувати процеси обслуговування vending-мереж.

У праці Толбатова А. В. та Тошбекова О. Б. [30] розглянуто питання створення стаціонарних автоматів самообслуговування для мобільних та портативних пристроїв. У роботі визначено особливості побудови апаратної структури автоматів та принципи організації взаємодії між програмними і технічними компонентами системи.

Таким чином, сучасні системи управління vending-мережами характеризуються високим рівнем інтеграції інформаційних технологій, засобів

телеметрії та аналітичних сервісів, що забезпечують автоматизацію процесів моніторингу та управління обладнанням.

1.3 Аналіз архітектур автоматизованих інформаційних систем

Архітектура автоматизованої інформаційної системи визначає структуру взаємодії між програмними, апаратними та мережевими компонентами системи. Для систем управління vending-мережами найбільш поширеними є клієнт-серверна, багаторівнева, хмарна, IoT-орієнтована та мікросервісна архітектури.

Клієнт-серверна архітектура є однією з найбільш поширених моделей побудови автоматизованих інформаційних систем. У такій архітектурі vending-автомати виступають клієнтами, які передають інформацію до центрального сервера. Сервер забезпечує накопичення даних, обробку інформації, формування звітності та централізоване адміністрування системи. Такий підхід забезпечує централізований контроль обладнання та формування статистичної звітності.

Перевагою клієнт-серверного підходу є можливість централізованого управління даними та спрощення процесів оновлення програмного забезпечення. Однак зі збільшенням кількості автоматів виникають проблеми масштабованості та навантаження на серверну інфраструктуру.

Багаторівнева архітектура передбачає розподіл системи на окремі логічні рівні, серед яких виділяють рівень представлення, прикладної логіки та баз даних. Такий підхід забезпечує підвищення гнучкості системи та спрощує модернізацію окремих модулів.

У сучасних системах активно використовується хмарна архітектура, яка дозволяє реалізувати централізоване зберігання інформації та масштабування обчислювальних ресурсів. У роботах [4, 5] встановлено, що використання хмарних платформ забезпечує ефективну інтеграцію телеметричних даних та аналітичних сервісів.

Використання REST API забезпечує інтеграцію окремих модулів системи та підтримку взаємодії між програмними компонентами. Такий підхід дозволяє

реалізувати гнучку структуру автоматизованої інформаційної системи та забезпечити її адаптацію до зміни функціональних вимог.

У роботі [33] розглянуто реалізацію веб-орієнтованої системи управління мережею кавових автоматів із використанням клієнт-серверної архітектури. Автори зазначають, що використання веб-технологій дозволяє реалізувати централізоване адміністрування системи та забезпечити дистанційний доступ до інформації про стан vending-обладнання.

Важливим напрямом розвитку автоматизованих інформаційних систем є використання IoT-архітектури, що передбачає інтеграцію сенсорів, мікроконтролерів та бездротових засобів зв'язку. У дослідженні [27] показано ефективність використання телеметричних засобів моніторингу для автоматів продажу води та реалізації централізованого контролю параметрів функціонування системи.

У сучасних інформаційних системах також активно застосовується мікросервісна архітектура. У працях [21, 22] зазначено, що використання мікросервісного підходу дозволяє забезпечити високу масштабованість системи, спростити процеси супроводу програмного забезпечення та реалізувати незалежне функціонування окремих сервісів.

Дослідження зазначених в роботі джерел підтверджують актуальність використання сучасних інформаційних архітектур для побудови автоматизованих систем управління vending-мережами та інтеграції засобів телеметрії, веб-технологій і централізованих серверних платформ.

1.4 Аналіз методів математичного моделювання vending-систем

Математичне моделювання є одним із ключових інструментів дослідження та автоматизації процесів управління мережею автоматів самообслуговування. Використання математичних моделей дозволяє формалізувати процеси функціонування vending-систем, виконувати прогнозування попиту, оцінювати

ефективність роботи обладнання, аналізувати поведінку користувачів та оптимізувати логістичні процеси обслуговування.

Сучасні vending-мережі є складними динамічними системами, робота яких залежить від великої кількості факторів. До основних факторів належать інтенсивність потоку користувачів, місце розташування автоматів, сезонні коливання попиту, структура асортименту продукції, технічний стан обладнання та часові характеристики роботи системи. У зв'язку з цим для дослідження процесів функціонування vending-мереж використовуються статистичні методи, регресійні моделі, методи імітаційного моделювання, алгоритми оптимізації та засоби машинного навчання.

Одним із найбільш поширених підходів є використання статистичних методів аналізу даних. Статистичне моделювання дозволяє досліджувати закономірності зміни попиту, оцінювати середні показники продажів, аналізувати інтенсивність використання vending-автоматів та формувати прогнози оцінки. Основою статистичного аналізу є накопичення історичних даних про продажі, часові інтервали роботи обладнання та обсяги реалізації продукції.

Для аналізу інтенсивності продажів можуть використовуватись середні значення, дисперсія, коефіцієнти варіації та кореляційний аналіз. Використання статистичних методів дозволяє визначити найбільш популярні категорії продукції, виявити сезонні коливання попиту та оцінити стабільність функціонування vending-мережі.

Однією з базових моделей опису процесу продажу є модель залежності попиту від часу:

$$S(t) = f(t)$$

де $S(t)$ - обсяг продажів у момент часу t .

Для оцінки середнього рівня попиту використовується математичне сподівання:

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

де S_i - значення продажів у відповідний часовий інтервал, n - кількість спостережень.

Статистичні методи широко застосовуються для аналізу часових рядів. У vending-системах часові ряди використовуються для опису зміни попиту залежно від часу доби, дня тижня або сезону. Аналіз часових рядів дозволяє прогнозувати майбутні обсяги продажів та оптимізувати процеси постачання продукції.

Важливе місце у математичному моделюванні vending-систем займають регресійні моделі. Регресійний аналіз використовується для встановлення залежності між обсягом продажів та факторами, що впливають на функціонування системи. До таких факторів належать місце встановлення автомата, кількість відвідувачів, температура навколишнього середовища, час доби та ціна продукції.

Лінійна регресійна модель може бути представлена у вигляді:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

де Y - прогнозований обсяг продажів, x_i - фактори впливу, a_i - коефіцієнти моделі.

Регресійні моделі дозволяють оцінити ступінь впливу окремих факторів на обсяг продажів та виконувати прогнозування поведінки системи при зміні параметрів функціонування. Для оцінки адекватності моделі використовуються коефіцієнт детермінації R^2 , середньоквадратична помилка та критерії статистичної значущості.

У складних vending-системах часто використовуються нелінійні регресійні моделі, оскільки залежність між параметрами системи не завжди має лінійний характер. Нелінійні моделі дозволяють більш точно описувати процеси зміни попиту та враховувати сезонні коливання.

Одним із ефективних інструментів дослідження процесів функціонування vending-мереж є імітаційне моделювання. Імітаційні моделі дозволяють відтворювати поведінку системи у реальному або прискореному масштабі часу та аналізувати взаємодію між окремими компонентами системи.

Методи імітаційного моделювання використовуються для:

– дослідження процесів продажу продукції;

- аналізу навантаження на vending-автомати;
- оцінки ефективності маршрутів обслуговування;
- дослідження процесів поповнення запасів;
- аналізу часу простою обладнання.

Імітаційне моделювання дозволяє оцінити поведінку системи при різних сценаріях функціонування без необхідності проведення експериментів на реальному обладнанні. Для дослідження vending-систем широко використовуються дискретно-подійні моделі, у яких функціонування системи описується послідовністю окремих подій.

У роботі Banks J. [24] наведено основні принципи побудови дискретно-подійних моделей складних технічних систем, які можуть бути використані для аналізу функціонування vending-мереж.

Важливим напрямом математичного моделювання є використання алгоритмів оптимізації. Основною задачею оптимізації у vending-системах є мінімізація витрат на обслуговування та максимізація ефективності функціонування мережі.

Для оптимізації маршрутів постачання продукції часто використовується задача комівояжера, яка дозволяє визначити найкоротший маршрут обслуговування vending-автоматів. Цільова функція задачі може бути представлена у вигляді:

$$L = \sum_{i=1}^n d_i \rightarrow \min$$

де d_i -відстань між пунктами маршруту.

У роботі [8] запропоновано використання генетичних алгоритмів для оптимізації розподілу продукції між автоматами самообслуговування. Використання еволюційних алгоритмів дозволяє підвищити ефективність управління запасами та мінімізувати витрати на логістику.

Додатково у vending-системах можуть використовуватись алгоритми динамічного програмування, методи рою частинок та алгоритми пошуку локального оптимуму. Такі підходи дозволяють автоматизувати процес

прийняття рішень щодо постачання продукції та планування обслуговування обладнання.

Перспективним напрямом розвитку математичного моделювання vending-систем є використання засобів машинного навчання. Алгоритми машинного навчання дозволяють аналізувати великі обсяги статистичних даних, виявляти приховані закономірності та формувати прогнозні моделі поведінки системи.

Для прогнозування попиту у vending-системах можуть використовуватись:

- дерева рішень;
- штучні нейронні мережі;
- метод опорних векторів;
- ансамблеві алгоритми;
- рекурентні нейронні мережі.

Штучні нейронні мережі дозволяють враховувати складні нелінійні залежності між параметрами системи та забезпечують високу точність прогнозування. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє автоматично адаптувати модель до зміни поведінки користувачів та умов функціонування vending-мережі.

У роботі [23] визначено, що використання технологій Big Data та машинного навчання є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасних інформаційних систем підтримки прийняття рішень.

Таким чином, математичне моделювання vending-систем базується на комплексному використанні статистичних методів, регресійного аналізу, імітаційного моделювання, алгоритмів оптимізації та засобів машинного навчання. Поєднання зазначених підходів дозволяє підвищити ефективність функціонування vending-мереж, забезпечити прогнозування попиту та автоматизувати процеси управління системою.

1.5 Аналіз проблем та недоліків існуючих систем

Незважаючи на активний розвиток vending-технологій, сучасні системи управління автоматами самообслуговування характеризуються рядом недоліків та обмежень. Однією з основних проблем є недостатній рівень автоматизації процесів прогнозування попиту та підтримки прийняття управлінських рішень.

Більшість існуючих систем орієнтовані переважно на реалізацію функцій моніторингу та збору статистичних даних. Аналітичні модулі часто мають обмежену функціональність та не забезпечують комплексного прогнозування поведінки системи.

Важливою проблемою є складність масштабування централізованих платформ при збільшенні кількості vending-автоматів. Зростання обсягів телеметричних даних призводить до збільшення навантаження на серверну інфраструктуру та потребує використання сучасних засобів обробки інформації.

Додатковою проблемою є забезпечення інформаційної безпеки IoT-пристроїв. Вразливості бездротових мереж та недостатній рівень захисту телеметричних каналів можуть призводити до несанкціонованого доступу до системи.

У роботі [6] розглянуто використання blockchain-технологій для підвищення безпеки vending-систем та захисту інформації під час виконання фінансових транзакцій.

Ще одним недоліком сучасних систем є висока вартість впровадження комплексних платформ моніторингу та аналітики. Використання хмарних сервісів та телеметричних модулів потребує значних фінансових витрат, що обмежує можливість їх використання у невеликих vending-мережах.

Висновки до розділу:

У результаті проведеного аналізу встановлено, що сучасні системи управління автоматами самообслуговування активно використовують IoT-

технології, хмарні сервіси, телеметричні засоби моніторингу та централізовані інформаційні платформи.

Дослідження сучасних архітектур автоматизованих інформаційних систем показало, що найбільш перспективними є хмарні та мікросервісні архітектури, які забезпечують масштабованість, централізоване управління даними та інтеграцію аналітичних сервісів.

