

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ *Комп'ютерних наук* _____
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерного моделювання та інтелектуальних технологій
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

«Дослідження моделей управління запасами для інформаційних систем закладів харчування»
(тема)

Виконав:

здобувач II року навчання, групи СПРм-24-1

Даніїл КОНОВАЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова

Освітня програма Системне проєктування

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. каф. КМІТ

Володимир БЕЗКОРОВАЙНИЙ

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри КМІТ

(підпис)

Ігор ГРЕБЕННИК

(власне ім'я, прізвище)

2026 p.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію та підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав та не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



Даніїл КОНОВАЛЕНКО

Кваліфікаційна робота оформлена у відповідності до вимог діючих стандартів та методичних вказівок.

Матеріали кваліфікаційної роботи не містять відомостей, що заборонені для опублікування у відкритих виданнях.

Попередній захист проведено.

Керівник кваліфікаційної роботи



В. В. Безкоровайний

16.05.2026

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
Кафедра Комп'ютерного моделювання та інтелектуальних технологій
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
Освітня програма Системне проєктування

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Коноваленку Даніїлу Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи «Дослідження моделей управління запасами для інформаційних систем закладів харчування»

затверджена наказом університету від «06» квітня 2026 р. №268Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19.05.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження – запаси продуктів у закладах харчування. Предмет дослідження – процеси управління запасами продуктів харчування у закладах закритого типу. Мета дослідження – підвищення ефективності процесів управління запасами продуктів харчування. Предмет розробки: інформаційна система обліку, планування та управління запасами продуктів харчування у закладах харчування соціальної сфери (лікарняні комплекси, школи, дитячі садки, інтернати тощо). Базові моделі: Economic Order Quantity; (R, S) з фіксованим інтервалом (Periodic Review Models); Perishable Items. Технічне забезпечення: IBM-сумісний персональний комп'ютер.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Аналіз особливостей організації управління запасами у закладах харчування. Аналіз існуючих програмних рішень. Аналіз сучасних моделей управління запасами. Постановка мети та завдань дослідження. Формування вимог до створюваної системи. Формалізація задачі управління запасами з урахуванням технологічних карт, норм споживання, термінів зберігання та інтервалів постачання продуктів. Розробка алгоритму формування прогностичного циклу споживання. Визначення оптимального обсягу закупівель. Розрахунок орієнтовної вартості закупівлі. Порівняльний аналіз запропонованої моделі з базовими. Проєктування та тестування програмної системи. Експериментальне дослідження запропонованої моделі управління запасами. Аналіз отриманих результатів.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) У вигляді презентації кресленики, схеми, плакати та/або комп'ютерні ілюстрації (слайди) на аркушах формату А4, що включаються до тексту пояснювальної записки або складу додатків (10–15 аркушів): Use-Case діаграма інформаційної системи; ER-діаграма фізичної моделі бази даних; екранні форми програмного засобу (навігаційна панель, інтерфейси модулів, «Склад», «Меню», «Прогноз», «Дослідження», «Особистий кабінет», «Панель адміністратора»); графіки зміни залишків продуктів при застосуванні різних моделей управління запасами; порівняння моделей управління запасами за критеріями ефективності.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	06.04.2026	Виконано
2	Аналіз предметної області	13.04.2026	Виконано
3	Постановка задачі на розробку системи	15.04.2026	Виконано
4	Проектування та розробка компонентів системи	20.04.2026	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2026	Виконано
6	Подання закінченої роботи науковому керівникові	28.04.2026	Виконано
8	Усунення зауважень наукового керівника	30.04.2026	Виконано
9	Підготовка презентації	05.04.2026	Виконано
10	Перевірка оригінальності тексту	06.05.2026	Виконано
11	Подання роботи на рецензування	10.05.2026	Виконано
12	Попередній захист	15.05.2026	Виконано
13	Подання роботи до екзаменаційної комісії	18.05.2026	Виконано

Дата видачі завдання «06» квітня 2026 р.

Здобувач


(підпис)

Даніїл КОНОВАЛЕНКО

Керівник роботи


(підпис)

проф. каф. СТ Володимир БЕЗКОРОВАЙНИЙ
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи: 155 с., 4 табл., 19 рис., 2 додатки, 35 джерел інформації.

ЗАКЛАДИ ХАРЧУВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ЕОQ, МОДЕЛЬ ПЕРІОДИЧНОГО ПЕРЕГЛЯДУ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАКУПІВЕЛЬ, ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА, УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ.

Об'єктом дослідження є запаси продуктів у закладах харчування.

Предметом дослідження є процеси управління запасами продуктів харчування у закладах закритого типу.

Мета досліджень – підвищення ефективності процесів управління запасами продуктів харчування шляхом розроблення моделі, що дозволить визначати попит з технологічних карт страв, враховувати обмеження термінів придатності продуктів та автоматично адаптуватися до складу меню.

Методи дослідження – системний підхід, методи структурного аналізу і моделювання, теорії управління запасами, імітаційне моделювання, методи об'єктно-орієнтованого проектування програмних систем.

У роботі запропоновано модифіковану модель управління запасами, з урахуванням визначених функціональних і нефункціональних вимог, спроектовано та реалізовано спеціалізовану інформаційну систему управління, ефективність якої оцінено з використанням імітаційного моделювання

Галузь застосування – інформаційні системи обліку, планування та управління запасами продуктів харчування у закладах харчування соціальної сфери (лікарняні комплекси, школи, дитячі садки, інтернати тощо).

ABSTRACT

Master's Thesis: 155 pages, 4 tables, 19 figures, 2 appendices, 35 titles.

FOOD ESTABLISHMENTS, INFORMATION SYSTEM, EOQ, PERIODIC REVIEW MODEL, MODELING, PURCHASE FORECASTING, TECHNOLOGICAL MAP, INVENTORY MANAGEMENT.

The object of the study is food stocks in catering establishments.

The subject of the study is the processes of managing food stocks in closed establishments.

The purpose of the research is to increase the efficiency of food inventory management processes by developing a model that will allow determining demand from technological meal plans, taking into account product expiration dates, and automatically adapting to the menu.

Research methods are a systems approach, structural analysis and modeling methods, theories of inventory management, simulation modeling, methods of object-oriented design of software systems.

The paper proposes a modified inventory management model, taking into account the specified functional and non-functional requirements, and designs and implements a specialized management information system, the effectiveness of which is assessed using simulation modeling.

Field of application is information systems for accounting, planning and management of food stocks in catering establishments of the social sphere (hospital complexes, schools, kindergartens, boarding schools, etc.).