Проведений аналіз методів математичного моделювання підтвердив доцільність використання статистичних моделей, алгоритмів оптимізації та засобів прогнозування у задачах управління vending-мережами. Математичне моделювання є необхідним інструментом прогнозування попиту, оптимізації запасів та мінімізації витрат на обслуговування vending-мереж.

Встановлено, що існуючі системи мають обмежені можливості прогнозування та підтримки прийняття рішень, що визначає актуальність розробки автоматизованої інформаційної системи управління мережею автоматів самообслуговування із використанням математичних моделей, засобів аналітики та сучасних інформаційних технологій.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕЮ АВТОМАТІВ САМООБСЛУГОВУВАННЯ

2.1 Постановка задачі інформаційно-аналітичної системи управління vending-мережею

Сучасні мережі автоматів самообслуговування є складними розподіленими системами, функціонування яких пов'язане з необхідністю постійного контролю технічного стану обладнання, моніторингу запасів продукції, обробки фінансових операцій та аналізу статистичних даних. Збільшення кількості vending-автоматів і розширення географії їх розташування призводить до зростання обсягів інформації, що потребує використання сучасних інформаційних технологій та засобів аналітики для підтримки процесів управління [1, 5].

У сучасних vending-системах значна частина процесів моніторингу та обліку реалізується із використанням телеметричних платформ, IoT-технологій та хмарних сервісів. Водночас існуючі системи управління переважно орієнтовані на збір статистичних даних і виконання функцій дистанційного контролю обладнання без реалізації повноцінних механізмів прогнозування та підтримки прийняття рішень [4]. Це ускладнює процеси оптимізації запасів продукції, планування обслуговування та прогнозування попиту.

Однією з основних задач управління vending-мережею є забезпечення безперервного функціонування автоматів самообслуговування при мінімізації витрат на експлуатацію та логістичне обслуговування. Для вирішення даної задачі необхідно здійснювати постійний моніторинг параметрів функціонування системи, аналіз продажів, контроль залишків продукції та формування прогнозних оцінок зміни попиту.

У роботах [8, 23] визначено, що використання математичних моделей та аналітичних методів дозволяє підвищити ефективність управління складними інформаційними системами, забезпечити оптимізацію процесів постачання продукції та автоматизувати підтримку прийняття управлінських рішень. Особливу актуальність мають задачі прогнозування продажів, оцінки інтенсивності використання vending-автоматів та оптимізації маршрутів обслуговування.

Інформаційно-аналітична система управління vending-мережею повинна забезпечувати централізований збір, обробку та аналіз даних про функціонування автоматів самообслуговування. До основних функцій системи належать:

- моніторинг технічного стану vending-автоматів;
- контроль залишків продукції;
- облік фінансових операцій;
- накопичення статистичних даних;
- прогнозування попиту;
- формування аналітичної звітності;
- підтримка процесів прийняття рішень щодо обслуговування мережі.

У роботі [33] зазначено, що використання веб-орієнтованих платформ дозволяє реалізувати централізоване адміністрування vending-мереж та забезпечити дистанційний доступ до інформації про стан обладнання. Інтеграція IoT-технологій забезпечує передачу телеметричних даних у режимі реального часу та дозволяє автоматизувати процеси моніторингу [27].

Основою функціонування інформаційно-аналітичної системи є математична модель vending-мережі, яка повинна описувати процеси зміни запасів продукції, інтенсивність продажів та параметри функціонування обладнання. Формалізація процесів функціонування системи дозволяє реалізувати алгоритми прогнозування та оптимізації.

Модель зміни запасів продукції може бути представлена співвідношенням:

$$Q_i(t+1) = Q_i(t) - S_i(t) + R_i(t)$$

де $Q_i(t)$ - залишок продукції у i -му автоматі в момент часу t , $S_i(t)$ - обсяг продажів, $R_i(t)$ - обсяг поповнення запасів.

Для прогнозування попиту доцільно використовувати регресійні моделі та методи аналізу часових рядів, що дозволяють враховувати вплив зовнішніх факторів на інтенсивність продажів. У загальному вигляді модель прогнозування може бути записана як:

$$D(t) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

де $D(t)$ - прогнозований попит, x_i - фактори впливу, a_i - параметри моделі.

Важливою задачею системи є мінімізація витрат на обслуговування vending-мережі. Для цього необхідно забезпечити оптимізацію маршрутів постачання продукції та своєчасне виявлення автоматів, що потребують технічного обслуговування. Використання аналітичних алгоритмів дозволяє знизити витрати на логістику та підвищити ефективність функціонування мережі [8].

Таким чином, основною задачею даної роботи є розробка інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування, яка забезпечує централізований моніторинг обладнання, аналіз статистичних даних, прогнозування попиту та підтримку прийняття рішень на основі математичних моделей і сучасних інформаційних технологій.

2.2 Розробка математичної моделі функціонування vending-мережі

Математичне моделювання є основою побудови інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування. Формалізація процесів функціонування vending-мережі дозволяє описати взаємозв'язки між параметрами системи, реалізувати алгоритми прогнозування попиту, оптимізувати процеси постачання продукції та мінімізувати витрати на експлуатацію обладнання. Використання математичних моделей забезпечує можливість автоматизованого аналізу роботи мережі та підтримки прийняття управлінських рішень [8, 23].

Vending-мережа розглядається як складна динамічна система, стан якої змінюється у часі під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів. До внутрішніх факторів належать обсяги продажів, залишки продукції, технічний стан обладнання та ефективність логістичних процесів. Зовнішні фактори визначаються інтенсивністю потоку користувачів, часовими характеристиками роботи системи, сезонністю попиту, місцем встановлення автоматів та зміною цінової політики.

Для побудови математичної моделі необхідно визначити параметри системи та змінні, які описують процеси функціонування vending-мережі.

Основними параметрами системи є:

- кількість автоматів самообслуговування;
- залишки продукції;
- інтенсивність продажів;
- прогнозований попит;
- логістичні витрати;
- витрати на технічне обслуговування;
- прибуток від реалізації продукції;
- час обслуговування обладнання.

Стан vending-мережі у момент часу t визначається вектором параметрів:

$$X(t) = \{Q_i(t), S_i(t), D_i(t), P_i(t), M_i(t)\}$$

де $Q_i(t)$ - залишок продукції у i -му автоматі, $S_i(t)$ - обсяг продажів, $D_i(t)$ - прогнозований попит, $P_i(t)$ - прибуток, $M_i(t)$ - витрати на обслуговування.

Однією з основних задач системи є контроль залишків продукції та забезпечення своєчасного поповнення запасів. Для опису процесу зміни запасів використовується балансова модель:

$$Q_i(t+1) = Q_i(t) - S_i(t) + R_i(t)$$

де $Q_i(t)$ - поточний залишок продукції, $S_i(t)$ - кількість реалізованої продукції, $R_i(t)$ - обсяг поповнення запасів.

Дана залежність описує динаміку зміни запасів продукції у vending-автоматах та дозволяє реалізувати алгоритми автоматизованого контролю рівня запасів.

Для прогнозування попиту використовується регресійна модель, що враховує вплив зовнішніх факторів на інтенсивність продажів:

$$D_i(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \cdot x_k(t)$$

де $x_k(t)$ - фактори впливу, a_k - коефіцієнти регресійної моделі.

До факторів впливу належать: час доби; день тижня; сезонність; інтенсивність потоку користувачів; місце розташування автомата; температура навколишнього середовища; вартість продукції.

Регресійна модель дозволяє формувати прогнозні оцінки попиту та визначати зміну інтенсивності продажів залежно від зовнішніх факторів.

Оскільки процеси продажів мають часовий характер, для аналізу зміни попиту використовується модель часових рядів:

$$Y(t) = T(t) + S(t) + E(t)$$

де $T(t)$ - трендова складова, $S(t)$ - сезонна складова, $E(t)$ - випадкова компонента.

Використання часових рядів дозволяє враховувати циклічні зміни попиту та підвищити точність прогнозування продажів.

Важливою задачею функціонування vending-мережі є мінімізація витрат на постачання продукції, логістику та технічне обслуговування обладнання. Для цього формується інтегральна цільова функція оптимізації:

$$J = \sum_{i=1}^n (P_i - \alpha C_i - \beta L_i - \gamma M_i) \rightarrow \max$$

де P_i - прибуток від функціонування i -го автомата, C_i - витрати на постачання продукції, L_i - логістичні витрати, M_i - витрати на технічне обслуговування, α , β , γ - вагові коефіцієнти.

Цільова функція забезпечує максимізацію ефективності функціонування vending-мережі при одночасному зменшенні витрат на її експлуатацію.

Для забезпечення коректного функціонування системи вводяться початкові умови та зовнішні обмеження моделі.

Початкові умови визначають початковий стан vending-мережі:

$$Q_i(0) = Q_{i0}$$

де Q_{i0} - початковий запас продукції у i -му автоматі.

Початкові значення прогнозованого попиту визначаються як:

$$D_i(0) = D_{i0}$$

де D_{i0} - початкове значення попиту.

До зовнішніх обмежень моделі належать обмеження на обсяг запасів продукції:

$$0 \leq Q_i(t) \leq Q_i^{max}$$

де Q_i^{max} - максимальний допустимий обсяг продукції у vending-автоматі.

Обмеження на обсяг продажів мають вигляд:

$$S_i(t) \leq D_i(t)$$

що визначає залежність між обсягом продажів та прогнозованим попитом.

Для забезпечення ефективності логістичних процесів вводиться обмеження на сумарний обсяг постачання продукції:

$$\sum_{i=1}^n R_i(t) \leq R^{max}$$

де R^{max} - максимально допустимий обсяг постачання.

Також враховується обмеження на час обслуговування vending-автоматів:

$$T_i(t) \leq T^{max}$$

де T^{max} - максимально допустимий час обслуговування обладнання.

Таким чином, задача управління vending-мережею формулюється як задача багатокритеріальної оптимізації. Необхідно визначити такі параметри управління системою:

$$U(t) = \{R_i(t), L_i(t), M_i(t)\}$$

які забезпечують максимізацію цільової функції:

$$J \rightarrow \max$$

при заданих початкових умовах та зовнішніх обмеженнях:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_i(t+1) = Q_i(t) - S_i(t) + R_i(t) \\ 0 \leq Q_i(t) \leq Q_i^{max} \\ S_i(t) \leq D_i(t) \\ \sum_{i=1}^n R_i(t) \leq R^{max} \\ T_i(t) \leq T^{max} \end{array} \right.$$

Отримана математична модель є основою для розробки алгоритмів програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування. Модель дозволяє реалізувати функції прогнозування попиту, оптимізації запасів продукції, аналізу ефективності роботи vending-автоматів та підтримки прийняття управлінських рішень.

2.3 Розробка структури інформаційно-аналітичної системи та постановка задачі програмної реалізації

Розробка інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування базується на принципах модульності, масштабованості та централізованої обробки даних. Основною задачею системи є забезпечення збору, зберігання, аналізу та обробки інформації про функціонування vending-мережі з подальшим формуванням керуючих рішень щодо постачання продукції, прогнозування попиту та моніторингу технічного стану обладнання.

Сучасні vending-системи функціонують у середовищі великої кількості інформаційних потоків, що включають телеметричні дані, статистику продажів, параметри обладнання та результати аналітичної обробки. У зв'язку з цим інформаційно-аналітична система повинна забезпечувати безперервний обмін даними між автоматами самообслуговування, серверною частиною та клієнтськими застосунками [4, 5].

Структура розробленої системи формується за багаторівневим принципом та включає:– рівень збору даних;

- рівень передачі інформації;
- серверний рівень;
- рівень зберігання даних;
- аналітичний модуль;
- користувацький інтерфейс.

На нижньому рівні системи розташовані автомати самообслуговування, які виступають джерелами телеметричної інформації. Від vending-автоматів до системи надходять дані про:

- обсяги продажів;
- залишки продукції;
- стан обладнання;
- виконані транзакції;
- параметри помилок та аварійних ситуацій.

Передача інформації здійснюється через IoT-модуль зв'язку із використанням мережевих технологій та протоколів обміну даними. Для реалізації взаємодії між обладнанням та серверною частиною доцільно використовувати протокол MQTT, який забезпечує передачу телеметричних повідомлень у режимі реального часу та характеризується низьким мережевим навантаженням [5].

IoT-модуль виконує:

- збір телеметричних даних;
- локальну обробку повідомлень;
- передачу інформації на сервер;
- контроль з'єднання із vending-автоматами.

Серверна частина системи є центральним елементом архітектури та забезпечує виконання бізнес-логіки інформаційно-аналітичної системи.

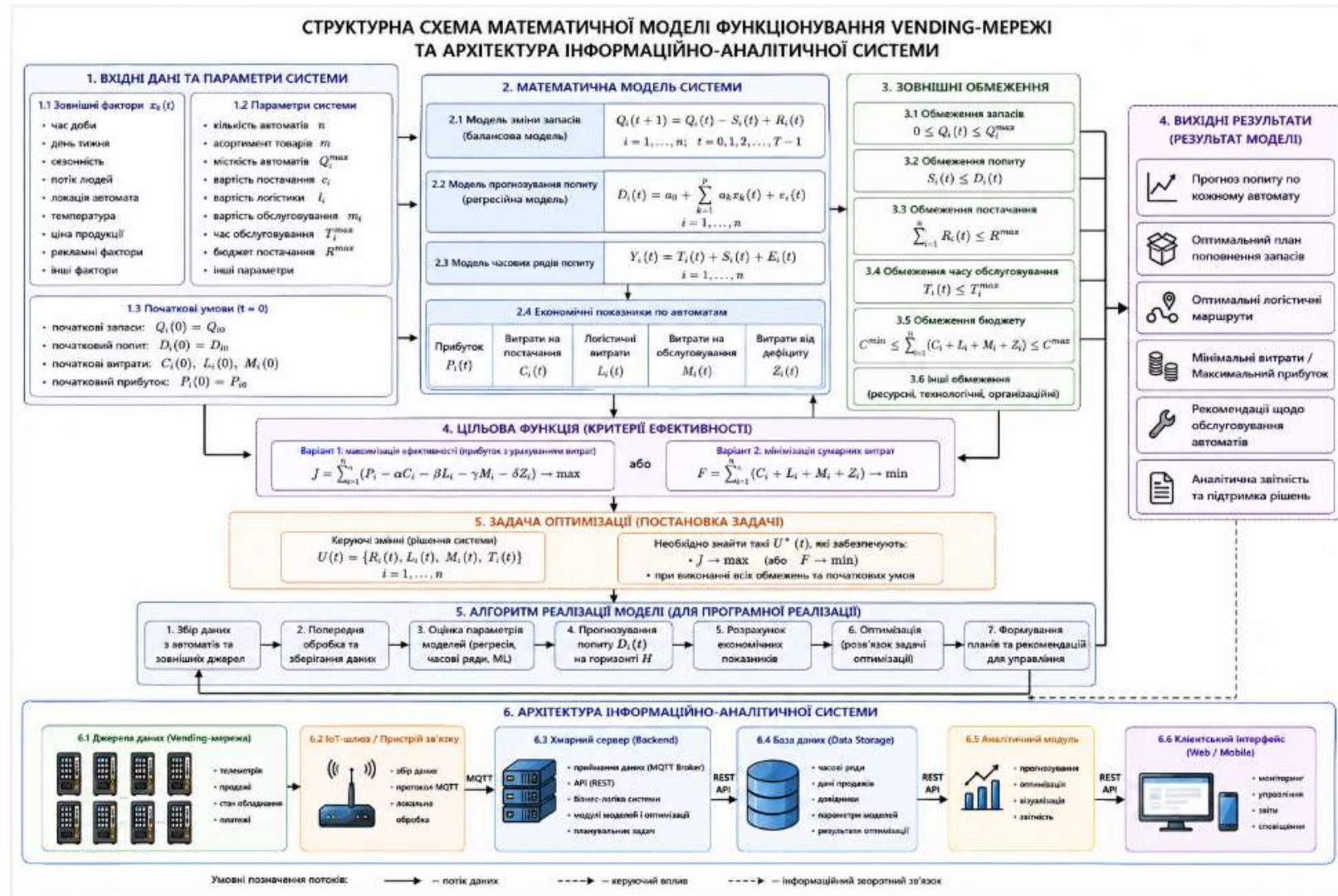


Рисунок 2.1- Структурна схема математичної моделі функціонування vending-мережі та архітектура інформаційно-аналітичної системи

Основними функціями серверного рівня є:

- приймання даних від vending-автоматів;
- обробка телеметричних повідомлень;
- виконання математичних розрахунків;
- реалізація алгоритмів прогнозування;
- формування аналітичних звітів;
- передача результатів користувацькому інтерфейсу.

У серверній частині реалізується математична модель функціонування vending-мережі, яка включає модулі прогнозування попиту, аналізу часових рядів та оптимізації логістичних процесів. Використання централізованого серверного середовища дозволяє реалізувати обробку статистичних даних у режимі реального часу та забезпечити підтримку прийняття управлінських рішень.

Для зберігання інформації використовується база даних, яка містить:

- історію продажів;
- телеметричні дані;
- параметри vending-автоматів;
- результати прогнозування;
- параметри математичних моделей;
- інформацію про логістичні операції.

З огляду на необхідність роботи з часовими рядами та статистичними даними доцільним є використання реляційної бази даних із підтримкою аналітичних запитів. База даних забезпечує накопичення інформації для подальшого навчання моделей прогнозування та аналізу ефективності функціонування vending-мережі.

Аналітичний модуль є одним із ключових компонентів інформаційної системи. Його основною задачею є реалізація алгоритмів математичного моделювання та формування рекомендацій щодо управління мережею автоматів самообслуговування. Аналітичний модуль виконує:

- прогнозування попиту;
- оцінку економічних показників;

- оптимізацію маршрутів постачання;
- аналіз витрат;
- формування статистичної звітності.

Для прогнозування попиту використовуються регресійні моделі та методи аналізу часових рядів. На основі накопичених статистичних даних система визначає прогнозовані обсяги продажів та формує рекомендації щодо поповнення запасів продукції.

Взаємодія користувача із системою здійснюється через web-інтерфейс або мобільний клієнт. Користувацький інтерфейс забезпечує:

- моніторинг стану vending-мережі;
- перегляд статистики продажів;
- аналіз прогнозованого попиту;
- формування звітів;
- отримання повідомлень про аварійні ситуації;
- управління параметрами системи.

Для взаємодії між серверною частиною та клієнтськими застосунками використовується REST API, що забезпечує стандартизований обмін даними між компонентами інформаційної системи.

Відповідно до розробленої структури формується задача програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи управління vending-мережею. Основною задачею програмної реалізації є створення програмного комплексу, який забезпечує:

- збір та обробку телеметричних даних;
- зберігання інформації у базі даних;
- реалізацію математичної моделі функціонування vending-мережі;
- прогнозування попиту;
- оптимізацію процесів постачання;
- візуалізацію результатів аналізу;
- підтримку прийняття управлінських рішень.

Для реалізації системи доцільно використовувати клієнт-серверну архітектуру із виділенням окремих функціональних модулів:

- модуль збору даних;
- сервер обробки інформації;
- модуль математичного моделювання;
- модуль аналітики;
- web-інтерфейс користувача.

Програмна реалізація математичної моделі повинна забезпечувати можливість автоматичного оновлення параметрів системи, обробки статистичних даних та адаптації прогнозних моделей до зміни умов функціонування vending-мережі.

Таким чином, розроблена структура інформаційно-аналітичної системи забезпечує інтеграцію IoT-технологій, серверної обробки даних, математичного моделювання та аналітичних алгоритмів у єдиному програмному середовищі. Сформована постановка задачі програмної реалізації визначає функціональні вимоги до системи та є основою для подальшої розробки алгоритмів і програмних компонентів інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування.

Таким чином, розроблена структура інформаційно-аналітичної системи забезпечує інтеграцію IoT-технологій, серверної обробки даних, математичного моделювання та аналітичних алгоритмів у єдиному програмному середовищі. Сформована постановка задачі програмної реалізації визначає функціональні вимоги до системи та є основою для подальшої розробки алгоритмів і програмних компонентів інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування.

Разом із тим реалізація повнофункціональної інформаційно-аналітичної системи для vending-мережі потребує значного обсягу програмної розробки, що виходить за межі бакалаврської роботи. Повна реалізація усіх компонентів системи, включаючи серверну інфраструктуру, web-інтерфейс, систему

авторизації користувачів, мережеву взаємодію та комплексну базу даних, потребує значних часових і обчислювальних ресурсів.

У зв'язку з цим у даній роботі доцільно зосередити увагу на реалізації найбільш важливих функціональних компонентів, які безпосередньо пов'язані з математичною моделлю функціонування vending-мережі та забезпечують основні аналітичні можливості системи. Такий підхід дозволяє сконцентрувати дослідження на ключових алгоритмах обробки даних, прогнозування та оптимізації, що формують наукову основу інформаційно-аналітичної системи.

На основі розробленої структури системи для подальшої програмної реалізації обрано три основні функціональні модулі:

- модуль збору та обробки даних;
- модуль прогнозування попиту;
- модуль оптимізації запасів продукції.

Модуль збору та обробки даних забезпечує отримання телеметричної інформації від vending-автоматів, перевірку коректності даних, накопичення статистичної інформації та передачу параметрів до аналітичної підсистеми. Реалізація даного модуля є необхідною для формування інформаційної бази математичної моделі.

Модуль прогнозування попиту є центральним компонентом інформаційно-аналітичної системи та реалізує алгоритми статистичного аналізу, регресійного моделювання та прогнозування часових рядів. Основною задачею модуля є формування прогнозних оцінок продажів на основі накопичених статистичних даних та зовнішніх факторів впливу.

Модуль оптимізації запасів продукції використовує результати прогнозування попиту для визначення необхідного рівня запасів продукції та формування рекомендацій щодо поповнення vending-автоматів. Реалізація даного модуля дозволяє мінімізувати ризик дефіциту продукції та зменшити витрати на логістичне обслуговування мережі.

Виділення зазначених модулів дозволяє реалізувати основні функції інформаційно-аналітичної системи, зберігаючи при цьому логічну цілісність

розробленої архітектури. Обраний підхід забезпечує можливість подальшого розширення системи та інтеграції додаткових функціональних компонентів без зміни базових принципів її побудови.

2.4 Алгоритми функціонування системи

2.4.1 Алгоритм збору та обробки телеметричних даних

Одним із ключових елементів інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування є модуль збирання та обробки телеметричних даних. Цей модуль забезпечує отримання інформації про функціонування vending-автоматів в режимі реального часу, накопичення статистичних даних та передачу параметрів до аналітичної підсистеми для подальшого прогнозування та оптимізації роботи мережі.

Телеметричні дані є основою функціонування інформаційно-аналітичної системи, оскільки саме вони характеризують поточний стан vending-мережі та дозволяють здійснювати моніторинг обладнання, контроль запасів продукції та аналіз інтенсивності продажів. У сучасних vending-системах телеметрія формується IoT-модулями, що інтегровані у структуру автоматів самообслуговування та забезпечують передачу інформації через мережеві канали зв'язку [5].