ЗМІСТ

Вступ	10
1 Аналіз предметної галузі та постановка задачі	13
1.1 Особливості організації управління у закладах харчування із регламентованим раціоном.....	13
1.2 Аналіз існуючих програмних рішень управління харчуванням та запасами	15
1.2.1 Комплексні ERP-системи на базі BAS	15
1.2.2 Спеціалізовані рішення для бюджетного сектору.....	16
1.2.3 Хмарні POS-системи та міжнародний досвід.....	16
1.2.4 Порівняльна характеристика програмних засобів	17
1.3 Аналіз моделей управління запасами	18
1.3.1 Класична модель EOQ (Economic Order Quantity)	18
1.3.2 Моделі для продуктів з обмеженим терміном зберігання (Perishable Items)	19
1.3.3 Моделі з періодичною перевіркою (Periodic Review Models).....	20
1.3.4 Порівняння параметрів моделей	20
1.4 Виявлення проблем автоматизації планування та обліку харчування ..	21
1.5 Постановка задачі та обґрунтування актуальності роботи.....	22
2 Формування вимог до програмної системи	25
2.1 Мета та завдання розробки	25
2.2 Функціональні вимоги до системи.....	26
2.2.1 Модуль автентифікації та управління підприємством	26
2.2.2 Модуль управління складом.....	27
2.2.3 Модуль технологічних карт.....	27
2.2.4 Модуль планування денного меню.....	28
2.2.5 Модуль архіву складських операцій.....	29
2.2.6 Модуль прогнозування закупівель	30
2.3 Нефункціональні вимоги	31
2.3.1 Вимоги до продуктивності	32

2.3.2	Вимоги до надійності та цілісності даних	32
2.3.3	Вимоги до безпеки.....	33
2.3.4	Вимоги до зручності використання	33
2.3.5	Вимоги до портативності та розгортання	33
2.4	Допущення, обмеження та залежності	34
3	Розробка та дослідження моделі оптимізації управління запасами продуктів	36
3.1	Особливості застосування моделей запасів у закладах харчування	36
3.2	Формалізація задачі управління запасами з урахуванням технологічних карт, норм споживання, термінів зберігання та інтервалів постачання.....	37
3.2.1	Базові множини та параметри	38
3.2.2	Попит через технологічні карти.....	38
3.2.3	Рівняння динаміки залишків.....	39
3.2.4	Формалізація інтервалу постачання	40
3.3	Розробка власної модифікованої моделі управління запасами продуктів.	41
3.3.1	Алгоритм формування прогнозного циклу споживання	41
3.3.2	Нормалізована тижнева потреба	42
3.3.3	Прогноз потреби на різні горизонти планування	43
3.3.4	Визначення оптимального обсягу закупівлі	43
3.3.5	Розрахунок орієнтовної вартості закупівлі	44
3.4	Критерії оптимальності та обмеження моделі.....	45
3.4.1	Цільова функція	45
3.4.2	Обмеження моделі.....	45
3.4.3	Обговорення обмежень моделі.....	46
3.5	Порівняльний аналіз запропонованої моделі з базовими.....	47
3.5.1	Відмінності від класичної моделі EOQ	47
3.5.2	Відмінності від моделі (R, S) з фіксованим інтервалом	48
3.5.3	Відмінності від моделей для продуктів, що псуються	48
3.5.4	Зведена порівняльна характеристика	49
4	Архітектура та проєктування програмної системи	51
4.1	Загальний опис та модель функціонування системи	51
4.2	Архітектура серверної частини	52

4.3	Проектування API сервісу.....	54
4.4	Інтеграція модуля оптимізації запасів у систему	55
5	Реалізація програмного забезпечення.....	57
5.1	Вибір засобів програмної реалізації	57
5.2	Опис фізичної моделі бази даних.....	58
5.3	Реалізація модуля управління запасами продуктів	60
5.4	Реалізація алгоритму оптимізації запасів.....	62
5.5	Реалізація модуля порівняльного дослідження моделей управління запасами	64
5.6	Огляд інтерфейсу інформаційної системи	68
6	Тестування та експериментальне дослідження	79
6.1	Тестування функціональних можливостей системи	79
6.2	Експериментальне дослідження ефективності моделі управління запасами	80
6.3	Аналіз отриманих результатів	85
6.4	Впровадження програмного забезпечення.....	87
	Висновки	88
	Перелік джерел посилання.....	91
	Додаток А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	95
	Додаток Б Текст програми	118

ВСТУП

Актуальність дослідження процесів управління запасами в інформаційних системах закладів харчування зумовлена тим, що організації харчування соціальної сфери – лікарні, школи, дитячі садки, інтернати, соціальні центри – періодично закупають значні обсяги продуктів харчування для забезпечення безперебійного раціону осіб, що знаходяться під їхньою опікою. Витрати на ці закупівлі складають одну з найбільших статей видатків таких установ, тому ефективне керування запасами безпосередньо впливає як на бюджет закладу, так і на якість надання харчових послуг. Завданням адміністративного персоналу є таке планування закупівель, що одночасно мінімізує витрати та повністю покриває фактичну потребу в інгредієнтах згідно із затвердженим раціоном.

Сучасні цифрові технології, навпаки, надають інструментарій для побудови інформаційних систем, що автоматизують облік залишків, формування меню, розрахунок норм списання та прогнозування закупівель на основі фактичних даних [1]. Це дозволяє суттєво підвищити ефективність керування запасами: скоротити трудомісткість рутинних операцій, мінімізувати вплив людського фактору та забезпечити прозорість використання матеріальних ресурсів – критичну вимогу для бюджетних установ. Натомість традиційний паперовий облік демонструє високу трудомісткість, значний ризик помилок у розрахунках та відсутність оперативної інформації про поточні залишки, що ускладнює прийняття обґрунтованих закупівельних рішень.

Специфіка таких закладів полягає в тому, що попит на інгредієнти не є випадковою величиною, як у класичному ритейлі, а задається затвердженим раціоном харчування та кількістю споживачів, що дозволяє використовувати відповідні математичні моделі для досягнення більш високої точності планування.

Об'єктом дослідження є запаси продуктів у закладах харчування.

Предметом досліджень є процеси управління запасами продуктів харчування у закладах закритого типу.

Мета досліджень – підвищення ефективності процесів управління запасами продуктів харчування шляхом розроблення моделі, що дозволить визначати попит з технологічних карт страв, враховувати обмеження термінів придатності продуктів та автоматично адаптуватися до складу меню.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі програмні рішення для автоматизації обліку продуктів у закладах харчування;
- проаналізувати методи оптимізації запасів та математичні моделі управління запасами для товарів, що швидко псуються [2–5];
- модифікувати модель управління запасами, що дозволить визначати попит з технологічних карт страв, враховувати обмеження термінів придатності продуктів та автоматично адаптуватися до складу меню;
- з урахуванням визначених функціональних і нефункціональних вимог спроектувати та реалізувати спеціалізовану інформаційну систему управління запасами продуктів;
- провести порівняльний аналіз модифікованої моделі управління запасами продуктів шляхом імітаційного моделювання закупівельного циклу на реальних даних з інформаційної системи.