Основним завданням алгоритму збору та обробки телеметричних даних є:

- отримання інформації від vending-автоматів;
 - перевірка коректності отриманих даних;
 - попередня обробка повідомлень;
- Збереження інформації в базі даних;
- передача параметрів до аналітичного модуля;
 - формування повідомлень про критичні стани системи.

До основних параметрів телеметричних даних належать:

- ідентифікатор vending-автомата;
- дата та година передачі повідомлення;

- обсяг продажу;
- Залишки продукції;
- стан обладнання;
- інформація про помилки;
- параметри електроживлення;
- статистика транзакцій.

Передача телеметричних повідомлень здійснюється через IoT-модуль з використанням мережевих протоколів обміну даними. У роботі для передачі телеметрії необхідно використовувати протокол MQTT, який забезпечує низьке мережеве навантаження та підтримує передачу повідомлень в режимі реального часу [5].

Таблиця 2.1 - Структура телеметричного повідомлення може бути подана у вигляді:

Поле даних	Опис
device_id	Ідентифікатор vending-автомата
timestamp	Час формування повідомлення
product_id	Ідентифікатор продукції
stock_level	Поточний рівень запасів
sales_count	Кількість продаж
temperature	Температура обладнання
error_code	Код помилки
status	Стан автомату
power_state	Стан електроживлення

Алгоритм функціонування модуля збору та обробки телеметричних даних включає послідовність операцій приймання, перевірки та обробки інформації. На першому етапі здійснюється отримання повідомлення від vending-автомата через мережевий інтерфейс. Після цього виконується перевірка структури повідомлення та контроль коректності параметрів.

У разі успішної перевірки дані передаються до модуля попередньої обробки, де виконується:

- перетворення форматів даних;
- фільтрація помилкових значень;
- нормалізація параметрів;
- визначення критичних станів обладнання.

Після завершення обробки інформація записується до бази даних та передається до аналітичного модуля системи. У разі виявлення аварійного стану або критичного зниження запасів продукції система формує повідомлення оператору.

Структурну схему алгоритму збору та обробки телеметричних даних наведено на рисунку. 2.2.

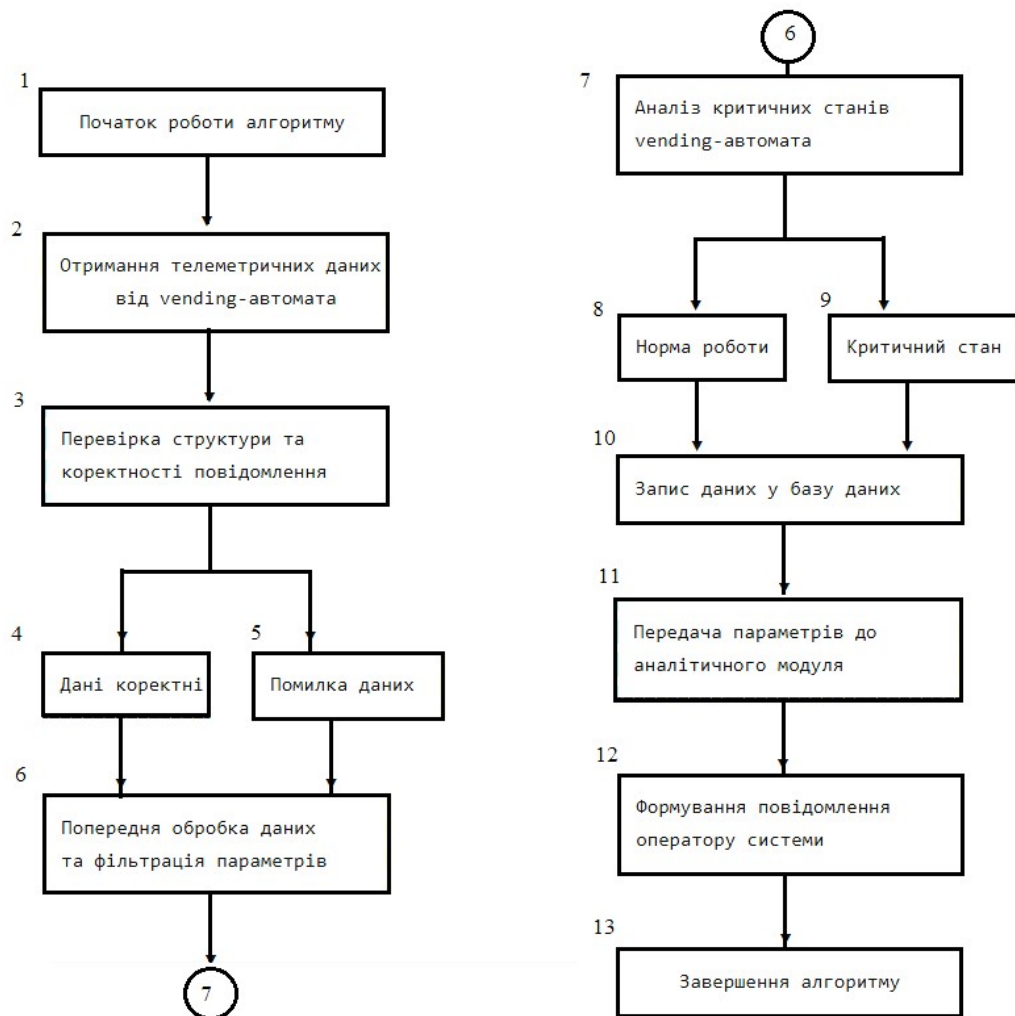


Рисунок 2.2 - Структурна схема алгоритму збору та обробки телеметричних даних

Результатом роботи алгоритму є формування структурованого набору телеметричних даних, придатного для подальшого аналізу та використання у математичній моделі функціонування vending-мережі. Отримані дані використовуються для прогнозування попиту, оцінки ефективності роботи автоматів самообслуговування та оптимізації процесів постачання продукції.

Реалізація модуля збору та обробки телеметричних даних забезпечує централізований моніторинг vending-мережі, підвищує оперативність виявлення несправностей обладнання та створює інформаційну основу для функціонування аналітичної підсистеми управління мережею автоматів самообслуговування.

2.4.2 Алгоритм прогнозування попиту

Одним із ключових компонентів інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування є модуль прогнозування попиту. Саме даний модуль забезпечує формування прогнозних оцінок продажу продукції, визначення тенденцій зміни споживання та підтримку процесів прийняття рішень щодо поповнення запасів vending-автоматів.

У сучасних vending-системах прогнозування споживання є необхідною умовою забезпечення ефективного функціонування мережі, оскільки недостатній рівень запасів продукції призводить до втрати прибутку, а надлишкові запаси збільшують витрати на логістику та обслуговування [8, 23]. Використання методів машинного навчання та статистичного аналізу дозволяє підвищити точність прогнозування та адаптувати систему до зміни поведінки користувачів.

Основою алгоритму прогнозування попиту є аналіз статистичних даних про продаж продукції у vending-автоматах. Для побудови прогнозної моделі використовуються: історичні дані продажів; годинні характеристики роботи системи; сезонні фактори; параметри довкілля; інформація про місцезнаходження автоматів.

Алгоритм прогнозування включає декілька послідовних етапів:

- збір статистичних даних;

- попередню обробку інформації;
- формування набору ознак;
- побудову математичної моделі;
- навчання моделі;
- прогнозування попиту;
- оцінку точності прогнозу.

На першому етапі виконується накопичення статистики продажів з бази даних інформаційної системи. Дані формуються у вигляді часових рядів, де кожному годинниковому інтервалу відповідає певний обсяг продажів.

Таблиця 2.2 - Структура набору даних для прогнозування

Дата	Автомат	Продажі	Температура	День тижня	Година	Попит
01.05.2026	VM-01	125	24	Понеділок	12	130
02.05.2026	VM-01	118	22	Вівторок	13	120
03.05.2026	VM-02	145	27	Середа	14	150

Після накопичення статистичних даних виконується попередня обробка інформації. На цьому етапі здійснюється: видалення помилкових значень; усунення пропущених даних; нормалізація параметрів; формування ознак для навчання моделі.

Для прогнозування попиту в роботі використовується регресійна модель, яка описує залежність між попитом та зовнішніми факторами:

$$D_i(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \cdot x_k(t)$$

де $D_i(t)$ - прогнозований попит, $x_k(t)$ - фактори впливу, a_k - коефіцієнти регресійної моделі.

Регресійна модель дозволяє визначити ступінь впливу окремих факторів на обсяг продажів та забезпечує формування прогнозних оцінок збуту. Як фактори впливу можуть використовуватися:

- година доби;

- день тижня;
- сезонність;
- температура довкілля;
- Інтенсивність потоку користувачів;
- Розташування vending-автомата.

Оскільки продажі продукції змінюються у часі, важливою складовою алгоритму є аналіз часових рядів. Часовий ряд продажів описується співвідношенням:

$$Y(t) = T(t) + S(t) + E(t)$$

де $T(t)$ - трендова складова, $S(t)$ - сезонна складова, $E(t)$ - випадкова компонента.

Трендова складова визначає загальну тенденцію зміни продажів, сезонна складова характеризує циклічні зміни попиту, а випадкова компонента враховує випадкові коливання параметрів системи.

Для прогнозування часових рядів можуть використовуватись:

- лінійна регресія;
- поліноміальна регресія;
- метод ковзного середнього;
- ARIMA-моделі;
- рекурентні нейронні мережі.

У роботі доцільно використовувати лінійну регресійну модель, оскільки вона забезпечує достатню точність прогнозування та характеризується невисокою обчислювальною складністю, що є важливим для реалізації у бакалаврській роботі.

Алгоритм прогнозування попиту наведений на рисунку 2.3.

Важливим етапом алгоритму є оцінка точності прогнозування. Для аналізу адекватності моделі використовуються статистичні критерії: середньоквадратична помилка; коефіцієнт детермінації; середня абсолютна помилка; коефіцієнт кореляції.

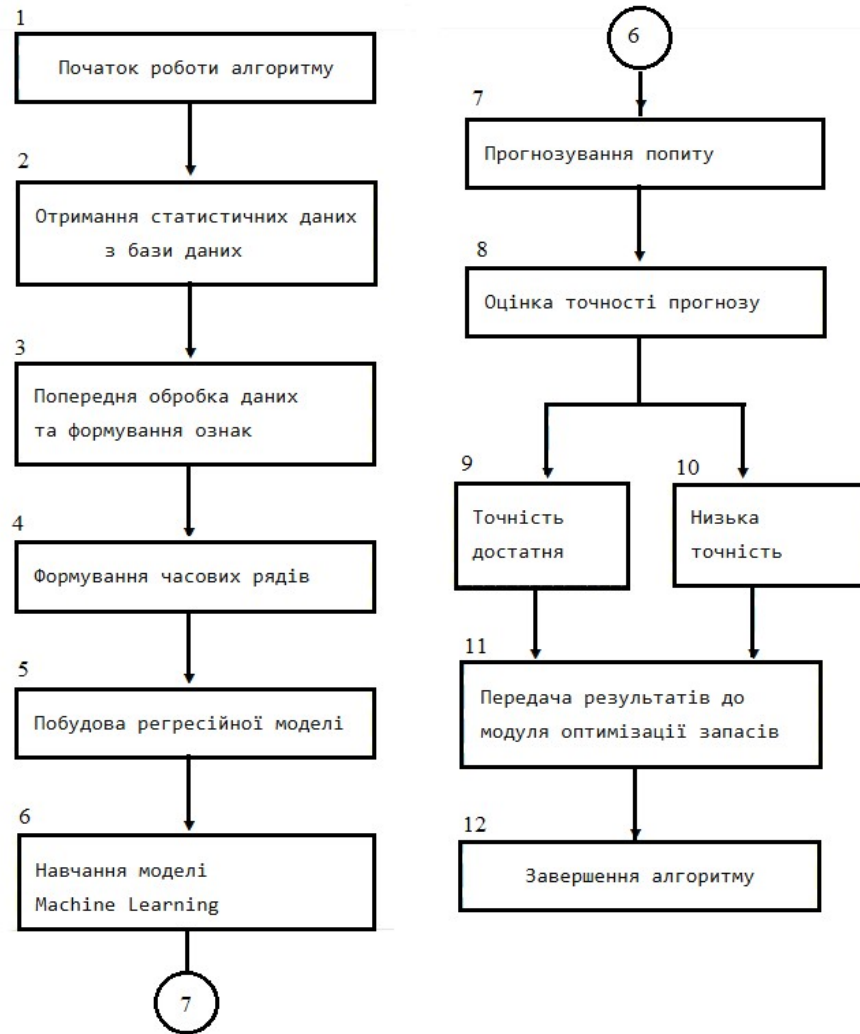


Рисунок 2.3 - Алгоритм прогнозування попиту

Середньоквадратична помилка визначається співвідношенням:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

де y_i - фактичне значення попиту, $\hat{y}_i$ - прогнозоване значення.

Для оцінки якості регресійної моделі використовується коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

де $\bar{y}$ - Середнє значення вибірки.

Високе значення коефіцієнта детермінації свідчить про адекватність побудованої моделі та можливість її використання для прогнозування попиту в vending-мережі.

Результатом роботи алгоритму є формування прогнозних оцінок споживання, які передаються до модуля оптимізації запасів продукції. Отримані прогнози використовуються для визначення необхідного обсягу постачання продукції, мінімізації ризику дефіциту товарів та підвищення ефективності функціонування vending-мережі.

Таким чином, алгоритм прогнозування споживання реалізує методи статистичного аналізу, регресійного моделювання, часових рядів та машинного навчання для формування прогнозних оцінок продажу продукції. Реалізація цього алгоритму є основною аналітичною складовою інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування.

2.4.3 Алгоритм оптимізації запасів продукції

Однією з основних задач інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування є забезпечення раціонального управління запасами продукції. Недостатній рівень запасів призводить до втрати прибутку внаслідок відсутності товару у vending-автоматі, тоді як надлишкові запаси збільшують витрати на логістику та обслуговування мережі. У зв'язку з цим важливою складовою системи є алгоритм оптимізації запасів продукції, який забезпечує формування рекомендацій щодо поповнення vending-автоматів на основі прогнозованого попиту [8, 23].

Основною задачею алгоритму є визначення оптимального рівня запасів продукції для кожного vending-автомата з урахуванням статистики продажів, прогнозованого попиту та логістичних обмежень. Алгоритм використовує результати роботи модуля прогнозування попиту та забезпечує підтримку прийняття рішень щодо постачання продукції.

Вхідними параметрами алгоритму є:

- поточний рівень запасів продукції;

- прогнозований попит;
- критичний рівень запасів;
- максимальна місткість vending-автомата;
- параметри логістичних обмежень.

Поточний стан запасів продукції описується рівнянням:

$$Q_i(t+1) = Q_i(t) - S_i(t) + R_i(t)$$

де $Q_i(t)$ - поточний залишок продукції, $S_i(t)$ - кількість реалізованої продукції, $R_i(t)$ - обсяг поповнення запасів.

У процесі роботи алгоритму виконується аналіз залишків продукції та порівняння їх із прогнозованим попитом. Якщо поточний рівень запасів є нижчим за допустиме значення, система формує рекомендацію щодо поповнення vending-автомата.

Для визначення необхідного обсягу постачання використовується співвідношення:

$$R_i(t) = D_i(t) - Q_i(t)$$

де $D_i(t)$ - прогнозований попит, $Q_i(t)$ - поточний запас продукції.

При цьому враховуються обмеження на максимальний обсяг запасів:

$$0 \leq Q_i(t) \leq Q_i^{max}$$

де Q_i^{max} - максимальний допустимий обсяг продукції у vending-автоматі.

Алгоритм оптимізації запасів продукції включає такі основні етапи:

- отримання даних про поточні запаси;
- отримання прогнозованого попиту;
- аналіз критичного рівня запасів;
- визначення необхідного обсягу поповнення;
- перевірка логістичних обмежень;
- формування рекомендації щодо постачання продукції.

Графічне представлення алгоритму оптимізації запасів продукції наведено на рисунку. 2.4.

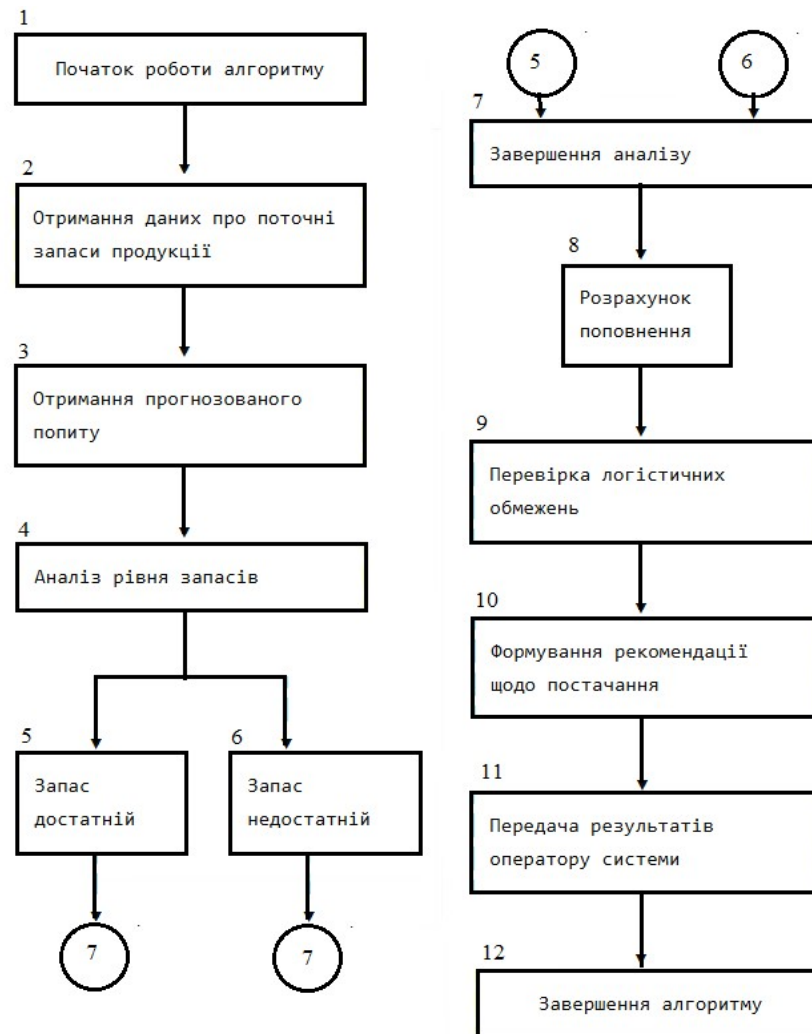


Рисунок 2.4 - Алгоритм оптимізації запасів продукції

Результатом роботи алгоритму є формування рекомендацій щодо оптимального поповнення запасів продукції у vending-автоматах. Реалізація алгоритму дозволяє зменшити ризик дефіциту товарів, підвищити ефективність логістичних процесів та мінімізувати витрати на обслуговування vending-мережі.

Таким чином, алгоритм оптимізації запасів продукції забезпечує автоматизовану підтримку процесів управління запасами на основі результатів прогнозування попиту та математичної моделі функціонування vending-мережі.

2.4.4 Структурна схема взаємодії модулів інформаційно-аналітичної системи

Функціонування інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування базується на взаємодії окремих програмних модулів, які забезпечують послідовну обробку інформації, аналіз параметрів функціонування vending-мережі та формування керуючих рішень. Побудова модульної структури дозволяє розділити функції системи за окремими рівнями обробки даних та забезпечити можливість подальшого розширення програмного комплексу.

У межах роботи структура системи формується на основі трьох основних модулів:

- модуля збору та обробки телеметричних даних;
- модуля прогнозування попиту;
- модуля оптимізації запасів продукції.

Взаємодія між модулями здійснюється шляхом послідовної передачі інформації між функціональними компонентами системи. Первинні телеметричні дані надходять від vending-автоматів до модуля збору та обробки даних, де виконується їх перевірка, фільтрація та підготовка до подальшого аналізу. Після цього оброблені дані передаються до бази даних та використовуються модулем прогнозування попиту для формування математичної моделі прогнозування продажів.

Модуль прогнозування попиту виконує аналіз статистичних даних, формує часові ряди та реалізує алгоритми машинного навчання для визначення прогнозованих значень попиту. Результати прогнозування передаються до модуля оптимізації запасів продукції, де на основі математичної моделі функціонування vending-мережі визначається необхідний обсяг поповнення продукції та формуються рекомендації щодо логістичного обслуговування автоматів самообслуговування.

Результати роботи модуля оптимізації запасів використовуються оператором системи для прийняття рішень щодо постачання продукції, контролю роботи vending-мережі та аналізу ефективності її функціонування.

Структурна схема взаємодії модулів інформаційно-аналітичної системи наведена на рисунку 2.5.

Запропонована структура забезпечує логічне розділення функцій системи відповідно до етапів обробки інформації та дозволяє реалізувати централізоване управління vending-мережею. Модульна організація системи спрощує процес програмної реалізації, підвищує масштабованість програмного комплексу та забезпечує можливість подальшої інтеграції додаткових аналітичних і програмних компонентів без зміни базової архітектури системи.

Використання структурного поділу системи на окремі функціональні модулі дозволяє локалізувати обчислювальні процеси, зменшити складність програмної реалізації та забезпечити незалежний розвиток окремих компонентів інформаційно-аналітичної системи. Такий підхід забезпечує підвищення надійності функціонування програмного комплексу, спрощує модернізацію окремих модулів та створює можливість адаптації системи до зміни умов функціонування vending-мережі.

Крім того, модульна архітектура дозволяє реалізувати поетапне впровадження програмних компонентів, що є доцільним для систем із розподіленою структурою обробки даних. Незалежність функціональних модулів забезпечує можливість використання різних методів математичного моделювання, алгоритмів машинного навчання та засобів аналітичної обробки інформації без необхідності повної зміни програмної структури системи.



Рисунок 2.5 - Структурна схема взаємодії модулів інформаційно-аналітичної системи

Розроблена структурна схема взаємодії модулів формує основу подальшої програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування та забезпечує інтеграцію процесів збору даних, прогнозування попиту та оптимізації запасів у межах єдиного інформаційного середовища.

2.5 Розробка програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи у середовищі MATLAB

Для програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування у роботі використовується середовище MATLAB, яке забезпечує засоби математичного моделювання, статистичного аналізу, машинного навчання та візуалізації результатів обчислень. Використання MATLAB є доцільним, оскільки середовище дозволяє реалізувати математичну модель vending-мережі, алгоритми прогнозування попиту та модулі аналітичної обробки даних у межах єдиного програмного комплексу.

Програмна реалізація системи формується за модульним принципом відповідно до розробленої структури взаємодії компонентів. Загальна структура програмного проекту включає:

- головний керуючий модуль;
- модуль збору та обробки телеметричних даних;
- модуль прогнозування попиту;
- модуль оптимізації запасів;
- модуль візуалізації результатів;
- базу статистичних даних.

Головний модуль координує взаємодію між окремими компонентами системи, забезпечує послідовність виконання алгоритмів та формує загальний цикл функціонування інформаційно-аналітичної системи.