Наукова новизна дослідження полягає у модифікації моделі управління запасами, яка, на відміну від класичних моделей, обчислює попит безпосередньо з технологічних карт страв, враховує обмеження термінів придатності та автоматично адаптується до змінного складу меню. Проведений порівняльний аналіз з класичною моделлю EOQ та моделлю (R, S) експериментально підтверджує переваги запропонованого підходу за критеріями точності прогнозу, мінімізації дефіцитних ситуацій та зменшення надмірних залишків.

Практичне значення результатів полягає у створенні теоретичної бази та алгоритмічного забезпечення для розробки інформаційних систем, які

дозволяють перейти до моделі випереджаючого планування та автоматичного контролю за рухом інгредієнтів у закладах закритого типу.

У контексті глобальних викликів, таких як порушення ланцюгів постачання під час пандемій чи економічної нестабільності, здатність системи більш точно прогнозувати потреби та управляти обмеженими ресурсами стає запорукою стабільного функціонування соціальних інституцій.

За результатами кваліфікаційної роботи опубліковано тези на трьох наукових конференціях, у яких представлено основні теоретичні положення дослідження та практичні результати порівняльного аналізу моделей управління запасами.

Дана робота спрямована на побудову модифікованої моделі управління запасами, що враховує специфіку формування попиту через технологічні карти страв і затверджений раціон, а також на її практичну апробацію в межах розробленої інформаційної системи управління харчуванням закладу.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Особливості організації управління у закладах харчування із регламентованим раціоном

Організація харчування в установах закритого або напівзакритого типу, таких як лікарні, школи, дитячі садки, військові частини та інтернати, базується на принципах нормативного регулювання. На відміну від комерційних ресторанів, де меню формується на основі вподобань гостей та ринкових трендів, у цих закладах діє система циклічного раціону, що складається на визначений плановий період відповідно до фізіологічних потреб різних категорій осіб. Це створює унікальне середовище, де попит на продукти харчування є визначеним заздалегідь на горизонті планування – він відомий на весь період дії затвердженого меню [4].

Фундаментом системи є технологічна карта страви – документ, у якому зафіксовано перелік інгредієнтів, норми їх закладки (брутто – вага сирого продукту, нетто-вага після первинної обробки), опис процесу приготування та вихід готової порції. У закладах лікувального профілю процес ускладнюється наявністю дієт-столів, кожен з яких вимагає специфічного набору продуктів та методів обробки. В освітніх закладах ключовим фактором є дотримання вікових норм споживання білків, жирів та вуглеводів, що регулюється на державному рівні.

Управлінський цикл у таких закладах зазвичай складається з наступних етапів:

- планування меню: дієтсестра або відповідальна особа складає меню на день або тиждень, виходячи з наявного переліку технологічних карт та планової кількості осіб;
- формування меню-вимоги: на основі меню розраховується сумарна

кількість інгредієнтів, які необхідно видати зі складу на кухню;

- складський облік: комірник приймає продукти від постачальників, контролює терміни придатності та реєструє видачу товарів згідно з меню-вимогою;

- бухгалтерський облік та списання: після фактичного приготування страв продукти списуються з балансу установи.

Важливою особливістю управління в бюджетних установах України є необхідність дотримання Наказу Міністерства фінансів № 431, який регламентує типові форми документів для обліку запасів. Зокрема, використання “Меню-вимоги на видачу продуктів харчування” та “Відомості з витрачання продуктів харчування” є обов'язковим для забезпечення легітимності списання цінностей [2].

Автоматизація цих процесів ускладнюється тим, що одна і та ж номенклатурна позиція (наприклад, картопля) може мати різні коефіцієнти відходів залежно від сезону, що має бути враховано в розрахунках нетто/брутто. Також критичним є фактор “термінової заміни” – коли через затримку постачання одного інгредієнта необхідно швидко знайти аналог, який відповідає енергетичній цінності страви, та перерахувати всі видаткові документи.

До переліку задач, що виникають при організації такого управління, можна віднести:

- забезпечення повної синхронізації між плановим меню та фактичними залишками на складі;
- автоматизацію розрахунку потреби в інгредієнтах з урахуванням сезонних коефіцієнтів відходів (нетто/брутто);
- моніторинг термінів придатності та реалізацію стратегій ротації запасів (FIFO/FEFO);
- запобігання дефіциту критично важливих інгредієнтів через інтеграцію прогнозних розрахунків у процес закупівлі.

1.2 Аналіз існуючих програмних рішень управління харчуванням та запасами

На сучасному ринку програмного забезпечення представлено кілька категорій систем, що можуть бути використані для автоматизації управління харчуванням. Кожна з них має свої переваги та недоліки залежно від масштабу закладу та специфічних вимог.

1.2.1 Комплексні ERP-системи на базі BAS

Системи сімейства BAS (Business Automation Software), зокрема “BAS Громадське харчування”, є одними з найбільш розповсюджених в Україні. Вони побудовані на потужному бухгалтерському ядрі, що забезпечує повний цикл обліку – від взаєморозрахунків з постачальниками до формування регламентованої податкової звітності. Функціонал “BAS Громадське харчування” включає:

- багаторівневий облік рецептур (можливість створення страв, що включають інші напівфабрикати);
- автоматичний розрахунок калорійності та хімічного складу страв;
- облік “спецій” – автоматичне списання інгредієнтів з малою вагою (сіль, перець) без ручного введення кожної порції;
- ведення переліку взаємозамінних продуктів (аналогів) для оперативного реагування на дефіцит на складі.

Основним недоліком таких систем є їхня складність та вартість. Вони вимагають значних ресурсів для впровадження, навчання персоналу та постійної підтримки з боку ІТ-фахівців. Для невеликих соціальних установ або окремих лікарень такі рішення можуть бути надлишковими.

1.2.2 Спеціалізовані рішення для бюджетного сектору

Програмний комплекс “Парус-Харчування” історично займає міцні позиції в державному секторі. Його ключовою перевагою є глибока інтеграція з нормативною базою України та специфічними звітами, такими як накопичувальні відомості за продуктами та контроль вартості дієто-дня. Система дозволяє формувати циклічні меню та автоматично створювати заявки на постачання продуктів, виходячи з планових норм споживання.

Також заслуговує на увагу лінійка продуктів KBS (KBS Облік бюджетної установи), яка фокусується на фінансовому обліку, але має модулі для складського господарства. Проте, як показує практика, часто ці системи вимагають додаткових доробок для повноцінної роботи з технологічними картами та дієтами.

1.2.3 Хмарні POS-системи та міжнародний досвід

Системи типу SkyService, Poster або JoinPoster орієнтовані на швидкість та мобільність. Вони ідеально підходять для кафе чи їдалень з вільним вибором страв, надаючи власникам аналітику в реальному часі через мобільні додатки. Однак вони не мають функціоналу для роботи з регламентованими раціонами лікувального типу та не підтримують специфічну українську первинну документацію для бюджетних установ.

За кордоном популярністю користуються системи типу Emsphere Technologies (emMeal) або FOOD-TRAK. Ці рішення акцентують увагу на “perpetual inventory” (безперервному обліку) та автоматизації ланцюгів постачання. Наприклад, emMeal підтримує як заздалегідь заплановані раціони, так і à la carte, пропонуючи модулі для контролю відходів та управління термінами придатності в реальному часі.

1.2.4 Порівняльна характеристика програмних засобів

Для наочності порівняння існуючих рішень у таблиці нижче наведено ключові параметри, що впливають на вибір системи для закладів із регламентованим плановим раціоном.

Таблиця 1.1 – Ключові параметри вибору систем управління запасами

Критерій порівняння	BAS Громадське харчування	Парус- Харчування	SkyService POS	Спеціалізована IC (C#/SQL Server Express)
Цільова аудиторія	Великі підприємства, мережі ресторанів	Школи, садки, лікарні (бюджет)	Кафе, бари, фастфуд	Невеликі заклади, інтернати
Облік техкарт	Високий рівень (складні вкладення)	Середній (циклічні меню)	Базовий	Адаптований під меню-розкладку
Нормативна база UA	Повна підтримка	Повна підтримка	Обмежена	Повна підтримка (Наказ № 431)
Складність розгортання	Висока (потребує сервера)	Середня	Низька (хмарна)	Низька (локальний сервер БД)
Вартість (орієнтовно)	~21 600 грн + ліцензії	Залежить від кількості місць	Абонплата (~8\$/міс)	Разова розробка /впровадження
Автономність	Залежить від налаштувань	Залежить від налаштувань	Потребує інтернету	Повна автономність

Аналіз існуючих рішень підтверджує, що для невеликих установ соціальної сфери оптимальним є створення спеціалізованої системи, яка б поєднувала простоту хмарних рішень із суворою відповідністю нормативним вимогам бюджетного обліку та можливістю автономної роботи на локальному комп'ютері.

1.3 Аналіз моделей управління запасами

В основі будь-якої інформаційної системи обліку лежить математична модель, яка визначає, коли та в якій кількості необхідно поповнювати запаси. Для закладів харчування з регламентованим плановим раціоном попит визначається заздалегідь на горизонті планування, що суттєво змінює підхід до моделювання порівняно зі стохастичними системами.

1.3.1 Класична модель EOQ (Economic Order Quantity)

Модель економічно вигідного замовлення (формула Вілсона) є фундаментом теорії управління запасами. Вона спрямована на мінімізацію сумарних витрат, які складаються з витрат на замовлення та витрат на зберігання.

Основне рівняння загальних витрат за період TC [1]:

$$TC(Q) = \frac{D}{Q}K + \frac{Q}{2}h + cD, \quad (1.1)$$

де D – інтенсивність попиту за період (для закладу харчування це сума інгредієнтів за меню на період);

Q – розмір партії замовлення;

K – фіксовані витрати на оформлення та доставку одного замовлення;

h – витрати на зберігання одиниці товару протягом періоду;

c – закупівельна ціна одиниці товару.

Мінімізуючи цю функцію через першу похідну, отримуємо оптимальний обсяг замовлення [8]:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{h}}. \quad (1.2)$$

Для закладів із регламентованим плановим раціоном інтенсивність попиту D є константою, що робить цю модель надзвичайно стабільною. Проте класична модель базується на припущенні про миттєве поповнення та необмежений термін придатності, що рідко відповідає реальності харчової галузі.

1.3.2 Моделі для продуктів з обмеженим терміном зберігання (Perishable Items)

Харчові продукти характеризуються природним псуванням, що призводить до втрати маси або якості з часом. У математичних моделях це враховується через параметр v – швидкість псування, яка часто вважається постійною величиною.

Рівень запасу $I(t)$ у такому випадку змінюється не лінійно, а за законом, що описується диференціальним рівнянням [9]:

$$\frac{dI(t)}{dt} + vI(t) = -D, \quad (1.3)$$

де D – інтенсивність попиту (у нашому випадку – константа або ступінчаста функція згідно з графіком меню).

При врахуванні псування оптимальний цикл замовлення T^* скорочується, оскільки тривале зберігання призводить до прямих збитків від списання зіпсованих продуктів. Дослідження показують, що для таких товарів ефективніше використовувати політику “Just-in-Time” або моделі з частковим накопиченням дефіциту, якщо це дозволяють умови контракту з постачальником.

1.3.3 Моделі з періодичною перевіркою (Periodic Review Models)

У багатьох закладах харчування закупівлі прив'язані до певних днів тижня (наприклад, молоко постачають щоденно, м'ясо – двічі на тиждень, бакалію – раз на місяць). Для таких випадків застосовується модель (R, S) , де через рівні проміжки часу R здійснюється замовлення до цільового рівня S .

Цільовий рівень запасу розраховується як [11]:

$$S = D(L + R) + SS, \quad (1.4)$$

де L – час виконання замовлення;

SS – страховий запас, необхідний для покриття непередбачуваних змін у кількості осіб, які харчуються.

Для заздалегідь відомого попиту страховий запас SS може бути мінімальним, оскільки основна невизначеність попиту відсутня. Однак він все одно потрібен для компенсації ризиків зриву постачання або виявлення неякісного товару при прийманні.

1.3.4 Порівняння параметрів моделей

Нижче наведено порівняння параметрів, що враховуються різними типами моделей при плануванні запасів у закладах харчування.

Таблиця 1.2 – Параметри моделей управління запасами

Параметр моделі	Класична EOQ	EOQ з псуванням ($\emptyset$)	Модель (R, S)	Модель на основі техкарт
Попит (D)	Константа	Константа/Функція	Константа	Сума норм за меню
Час циклу (T)	Оптимізується	Оптимізується	Фіксований	Залежить від меню

Продовження таблиці 1.2

Параметр моделі	Класична EOQ	EOQ з псуванням ($\emptyset$)	Модель (R, S)	Модель на основі техкарт
Термін придатності	Не враховується	Критичний параметр	Враховується непрямо	Пріоритет списання (FIFO)
Витрати на замовлення (K)	Враховуються	Враховуються	Враховуються	Зазвичай не враховуються
Витрати на зберігання (h)	Враховуються	Враховуються (динамічні)	Враховуються	Не враховуються (бюджет)
Основна мета	Мінімальні кошти	Мінімальні списання	Регулярність	Виконання норм

Глибокий аналіз моделей свідчить, що для інформаційної системи закладу харчування найбільш актуальною є розробка гібридного алгоритму. Він має використовувати дані технологічних карт для точного визначення потреби (визначений заздалегідь складник) та елементи моделей з обмеженим терміном придатності для автоматичного формування графіка закупівель.

1.4 Виявлення проблем автоматизації планування та обліку харчування

Аналіз поточної практики управління в закладах соціально-медичної сфери виявив ряд критичних проблем, які перешкоджають ефективному функціонуванню та призводять до нераціонального використання ресурсів.