Загальна структура програмного проекту у середовищі MATLAB наведена на рисунку 2.6.

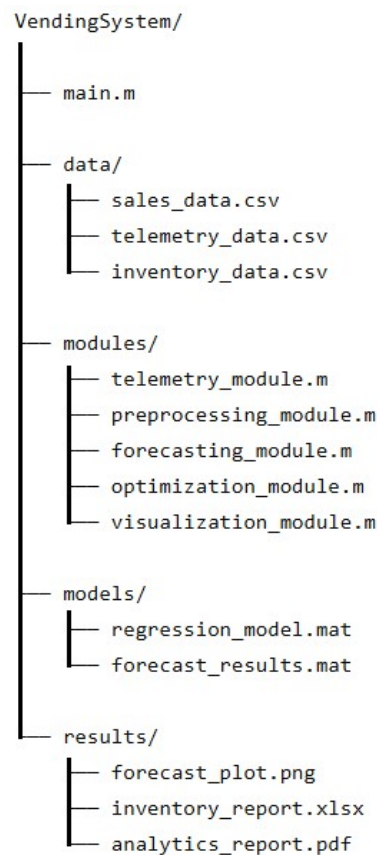


Рисунок 2.6 - Загальна структура програмного проекту у середовищі MATLAB

Головний файл проекту main.m забезпечує запуск усіх функціональних модулів системи та реалізує загальну послідовність обробки інформації.

Структурна схема програмної взаємодії модулів наведена на рисунку 2.7.

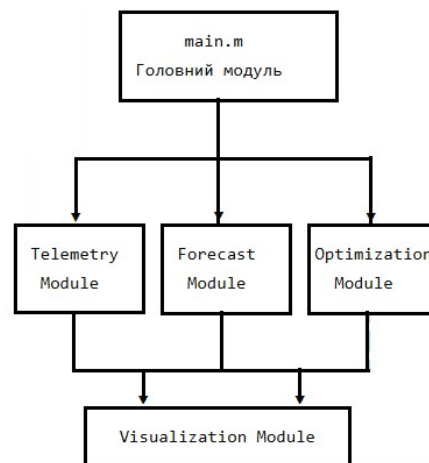


Рисунок 2.7 - Структурна схема програмної взаємодії модулів

Модуль збору та обробки телеметричних даних реалізується у файлі `telemetry_module.m`. Основною задачею модуля є завантаження статистичних даних, перевірка їх коректності та формування структури параметрів vending-мережі. Розгорнутий приклад реалізації модуля збору та обробки телеметричних даних наведений в додатку Б.

Приклад програмної реалізації модуля наведений на рисунку 2.8.

```
function telemetryData = telemetry_module(filename)

data = readtable(filename);

data = rmmissing(data);

data.sales_count(data.sales_count < 0) = 0;

telemetryData.time = data.timestamp;
telemetryData.sales = data.sales_count;
telemetryData.stock = data.stock_level;
telemetryData.temperature = data.temperature;

disp('Телеметричні дані успішно оброблені');

end
```

Рисунок 2.8 - Реалізації модуля збору та обробки телеметричних даних

Після обробки телеметричні дані передаються до модуля прогнозування попиту.

Модуль прогнозування попиту реалізується у файлі `forecasting_module.m`. Даний модуль використовує методи регресійного аналізу та машинного навчання для формування прогнозних оцінок продажів.

Регресійна модель прогнозування має вигляд:

$$D_i(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \cdot x_k(t)$$

Програмна реалізація модуля прогнозування:

```

function forecast = forecasting_module(data)

X = [data.temperature];
Y = data.sales;

model = fitlm(X,Y);

futureTemp = [22; 24; 26; 28];

forecast = predict(model,futureTemp);

disp('Прогноз попиту сформовано');

end

```

Рисунок 2.9 - Програмна реалізація модуля прогнозування

Повний варіант реалізації модуля прогнозування попиту наведений в додатку Г.

Для оцінки адекватності моделі використовуються статистичні критерії середньоквадратичної помилки та коефіцієнта детермінації.

Середньоквадратична помилка визначається співвідношенням:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

де y_i - фактичне значення попиту, $\hat{y}_i$ - прогнозоване значення.

Для оцінки якості регресійної моделі використовується коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

де $\bar{y}$ - Середнє значення вибірки.

Модуль оптимізації запасів продукції реалізується у файлі optimization_module.m (додаток Д). Даний модуль використовує результати прогнозування попиту для формування рекомендацій щодо поповнення vending-автоматів.

Математична модель зміни запасів визначається рівнянням:

$$Q_i(t+1) = Q_i(t) - S_i(t) + R_i(t)$$

```
function reorder = optimization_module(stock,forecast)

criticalLevel = 30;
maxStock = 150;

for i = 1:length(stock)

    if stock(i) < criticalLevel

        reorder(i) = maxStock - stock(i);

    else

        reorder(i) = max(0,forecast(i)-stock(i));

    end

end

disp('Рекомендації поповнення сформовано');

end
```

Рисунок 2.10 - Програмна реалізація модуля оптимізації

Результати роботи аналітичних модулів передаються до модуля візуалізації, який забезпечує побудову графіків, статистичних звітів та аналітичних таблиць.

```
function visualization_module(actual,forecast)

figure;

plot(actual,'LineWidth',2);
hold on;

plot(forecast,'LineWidth',2);

grid on;

xlabel('Час');
ylabel('Попит');

legend('Фактичний попит','Прогноз');

title('Прогнозування попиту у vending-мережі');

end
```

Рисунок 2.11 – Реалізація побудови графіка прогнозування попиту

Приклад побудови графіка прогнозування попиту наведено на рисунку 2.11 (додаток Є).

Загальний цикл функціонування програмної системи реалізується у головному файлі main.m (додаток А).

```
clc;
clear;

telemetryData = telemetry_module('sales_data.csv');

forecast = forecasting_module(telemetryData);

reorder = optimization_module( ...
    telemetryData.stock, forecast);

visualization_module( ...
    telemetryData.sales, forecast);

disp('Роботу системи завершено');
```

Рисунок 2.12 – Реалізація загального модуля main.m

Результат виконання надано на рисунку 2.13.

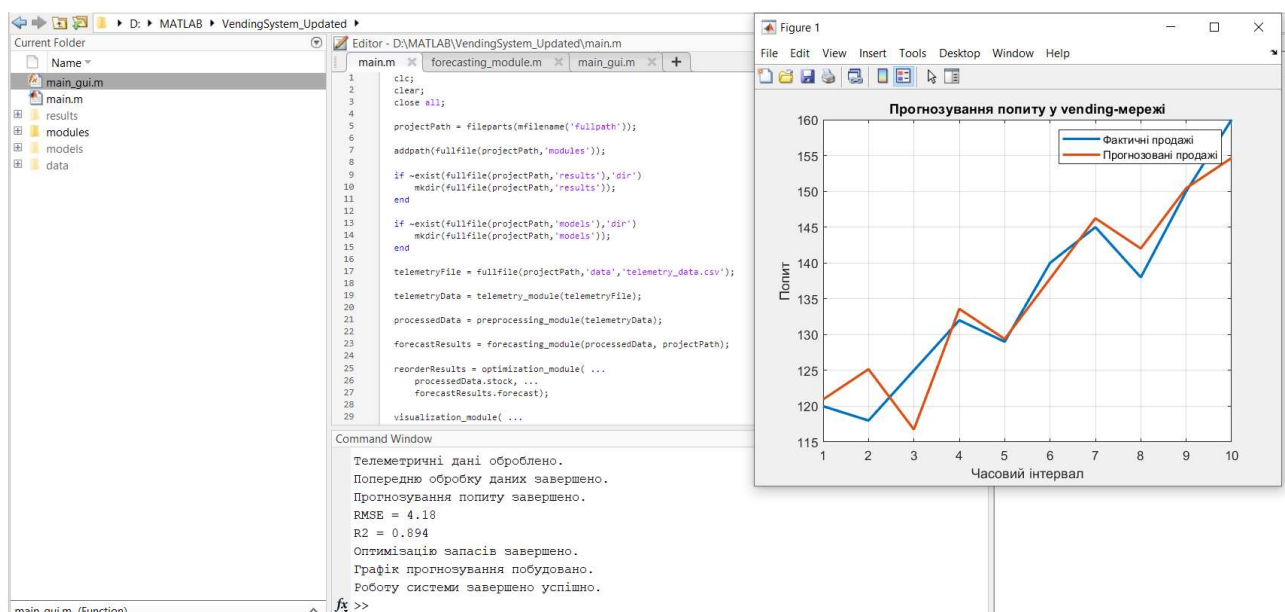


Рисунок 2.13 Результат виконання main.m

Розроблена структура програмної реалізації дозволяє інтегрувати математичну модель vending-мережі, алгоритми прогнозування попиту та модулі оптимізації запасів у межах єдиного програмного комплексу. Запропонований підхід забезпечує можливість моделювання процесів функціонування vending-мережі, проведення аналітичних досліджень та подальшого розвитку інформаційно-аналітичної системи.

2.6 Розробка модуля GUI- інтерфейсу інформаційно-аналітичної системи vending-мережі у MATLAB

Для підвищення наочності роботи інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування у роботі реалізовано графічний інтерфейс користувача у середовищі MATLAB. Використання GUI-інтерфейсу дозволяє забезпечити інтерактивну взаємодію оператора з програмним комплексом, виконувати запуск окремих функціональних модулів та відображати результати математичного моделювання у реальному часі.

Використання GUI дозволяє візуалізувати процеси збору телеметричних даних, прогнозування попиту, оптимізації запасів та відображення результатів моделювання у зручному інтерактивному вигляді.

Розроблений GUI-інтерфейс реалізовано засобами MATLAB UI Components із використанням елементів керування `uifigure`, `uibutton`, `uitable`, `uiaxes` та `uicontrol`. Архітектура інтерфейсу побудована відповідно до модульної структури інформаційно-аналітичної системи та забезпечує інтеграцію алгоритмів збору телеметричних даних, прогнозування попиту та оптимізації запасів продукції.

Головне вікно програмного комплексу містить функціональні елементи керування запуском окремих модулів системи, область візуалізації графіків та таблицю відображення результатів аналітичної обробки даних. Керування системою здійснюється через послідовний запуск програмних процедур, реалізованих у вигляді callback-функцій GUI-інтерфейсу.

Структура GUI – інтерфейсу наведено на рисунку 2.14.

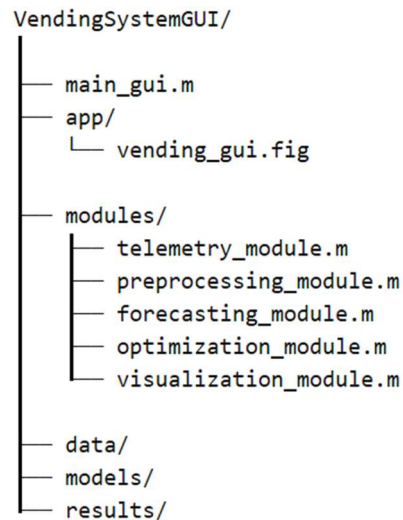


Рисунок 2.14 – Структура GUI – інтерфейсу

Програмна реалізація модуля GUI-інтерфейсу наведено в додатку 3.

Після запуску GUI-інтерфейсу виконується ініціалізація програмного середовища та автоматичне підключення функціональних модулів системи. На першому етапі здійснюється завантаження телеметричних даних із CSV-файлів, що містять статистику продажів, параметри запасів продукції та додаткові експлуатаційні характеристики vending-автоматів. Після обробки даних виконується їх нормалізація та формування структури параметрів для подальшого математичного аналізу.