По-перше, спостерігається висока розірваність даних між дієтологічним плануванням та складським обліком. Часто дієтсестра складає меню в окремих документах (або вручну), а комірник веде облік у паперовій книзі складського обліку. Це призводить до ситуацій, коли заплановані в меню страви не можуть бути приготовлені через фактичну відсутність інгредієнтів, про що стає відомо занадто пізно. Автоматизована система повинна забезпечувати “блокування”

меню, якщо сумарна потреба перевищує наявні залишки.

По-друге, існує проблема точності списання. При ручному розрахунку персонал часто округлює значення або припускається помилок при переведенні одиниць вимірювання (грами в кілограми, штуки в літри). Це створює “віртуальні” залишки або нестачі, які виявляються лише під час щомісячної інвентаризації. Використання автоматизованого розрахунку на основі коефіцієнтів нетто/брутто, закладених у техкарти, дозволяє досягти абсолютної точності списання інгредієнтів зі складу [6].

По-третє, критичним є людський фактор у контролі термінів придатності. При великій номенклатурі товарів комірнику важко відстежувати дати виготовлення кожної партії. У результаті продукти з меншим терміном придатності можуть залишатися в глибині складу, тоді як новіші використовуються першими. Інформаційна система має реалізовувати принцип FEFO (First Expired, First Out) – першим видається товар, у якого раніше закінчується термін придатності [7].

1.5 Постановка задачі та обґрунтування актуальності роботи

На основі проведеного аналізу предметної галузі можна сформулювати комплексну постановку задачі кваліфікаційної роботи. Проблема полягає у відсутності спеціалізованих моделей управління запасами, які б поєднували заздалегідь визначений характер попиту, що формується на основі технологічних карт, із фізичними обмеженнями продуктів харчування (псування) та нормативними вимогами бюджетного або регламентованого обліку.

Це обумовлює актуальність завдань дослідження існуючих математичних моделей управління запасами (EOQ, періодичні моделі, моделі псування) та їх адаптацію до специфіки закладів харчування з регламентованим плановим раціоном. Це передбачає: дослідження впливу визначеності попиту на стійкість

класичних логістичних моделей; модифікацію цільових функцій витрат з урахуванням специфіки бюджетних установ, де витрати на зберігання часто не є прямими грошовими витратами, але втрати від псування продукції є критичними [10]; розробку алгоритму інтеграції технологічних карт (нетто/брутто) безпосередньо в розрахункові формули моделей запасів.

Об'єктом дослідження є запаси продуктів у закладах харчування.

Предметом досліджень є процеси управління запасами продуктів харчування у закладах закритого типу.

Мета досліджень – підвищення ефективності процесів управління запасами продуктів харчування шляхом розроблення моделі, що дозволить визначати попит з технологічних карт страв, враховувати обмеження термінів придатності продуктів та автоматично адаптуватися до складу меню.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі програмні рішення для автоматизації обліку продуктів у закладах харчування;
- проаналізувати методи оптимізації запасів та математичні моделі управління запасами для товарів, що швидко псуються [2–5];
- модифікувати модель управління запасами, що дозволить визначати попит з технологічних карт страв, враховувати обмеження термінів придатності продуктів та автоматично адаптуватися до складу меню;
- з урахуванням визначених функціональних і нефункціональних вимог зпроектувати та реалізувати спеціалізовану інформаційну систему управління запасами продуктів;
- провести порівняльний аналіз модифікованої моделі управління запасами продуктів шляхом імітаційного моделювання закупівельного циклу на реальних даних з інформаційної системи.

Актуальність роботи підкріплюється необхідністю цифровізації соціально значущих установ (лікарні, інтернати, освітні заклади), де впровадження науково обґрунтованих моделей дозволить:

- знизити рівень списання продуктів через завершення термінів придатності;
- гарантувати дотримання натуральних норм харчування за рахунок автоматичного блокування меню при дефіциті інгредієнтів;
- забезпечити повну відповідність первинного обліку Наказу Мінфіну №431, що мінімізує юридичні ризики для керівництва установ [2].

Таким чином, робота спрямована на перехід від інтуїтивного складського обліку до системи підтримки прийняття рішень, що базується на точних математичних розрахунках та враховує кожен ланку технологічного процесу приготування страв.

2 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Мета та завдання розробки

Метою розробки є створення спеціалізованої інформаційної системи управління запасами та харчуванням для закладів з регламентованим плановим раціоном (лікарні, школи, дитячі садки, інтернати), яка дозволить автоматизувати складський облік, формування меню, списання інгредієнтів на основі технологічних карт та прогнозування закупівель, забезпечуючи при цьому багатокористувацький режим роботи з розмежуванням прав доступу.

Аналіз предметної галузі, проведений у першому розділі, та вивчення функціоналу існуючих систем дозволяють сформулювати наступні завдання розробки:

- реалізація механізму реєстрації, автентифікації користувачів та управління доступом на основі ролей (Адміністратор, Діет-сестра, Комірник, Гість);
- забезпечення мультиорендності (multi-tenancy) шляхом ізоляції даних кожного підприємства з підтримкою системи запрошень для приєднання нових учасників [12];
- реалізація модуля складського обліку продуктів з підтримкою операцій надходження, списання та м'якого видалення (soft delete) із збереженням цілісності посилань в архіві операцій;
- розробка модуля технологічних карт страв із зазначенням інгредієнтів та їхніх норм бруutto/нетто для кожного продукту;
- реалізація модуля планування денного меню з підтримкою чотирьох прийомів їжі (сніданок, обід, полудень, вечеря), шаблонів меню та автоматичного списання запасів при підтвердженні приготування;
- розробка алгоритму перевірки достатності запасів перед

підтвердженням меню та механізму анулювання меню з відновленням списаних залишків;

- реалізація модуля прогнозування закупівель на основі аналізу фактичних даних списань з формуванням звіту у форматі .xlsx;
- забезпечення синхронізації даних між кількома сеансами роботи в режимі реального часу з автоматичним захистом від конфліктуючих паралельних операцій запису [13].

2.2 Функціональні вимоги до системи

Функціональні вимоги визначають поведінку системи та перелік операцій, доступних користувачам відповідно до їхніх ролей [12]. На основі проведеного аналізу предметної галузі та завдань розробки сформовано множину функціональних вимог.

2.2.1 Модуль автентифікації та управління підприємством

Система повинна забезпечувати реєстрацію нових користувачів із валідацією формату електронної пошти та вимогами до пароля (мінімум 6 символів, обов'язкова наявність цифри). Вхід до системи має підтримувати ідентифікацію як за адресою електронної пошти, так і за псевдонімом користувача.

Після автентифікації користувач отримує можливість створити нове підприємство або приєднатися до існуючого за шестисимвольним кодом-запрошенням та паролем доступу. При створенні підприємства засновник автоматично отримує роль Адміністратора. Новий учасник, що приєднався за кодом, отримує роль Гостя, яку Адміністратор може змінити. Передбачено можливість видалення учасника з підприємства та повного видалення підприємства з усіма пов'язаними даними.

2.2.2 Модуль управління складом

Модуль складського обліку повинен забезпечувати управління номенклатурою продуктів харчування підприємства. Доступ до операцій зміни даних надається лише користувачам з роллю Комірник або Адміністратор. Система повинна підтримувати наступні операції:

- додавання нового продукту із зазначенням назви, одиниці виміру (кг, г, л, мл, шт) та ціни за одиницю; при спробі додати продукт з уже існуючою назвою – автоматичне поповнення залишку існуючого запису;
- надходження товару – збільшення поточного залишку на задану кількість із фіксацією операції в архіві;
- ручне списання – зменшення залишку на задану кількість із перевіркою достатності та записом в архів;
- м'яке видалення (soft delete) продукту – позначення запису як видаленого без фізичного видалення з бази даних для збереження посилальної цілісності в архіві операцій;
- автоматичне оновлення відображуваних даних кожні 5 секунд для відображення змін, внесених іншими користувачами у реальному часі.

Для забезпечення коректності при одночасному редагуванні декількома користувачами повинен застосовуватися механізм оптимістичного паралелізму (optimistic concurrency control). У разі виявлення конфлікту система повинна повідомляти користувача та надавати актуальний стан даних [13].

2.2.3 Модуль технологічних карт

Технологічна карта є центральним об'єктом системи, що зберігає рецептуру страви. Модуль надає право на створення, редагування та видалення технологічних карт виключно користувачам з роллю Дієт-сестра або Адміністратор. Кожна технологічна карта містить:

- назву страви;
- перелік інгредієнтів із зазначенням продукту (вибір з існуючої номенклатури складу), норми закладки бруutto (вага сировини до первинної обробки) та нетто (вага після обробки) в грамах; для штучних товарів значення автоматично округлюється до цілого;
- сумарне нетто страви – обчислюється автоматично як сума нетто всіх інгредієнтів.

Система блокує збереження технологічної карти, якщо будь-який рядок таблиці інгредієнтів є незаповненим (не вказано продукт, нульове бруutto або нульове нетто). Дані технологічних карт завантажуються з eager loading включенням інгредієнтів та пов'язаних продуктів одним запитом для забезпечення повноти даних при відображенні [14].

2.2.4 Модуль планування денного меню

Модуль планування меню є ключовим з точки зору реалізації моделі управління запасами із заздалегідь відомим попитом. Доступ до операцій зміни меню надається Діет-сестрі та Адміністратору. Модуль забезпечує:

- вибір дати планування за допомогою вбудованого кастомного календаря в діапазоні від поточного дня до 7 днів вперед (обмеження горизонту планування);
- формування меню з чотирьох прийомів їжі: сніданок, обід, полудень, вечеря; кожен прийом може містити довільну кількість страв зі списку технологічних карт;
- підтримку шаблонів меню – можливість зберегти поточний склад страв як іменованій шаблон та швидко завантажити будь-який збережений шаблон для нового дня;
- підтвердження приготування (кнопка “Приготувати”) – система перевіряє наявність достатньої кількості всіх інгредієнтів на складі, після чого

списує необхідні обсяги відповідно до норм бруutto технологічних карт, помноженим на кількість людей, що харчуються;

- блокування повторного приготування – якщо меню на вибрану дату вже створено, система забороняє операцію та пропонує спочатку анулювати існуюче меню;

- анулювання меню – відновлення всіх списаних залишків та видалення пов'язаних записів з архіву операцій;

- автоматичний експорт меню-розкладки у формат .xlsx при підтвердженні приготування з деталізацією страв та кількості інгредієнтів на всю групу.

Перевірка достатності запасів та фактичне списання мають виконуватися атомарно: всі зміни залишків та відповідні записи до архіву операцій повинні зберігатися у рамках єдиної транзакції з автоматичним відкатом у разі помилки.

2.2.5 Модуль архіву складських операцій

Архів операцій фіксує кожну зміну кількості продуктів на складі незалежно від джерела – ручне надходження, ручне списання, видалення товару, або автоматичне списання при підтвердженні меню. Кожен запис архіву містить: найменування та одиницю виміру продукту, залишок до та після операції, обсяг зміни, тип операції, дату та час, ціну на момент операції, загальну суму та коментар.

Модуль надає можливість фільтрації записів за довільним діапазоном дат. Початкова дата за замовчуванням встановлюється автоматично на дату першої зафіксованої операції у поточному підприємстві. Дані оновлюються в режимі реального часу з інтервалом 5 секунд.

2.2.6 Модуль прогнозування закупівель

Модуль прогнозування повинен забезпечувати автоматичний розрахунок плану закупівель на основі фактичних даних списань, пов'язаних з операціями підтвердження приготування меню. Алгоритм має виконувати наступну послідовність кроків:

- вибірка з архіву всіх записів списань, що пов'язані з операціями підтвердження меню (тип операції містить підрядок “Меню”);
- визначення останніх 7 унікальних дат, на які були складені меню – формування тижневого циклу аналізу;
- агрегація фактичного списання кожного продукту за визначений цикл.

Для розрахунку прогнозованої тижневої потреби з урахуванням нормалізації на повний тижневий цикл застосовується формула:

$$W = (C_cycle / n_cycle) * 7 * K, \quad (2.1)$$

де C_cycle – фактичне списання продукту за аналізований цикл (у базових одиницях: г, мл або шт);

n_cycle – кількість унікальних дат меню в циклі ($1 \leq n_cycle \leq 7$);

K – коефіцієнт страхового запасу ($K=1,1$, тобто +10% до розрахованої потреби).

Місячна потреба розраховується як [10]:

$$M = W * 4,345, \quad (2.2)$$

де коефіцієнт 4,345 відповідає середній кількості тижнів на місяць ($365/12/7 \approx 4,345$).

Необхідний обсяг закупівлі визначається як різниця між місячною

потребою та поточним залишком на складі:

$$Q_{buy} = \max(0, M - S_{current}), \quad (2.3)$$

де $S_{current}$ – поточний залишок продукту на складі на момент розрахунку;

функція $\max(0, M - S_{current})$ означає, що якщо наявний залишок вже перевищує місячну потребу ($S_{current} \geq M$), то обсяг закупівлі дорівнює нулю – тобто результат ніколи не буває від’ємним.

Аналогічним чином розраховуються квартальна (13 тижнів), піврічна (26 тижнів) та річна (52 тижні) потреби для перспективного планування закупівель.

Додатково для кожної позиції обчислюється середня ціна P_{avg} – середнє арифметичне цін трьох останніх операцій надходження цього продукту на склад. На її основі розраховується орієнтовна вартість закупівлі:

$$C_{buy} = Q_{buy} * P_{avg}. \quad (2.4)$$

Сформований план закупівель може бути експортований у файл .xlsx з деталізованим переліком позицій, кількостей та вартостей [3].