Наступним етапом роботи системи є прогнозування попиту із використанням регресійної моделі. У процесі виконання алгоритму формується математична модель залежності обсягів продажів від вхідних параметрів системи. Для оцінки адекватності моделі використовуються статистичні критерії середньоквадратичної помилки та коефіцієнта детермінації. Результати прогнозування відображаються у таблиці GUI-інтерфейсу та використовуються під час подальшої оптимізації запасів продукції.

Після завершення прогнозування система виконує оптимізацію запасів vending-мережі. На основі отриманих прогнозних значень формується рекомендація щодо поповнення автоматів самообслуговування. Реалізований

алгоритм забезпечує визначення необхідного обсягу продукції для кожного vending-автомата з урахуванням поточного залишку продукції та прогнозованого попиту.

Окремим етапом функціонування GUI-системи є візуалізація результатів математичного моделювання. У графічній області інтерфейсу відображаються залежності фактичних та прогнозованих продажів, що дозволяє оцінити якість роботи регресійної моделі та проаналізувати характер зміни попиту у vending-мережі. Побудовані графіки автоматично зберігаються у директорії результатів проекту та можуть бути використані під час формування аналітичної звітності.

Зовнішній вигляд інтерфейсу GUI-системи представлено на рисунку 2.15.

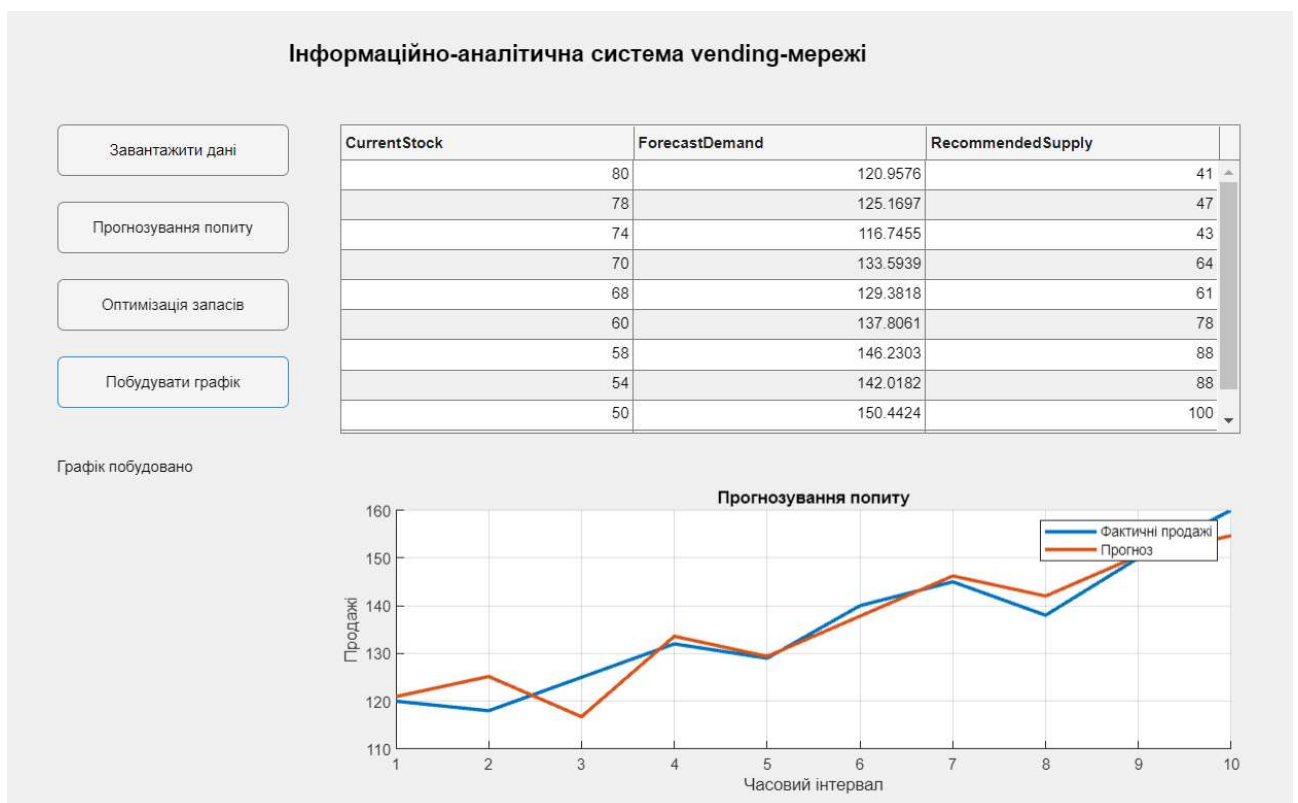


Рисунок 2.15 Результат виконання main_gui.m зовнішній вигляд інтерфейсу

У процесі демонстрації роботи програмного комплексу було показано повний цикл функціонування інформаційно-аналітичної системи: завантаження телеметричних даних, обробку статистичної інформації, формування регресійної моделі, прогнозування попиту, оптимізацію запасів та побудову графіків

результатів моделювання. Під час виконання програмної реалізації система автоматично формує файли результатів у форматах .mat, .xlsx та .png, що підтверджує працездатність розробленого програмного комплексу.

Отримані результати демонструють можливість використання середовища MATLAB для реалізації інформаційно-аналітичних систем управління vending-мережами, а також підтверджують ефективність застосування методів математичного моделювання, регресійного аналізу та прогнозування у задачах автоматизації процесів управління автоматами самообслуговування.

Висновки до розділу:

У даному розділі роботи виконано постановку задачі розробки інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування та сформовано загальну структуру математичного забезпечення системи. У межах дослідження визначено основні параметри функціонування vending-мережі, сформовано множину вхідних та вихідних змінних, а також розроблено математичні залежності для опису процесів продажу, прогнозування попиту та управління запасами продукції.

У процесі дослідження розроблено математичну модель функціонування vending-мережі, яка об'єднує регресійні методи прогнозування, елементи часових рядів та алгоритми оптимізації запасів у межах єдиної цільової функції мінімізації витрат. Сформовано систему початкових параметрів, зовнішніх обмежень та критеріїв оптимізації, що дозволяє використовувати розроблену модель як основу для програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи.

На основі розробленої математичної моделі сформовано структуру програмної реалізації системи у середовищі MATLAB. У роботі реалізовано основні функціональні модулі збору телеметричних даних, прогнозування попиту та оптимізації запасів продукції. Також розроблено графічний GUI-інтерфейс користувача, який забезпечує інтерактивне керування процесами моделювання, візуалізацію результатів та демонстрацію роботи програмного комплексу.

Результати програмної реалізації підтвердили працездатність запропонованої структури інформаційно-аналітичної системи та можливість практичного використання методів математичного моделювання, регресійного аналізу й прогнозування для задач управління vending-мережами. Отримані результати створюють основу для подальшого розвитку системи шляхом інтеграції IoT-технологій, хмарної аналітики та сучасних методів машинного навчання.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто задачу розробки математичної моделі та інформаційно-аналітичної системи управління мережею автоматів самообслуговування. Проведено аналіз сучасних vending-систем, досліджено архітектури автоматизованих інформаційних систем та визначено основні напрямки застосування математичного моделювання, методів прогнозування і аналітичної обробки даних у задачах управління vending-мережами. На основі аналізу наукових джерел встановлено актуальність використання засобів Data Analytics, регресійних моделей та технологій машинного навчання для підвищення ефективності функціонування автоматів самообслуговування.

У процесі дослідження сформовано математичну модель функціонування vending-мережі, яка описує процеси зміни запасів продукції, прогнозування попиту та оптимізації логістичних витрат. Розроблена модель базується на використанні регресійного аналізу, часових рядів та цільової функції мінімізації витрат системи. У межах моделі визначено основні параметри функціонування мережі, сформовано систему обмежень та критеріїв оптимізації, що дозволило створити математичне підґрунтя для програмної реалізації інформаційно-аналітичної системи.

На основі отриманої математичної моделі розроблено структуру програмної реалізації системи у середовищі MATLAB. Реалізовано модулі збору та обробки телеметричних даних, прогнозування попиту та оптимізації запасів продукції. Для забезпечення інтерактивної взаємодії користувача з програмним комплексом створено GUI-інтерфейс, який дозволяє виконувати запуск алгоритмів моделювання, аналіз результатів прогнозування та візуалізацію статистичних даних.

У процесі програмної реалізації та моделювання підтверджено працездатність розробленої структури інформаційно-аналітичної системи. Отримані результати прогнозування попиту та оптимізації запасів демонструють можливість використання запропонованих алгоритмів для підвищення

ефективності управління vending-мережею, зменшення дефіциту продукції та підтримки прийняття рішень оператором системи. Використання MATLAB дозволило забезпечити інтеграцію математичного моделювання, аналітичної обробки даних та візуалізації результатів у межах єдиного програмного середовища.

Практичне значення роботи полягає у можливості подальшого розвитку розробленої системи шляхом інтеграції IoT-технологій, MQTT-протоколів, хмарної аналітики та сучасних методів машинного навчання. Отримані результати можуть бути використані як основа для створення інтелектуальних систем управління vending-мережами та дослідження процесів функціонування distributed cyber-physical систем у сфері автоматизації та комп'ютерних наук.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ratnasri N., Sharmilan T. Vending Machine Technologies: A Review Article // International Journal of Sciences: Basic and Applied Research. 2021.
2. Agustine B. P., Astawa I. G. P., Budikarso A. Design of an IoT-Based Snack Vending Machine with QR Code Payment, Automatic Stock Monitoring, and QoS Evaluation // Indonesian Journal of Computer Science. 2026.
3. Nimbalkar P. V., Magar S. D., Nimbalkar P. S. Insights into IoT-Driven Smart Vending Machine Systems // International Journal of Advanced Electrical and Electronics Engineering. 2025.
4. Mourtzis D., Vlachou E., Zogopoulos V. An IoT-Based Platform for Automated Customized Shopping in Distributed Environments // Procedia CIRP. 2018. Vol. 72. P. 892–897.
5. Kvak K., Straka M. The Use of the Internet of Things in the Distribution Logistics of Consumables // Applied Sciences. 2024. Vol. 14(8).
6. Henriques S., Lewis S., Kotian G. An IoT-Based Vending Machine Using Blockchain for Enhanced Security // Journal of IoT in Social, Mobile, Analytics, and Cloud. 2022.
7. Mourtzis D. Design of a Control System for a Vending Machine // Procedia CIRP. 2020. Vol. 91. P. 758–763.
8. A simulation-optimisation genetic algorithm approach to product allocation in vending machine systems // Expert Systems with Applications. 2020. Vol. 145.
9. Ramírez D. Integración del internet de las cosas en los procesos logísticos de máquinas dispensadoras // Revista CINTEX. 2018.
10. Monostori L. Cyber-Physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges // Procedia CIRP. 2014.
11. Chang C., Srirama S. N., Buyya R. Mobile Cloud Business Process Management System for the Internet of Things: A Survey // arXiv. 2015.
12. Perwej A. Analytical Study for Seeking Relation Between CRM and ERP // arXiv. 2012.