2.3 Нефункціональні вимоги

Нефункціональні вимоги визначають якісні характеристики системи та обмеження щодо її реалізації [12]. На основі аналізу предметної галузі та обраного технологічного стеку сформовано наступні нефункціональні вимоги.

2.3.1 Вимоги до продуктивності

Час відгуку інтерфейсу на дії користувача не повинен перевищувати 200 мс. Операції збереження до бази даних мають завершуватися протягом 3 секунд. Фоновий цикл синхронізації даних повинен виконуватися без блокування інтерфейсу користувача; система повинна унеможливлувати паралельний запуск однотипних фонових операцій та накладення результатів таймерних викликів.

2.3.2 Вимоги до надійності та цілісності даних

Система повинна забезпечувати узгодженість даних при одночасній роботі декількох користувачів. Для цього застосовуються такі механізми:

- оптимістичний паралелізм (optimistic concurrency control) – при виявленні конфлікту одночасного запису система повинна повідомляти користувача та надавати можливість переглянути актуальний стан даних [13];
- серіалізація операцій збереження даних – система повинна виключати одночасне виконання конкуруючих транзакцій запису з одного або декількох клієнтських сеансів;
- атомарне збереження змін – всі модифікації в рамках однієї бізнес-операції (наприклад, списання по меню + записи до архіву) зберігаються єдиним викликом CompleteAsync;
- унікальні індекси в базі даних: Email та Nickname для Users, InviteCode для Companies, комбінація Name+CompanyId (лише для не видалених записів) для Products – виключають дублювання даних на рівні СУБД.

2.3.3 Вимоги до безпеки

Паролі користувачів та паролі доступу до підприємств повинні зберігатися у базі даних виключно у вигляді хеш-значень з використанням криптографічно стійкого алгоритму хешування. Доступ до кожної бізнес-операції зміни даних має перевірятися на основі поточної ролі користувача. Сесія користувача повинна автоматично завершуватися при видаленні його з підприємства, а сам факт виключення – виявлятися системою у фоновому режимі синхронізації.

2.3.4 Вимоги до зручності використання

Клієнтський застосунок повинен реалізовуватися як десктопний застосунок для операційної системи Windows із застосуванням патерну MVVM (Model–View–ViewModel), що забезпечує чітке розділення бізнес-логіки та рівня відображення. Інтерфейс має бути локалізований українською мовою. Елементи управління, недоступні для поточної ролі користувача, повинні блокуватися з відображенням інформативного повідомлення про причину обмеження. Операції, що виконуються асинхронно, мають сигналізувати про свій стан для запобігання повторному ініціюванню. Зміна даних, ініційована іншими користувачами, повинна відображатися у реальному часі з візуальним позначенням оновлених позицій.

2.3.5 Вимоги до портативності та розгортання

Система повинна розгортатися у локальній мережі закладу: клієнтські робочі місця підключаються до єдиного сервера бази даних, який забезпечує зберігання та цілісність даних для всіх користувачів. Як СУБД передбачається використання Microsoft SQL Server або сумісної реляційної бази даних, що підтримує необхідний обсяг зберігання та кількість одночасних підключень.

Архітектура системи не повинна обмежувати можливість перенесення бази даних на виділений або хмарний сервер для забезпечення постійної доступності. Взаємодія клієнтського застосунку з базою даних повинна здійснюватися через ORM-засіб з підтримкою міграцій схеми, що спрощує розгортання та оновлення системи [14]. Сформовані звіти (меню-розкладка, план закупівель) повинні зберігатися у форматі, доступному для відкриття стандартними офісними засобами.

2.4 Допущення, обмеження та залежності

При проектуванні системи прийнято наступні допущення та обмеження:

- попит вважається заздалегідь визначеним на горизонті планування – система не моделює стохастичних відхилень у кількості людей, що харчуються; коефіцієнт страхового запасу $K=1,1$ покриває типові відхилення до 10% від норми;
- горизонт оперативного планування меню обмежений 7 днями вперед – це відповідає типовому тижневому циклу меню у більшості регламентованих закладів харчування;
- алгоритм прогнозування закупівель базується на даних списань останніх 7 унікальних дат меню – якщо система щойно введена в експлуатацію та накопичила менше 7 дат, точність прогнозу знижується пропорційно до кількості наявних даних;
- система ведення партійного обліку продуктів (з відстеженням термінів придатності кожної конкретної партії та автоматичною реалізацією стратегії FEFO – First Expired, First Out) виходить за рамки поточної версії; контроль черговості використання партій здійснюється відповідальним персоналом вручну;
- архітектура системи проектується з урахуванням можливості майбутнього винесення бізнес-логіки в окремий API-сервіс між клієнтським

застосунком та базою даних; такий перехід у наступних версіях системи створить підґрунтя для централізації бізнес-логіки, надійного каналу для інтеграції із зовнішніми сервісами (наприклад, підтвердження реєстрації через електронну пошту) та кращої ізоляції даних при підключенні майбутніх розширень;

- система підтримує одночасну роботу кількох користувачів у межах одного підприємства через локальну мережу; архітектура не накладає принципових обмежень на подальше масштабування – перехід до хмарного розгортання з повноцінним SQL Server та HTTP API-рівнем не потребує переписування бізнес-логіки [15].

Система повинна використовувати компоненти, що розповсюджуються за відкритими ліцензіями (MIT або аналогічними), які дозволяють вільне використання як у некомерційних установах, так і в комерційних продуктах. Бібліотека для генерації Excel-звітів, ORM-засіб для роботи з базою даних та бібліотека реалізації патерну MVVM повинні бути безкоштовними для будь-якого типу використання. СУБД повинна дозволяти розповсюдження разом із комерційними застосунками без ліцензійних відрахувань.

3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПРОДУКТІВ

3.1 Особливості застосування моделей запасів у закладах харчування

Класична теорія управління запасами, викладена у розділі 1, розроблялась переважно для комерційного ритейлу та промислового виробництва, де попит має стохастичну природу і потребує статистичного прогнозування. Заклади харчування з регламентованим плановим раціоном – лікарні, школи, інтернати – являють собою принципово інший клас задач, у яких попит повністю визначається двома заздалегідь відомими параметрами: складом затвердженого меню та кількістю осіб, що харчуються [16].

Це кардинально змінює постановку задачі оптимізації. Якщо в стохастичних системах головним завданням є оцінка невизначеності попиту та визначення страхового запасу для заданого рівня обслуговування, то у середовищі з відомим попитом задача зводиться до точного розрахунку потреби та синхронізації закупівель з плановим графіком споживання [4].