13. Nasution M. Z. A., Erwansyah K., Halim J. Perancangan Sistem Monitoring Stok Minuman Di Vending Machine Berbasis IoT // Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma. 2021.
14. Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. Boston : Pearson, 2016.
15. Silberschatz A., Korth H., Sudarshan S. Database System Concepts. 7th ed. New York : McGraw-Hill, 2019.
16. Pressman R. Software Engineering: A Practitioner's Approach. 8th ed. New York : McGraw-Hill, 2015.
17. Gamma E. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Boston : Addison-Wesley, 1994.
18. Fowler M. UML Distilled. 3rd ed. Boston : Addison-Wesley, 2004.
19. Tanenbaum A., Wetherall D. Computer Networks. 5th ed. Pearson, 2011.
20. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications. Sebastopol : O'Reilly Media, 2017.
21. Newman S. Building Microservices. Sebastopol : O'Reilly Media, 2021.
22. Richardson C. Microservices Patterns. Manning Publications, 2018.
23. Minelli M., Chambers M., Dhiraj A. Big Data, Big Analytics. Wiley, 2013.
24. Banks J. Discrete-Event System Simulation. Pearson, 2014.
25. Montgomery D. Design and Analysis of Experiments. Wiley, 2017.
26. П'ятницька Г. Т., Григоренко О., Тарасюк М. Вендингова торгівля: типізація, переваги та ризики // Товарознавчий вісник. 2021. № 37(1). С. 47–61. DOI: 10.31617/tr.knute.2021(37)04.
27. Mudryk R., Orestov Y. Digitalization of water vending machines // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 28–39.
28. Квач Д. Р. Програмне забезпечення системи автоматів самообслуговування на базі сенсорних терміналів платіжної системи EasyPay : кваліфікаційна робота бакалавра. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 78 с.

29. Медвідь Л. В. Дослідження та вдосконалення системи аналізу вендингових автоматів : магістерська кваліфікаційна робота. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2020. 96 с.
30. Толбатов А. В., Тошбеков О. Б. Створення стаціонарних автоматів самообслуговування для портативних та мобільних пристроїв // Сумський державний університет. 2011.
31. Коваль А. М., Шутий Д. Кавовий апарат Rheavendors FTS 60 як автоматизована електромеханічна система // Матеріали НТКП ВНТУ. Вінниця : ВНТУ, 2025.
32. Бадещенкова К., Зоренко А. В., Крайнюченко О. Вендинг як перспективний напрям розвитку підприємств, що працюють на ринку мінеральних вод // Nauka i Studia. 2013. № 7(71). С. 18–22.
33. Ткаченко О. І., Тишура О. М. Деякі аспекти розробки веб-орієнтованої системи Coffee++ // ITSynergy. 2023. № 2. DOI: 10.53920/ITS-2023-2-8.
34. Моркун Н. В., Завсєгдашня І. В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 122 “Комп’ютерні науки”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2021. 50 с.
35. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).
36. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).
37. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

Скрипт main.m

```
clc;
clear;
close all;

%% Автоматичне визначення директорії проекту
projectPath = fileparts(mfilename('fullpath'));

%% Додавання шляхів
addpath(fullfile(projectPath,'modules'));

%% Створення службових директорій
if ~exist(fullfile(projectPath,'results'),'dir')
    mkdir(fullfile(projectPath,'results'));
end

if ~exist(fullfile(projectPath,'models'),'dir')
    mkdir(fullfile(projectPath,'models'));
end

%% Завантаження телеметричних даних
telemetryFile = fullfile( ...
    projectPath, ...
    'data', ...
    'telemetry_data.csv');

telemetryData = telemetry_module(telemetryFile);

%% Попередня обробка
processedData = preprocessing_module(telemetryData);

%% Прогнозування попиту
forecastResults = forecasting_module( ...
    processedData, ...
    projectPath);

%% Оптимізація запасів
reorderResults = optimization_module( ...
    processedData.stock, ...
    forecastResults.forecast);
```

```

%% Візуалізація
visualization_module( ...
    processedData.sales, ...
    forecastResults.forecast, ...
    projectPath);

%% Формування таблиці результатів
ResultTable = table( ...
    processedData.stock, ...
    forecastResults.forecast, ...
    reorderResults, ...
    'VariableNames', ...
    {'CurrentStock', ...
    'ForecastDemand', ...
    'RecommendedSupply'});

%% Збереження Excel-звіту
reportPath = fullfile( ...
    projectPath, ...
    'results', ...
    'inventory_report.xlsx');

writetable(ResultTable, reportPath);

fprintf('Роботу системи завершено успішно.\n');

```

Скрипт модуля зчитування телеметричних даних telemetry_module

```
function telemetryData = telemetry_module(filename)

%% Завантаження CSV-файлу
rawData = readtable(filename);

%% Видалення порожніх значень
rawData = rmmissing(rawData);

%% Контроль некоректних параметрів
rawData.sales(rawData.sales < 0) = 0;
rawData.stock(rawData.stock < 0) = 0;

%% Формування структури телеметрії
telemetryData.timestamp = rawData.timestamp;
telemetryData.sales = rawData.sales;
telemetryData.stock = rawData.stock;
telemetryData.temperature = rawData.temperature;
telemetryData.machineID = rawData.machineID;

fprintf('Телеметричні дані оброблено.\n');

end
```

Модуль preprocessing_module.m

```
function processedData = preprocessing_module(data)

%% Нормалізація температури
normalizedTemp = normalize(data.temperature);

%% Формування ознак
processedData.sales = data.sales;
processedData.stock = data.stock;
processedData.temperature = normalizedTemp;
processedData.timestamp = data.timestamp;

%% Формування часової осі
processedData.timeIndex = (1:length(data.sales))';

fprintf('Попередню обробку даних завершено.\n');

end
```

Модуль forecasting_module.m

```
function forecastResults = forecasting_module(data, projectPath)

%% Формування вибірки
X = data.temperature;
Y = data.sales;

%% Побудова регресійної моделі
model = fitlm(X,Y);

%% Збереження моделі
save(fullfile(projectPath, ...
    'models','regression_model.mat'),'model');

%% Прогнозування
forecast = predict(model,X);

%% Оцінка точності
RMSE = sqrt(mean((Y - forecast).^2));

SSres = sum((Y - forecast).^2);
SStot = sum((Y - mean(Y)).^2);

R2 = 1 - SSres/SStot;

%% Формування структури результатів
forecastResults.forecast = forecast;
forecastResults.RMSE = RMSE;
forecastResults.R2 = R2;
forecastResults.model = model;

%% Збереження результатів
save(fullfile(projectPath, ...
    'models','forecast_results.mat'), ...
    'forecastResults');

fprintf('Прогнозування попиту завершено.\n');
fprintf('RMSE = %.2f\n',RMSE);
fprintf('R2 = %.3f\n',R2);

end
```

Модуль optimization_module.m

```
function reorder = optimization_module(stock,forecast)

%% Параметри системи
criticalLevel = 30;
maxStock = 150;

reorder = zeros(length(stock),1);

%% Оптимізація запасів
for i = 1:length(stock)

    if stock(i) <= criticalLevel

        reorder(i) = maxStock - stock(i);

    else

        reorder(i) = max(0, ...
            round(forecast(i) - stock(i)));

    end

end

fprintf('Оптимізацію запасів завершено.\n');

end
```

Модуль visualization_module.m

```
function visualization_module( ...  
actualSales, forecastSales, projectPath)  
  
figure;  
  
plot(actualSales,'LineWidth',2);  
hold on;  
  
plot(forecastSales,'LineWidth',2);  
  
grid on;  
  
xlabel('Часовий інтервал');  
ylabel('Попит');  
  
legend('Фактичні продажі', ...  
'Прогнозовані продажі');  
  
title('Прогнозування попиту у vending-мережі');  
  
%% Збереження графіка  
saveas(gcf, fullfile(projectPath, ...  
'results','forecast_plot.png'));  
fprintf('Графік прогнозування побудовано.  
  
end  
``matlab  
function visualization_module(actualSales,forecastSales)  
  
figure;  
  
plot(actualSales,'LineWidth',2);  
hold on;  
  
plot(forecastSales,'LineWidth',2);  
  
grid on;  
  
xlabel('Часовий інтервал');
```

```
ylabel('Попит');  
  
legend('Фактичні продажі', ...  
       'Прогнозовані продажі');  
  
title('Прогнозування попиту у vending-мережі');  
  
saveas(gcf,'results/forecast_plot.png');  
fprintf('Графік прогнозування побудовано.\n');  
  
end
```


Телеметричні данні (dataset) telemetry_data.csv

timestamp, machineID, sales, stock, temperature

1,VM01,120,80,21
2,VM01,118,78,22
3,VM01,125,74,20
4,VM02,132,70,24
5,VM02,129,68,23
6,VM03,140,60,25
7,VM03,145,58,27
8,VM01,138,54,26
9,VM02,150,50,28
10,VM03,160,48,29

Графічний інтерфейс GUI main_gui.m

```
function main_gui

clc;
clear;
close all;

%% Додавання шляхів
projectPath = fileparts(mfilename('fullpath'));

addpath(fullfile(projectPath,'modules'));

%% Головне вікно
fig = uifigure( ...
    'Name','Vending System Analytics', ...
    'Position',[100 100 1000 650]);

%% Заголовок
uilabel(fig, ...
    'Text','Інформаційно-аналітична система vending-мережі', ...
    'FontSize',18, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'Position',[220 600 600 30]);

%% Кнопка завантаження даних
btnLoad = uibutton(fig,'push', ...
    'Text','Завантажити дані', ...
    'Position',[40 520 180 40]);

%% Кнопка прогнозування
btnForecast = uibutton(fig,'push', ...
    'Text','Прогнозування попиту', ...
    'Position',[40 460 180 40]);

%% Кнопка оптимізації
btnOptimize = uibutton(fig,'push', ...
    'Text','Оптимізація запасів', ...
    'Position',[40 400 180 40]);

%% Кнопка побудови графіка
btnPlot = uibutton(fig,'push', ...
```

```

    'Text','Побудувати графік', ...
    'Position',[40 340 180 40]);

%% Таблиця результатів
resultTable = uitable(fig, ...
    'Position',[260 320 700 240]);

%% Область графіка
ax = uiaxes(fig, ...
    'Position',[260 40 700 240]);

%% Поле статусу
statusLabel = uilabel(fig, ...
    'Text','Система готова до роботи', ...
    'FontSize',12, ...
    'Position',[40 280 250 30]);

%% Змінні
telemetryData = [];
processedData = [];
forecastResults = [];
reorderResults = [];

%% Призначення callback-функцій
btnLoad.ButtonPushedFcn = @(btn,event) loadData();
btnForecast.ButtonPushedFcn = @(btn,event) runForecast();
btnOptimize.ButtonPushedFcn = @(btn,event) optimizeStock();
btnPlot.ButtonPushedFcn = @(btn,event) buildPlot();

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Завантаження даних
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function loadData()

    telemetryFile = fullfile( ...
        projectPath, ...
        'data', ...
        'telemetry_data.csv');

    telemetryData = telemetry_module(telemetryFile);

```

[illegible]

```

function optimizeStock()

    if isempty(forecastResults)

        uialert(fig, ...
            'Спочатку виконайте прогнозування', ...
            'Помилка');

        return;

    end

    reorderResults = optimization_module( ...
        processedData.stock, ...
        forecastResults.forecast);

    resultTable.Data = table( ...
        processedData.stock, ...
        forecastResults.forecast, ...
        reorderResults, ...
        'VariableNames', ...
        {'CurrentStock', ...
        'ForecastDemand', ...
        'RecommendedSupply'});

    statusLabel.Text = 'Оптимізацію запасів завершено';

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Побудова графіка
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function buildPlot()

    if isempty(forecastResults)

        uialert(fig, ...
            'Спочатку виконайте прогнозування', ...
            'Помилка');

        return;

```

```
end

cla(ax);

plot(ax, ...
      processedData.sales, ...
      'LineWidth',2);

hold(ax,'on');

plot(ax, ...
      forecastResults.forecast, ...
      'LineWidth',2);

grid(ax,'on');

title(ax,'Прогнозування попиту');

xlabel(ax,'Часовий інтервал');
ylabel(ax,'Продажі');

legend(ax, ...
        'Фактичні продажі', ...
        'Прогноз');

statusLabel.Text = 'Графік побудовано';

end

end
```