Разом з тим заклади харчування мають ряд специфічних рис, які ускладнюють пряме застосування класичних моделей EOQ та (R, S):

- нерівномірна структура попиту – різні страви входять до меню з різною частотою; один і той самий продукт (наприклад, картопля) може використовуватись щоденно в одних стравах і лише двічі на тиждень в інших, що формує ступінчасту криву сукупного споживання замість лінійної [17];
- змінний склад меню – раціон оновлюється відповідно до циклічного плану; це означає, що попит детермінований лише у межах поточного горизонту планування, а не на нескінченну перспективу, як передбачає класична EOQ [3];
- відсутність монетарних витрат на зберігання в бюджетних установах – типова цільова функція EOQ мінімізує суму витрат на замовлення та

зберігання; однак для бюджетних закладів витрати на зберігання не є прямими грошовими витратами, натомість критичним є ризик псування продуктів через понаднормові залишки [18];

– обов’язковість покриття потреби – у комерційному ритейлі дефіцит означає втрату продажу; у лікарні або школі дефіцит продукту означає неможливість приготування запланованої страви, що має медичні або соціальні наслідки; тому задача має жорстке обмеження-знизу на залишок [16].

Модель (R, S) з фіксованим інтервалом перегляду, описана у підрозділі 1.3, є концептуально ближчою до реальної практики таких закладів: закупівлі, як правило, прив’язані до певних днів тижня, а не до досягнення точки перезамовлення. Проте ця модель також передбачає сталість параметра D (інтенсивності попиту), тоді як на практиці щоденний попит залежить від конкретного меню дня [19].

Принципова відмінність аналізованого середовища від стандартних гіпотез полягає в тому, що замість сталого потоку попиту D маємо дискретний вектор споживання, визначений заздалегідь, що визначається безпосередньо з технологічних карт. Таким чином, ключовою науковою задачею цього розділу є формалізація цього специфічного характеру попиту та побудова на його основі модифікованої моделі, яка враховує реальні обмеження системи [20].

3.2 Формалізація задачі управління запасами з урахуванням технологічних карт, норм споживання, термінів зберігання та інтервалів постачання

Для побудови математичної моделі введемо систему позначень та формально опишемо структуру задачі. Вихідними даними для моделі є інформація, що зберігається у базі даних системи: каталог продуктів, технологічні карти страв та записи архіву операцій [21].

3.2.1 Базові множини та параметри

Введемо такі позначення:

- I – множина продуктів харчування (номенклатура складу), $|I| = n$;
- J – множина технологічних карт (рецептур страв), $|J| = m$;
- $T = \{t_1, t_r, \dots, t_h\}$ – горизонт планування, множина операційних днів ($h \leq 7$ для оперативного планування меню);
- b_{ij} – норма закладки бруutto продукту i у страві j (грамів або штук на одну порцію), $i \in I, j \in J$;
- $x_j(t) \in \{0,1\}$ – змінна включення страви j до меню дня t (1 – страва присутня у меню, 0 – відсутня);
- $N(t)$ – кількість осіб, що харчуються у день t ;
- $S_i(t)$ – залишок продукту i на складі наприкінці дня t ;
- $Q_i(t)$ – обсяг надходження (закупівлі) продукту i у день t ;
- τ_i – нормативний термін придатності продукту i (діб), агрегований параметр категорії без партійного обліку;
- O_i – коефіцієнт природних втрат (псування) продукту i за добу, $0 \leq O_i \ll 1$;
- SS_i – страховий запас продукту i , що компенсує ризик зриву постачання або виявлення неякісного товару при прийманні.

3.2.2 Попит через технологічні карти

Ключова відмінність моделі від класичних підходів полягає у способі обчислення попиту. Сукупна денна потреба у продукті i у день t визначається виключно складом затвердженого меню та кількістю людей, що харчуються [22]:

$$D_i(t) = N(t) * \sum_j (b_{ij} * x_j(t)), \quad (3.1)$$

де підсумовування ведеться по всіх стравах $j \in J$, включених до меню дня t . Якщо страва j не входить до меню дня t , то $x_j(t) = 0$, і її внесок до сумарного попиту дорівнює нулю.

Для штучних товарів (одиниця виміру “шт”) норма закладки b_{ij} може бути нецілим числом у технологічній карті; при обчисленні фактичної потреби результат округлюється вгору: $D_i(t) = N(t) * \sum_j b_{ij} * x_j(t)$, що відображено у логіці системи [17].

3.2.3 Рівняння динаміки залишків

Баланс залишків на складі протягом горизонту планування описується рівнянням стану для кожного продукту i у кожен день t [9]:

$$S_i(t) = S_i(t-1) * (1 - \theta_i) + Q_i(t) - D_i(t). \quad (3.2)$$

Доданок $S_i(t-1) * (1 - \theta_i)$ відображає природні втрати залишку за добу. Для продуктів з тривалим терміном зберігання (бакалія, консерви) коефіцієнт $\theta_i \approx 0$, і рівняння зводиться до класичного балансу. Для швидкопсувних продуктів (молоко, м'ясо) $\theta_i > 0$, що враховує фактичне зменшення придатного запасу з часом [5].

Параметр θ_i в системі не відстежується як динамічна величина на рівні конкретної партії (партіонний облік не ведеться), тому він задається як нормативний коефіцієнт категорії продукту. Це є обмеженням поточної версії моделі, яке обговорюється у підрозділі 3.4.

3.2.4 Формалізація інтервалу постачання

На відміну від класичної EOQ, де оптимальний інтервал між замовленнями T^* є результатом мінімізації витрат, в аналізованій системі момент і обсяг кожного надходження $Q_i(t)$ є зовнішньою подією – закупівля ініціюється адміністративним персоналом на основі прогнозу і реєструється в архіві. Система не нав'язує фіксований графік замовлень, натомість забезпечує інструмент для прийняття обґрунтованого рішення про обсяг Q_i [19].

Проте для коректного розрахунку страхового запасу необхідно враховувати час виконання замовлення (lead time) L_i – кількість днів від моменту оформлення заявки до надходження товару. Мінімально необхідний залишок на момент оформлення замовлення (точка перезаказу ROP) визначається як [8]:

$$ROP_i = D_{avg_i} * L_i + SS_i, \quad (3.3)$$

де D_{avg_i} – середньоденний попит на продукт i за аналізований цикл (обчислюється як C_{cycle_i} / n_{cycle});

L_i – типовий lead time для продукту i (діб), визначається на основі практичного досвіду закладу;

SS_i – страховий запас, що розраховується за формулою (3.4).

Страховий запас для умов заздалегідь визначеного попиту покриває короткострокові коливання денного попиту під час очікування поставки. При довірчій ймовірності обслуговування $z = 0,95$ та стандартному відхиленні денного попиту σ_d страховий запас становить [20]:

$$SS_i = z * \sigma_{d_i} * \sqrt{L}, \quad (3.4)$$

де z – квантиль стандартного нормального розподілу для рівня обслуговування (для 95-відсоткового рівня обслуговування z приблизно дорівнює 1,645);

σ_{d_i} – стандартне відхилення денного попиту на продукт i ;

$\sqrt{L}$ – квадратний корінь з тривалості постачання L (у днях).

У реалізації моделі (R, S) у модулі дослідження стандартне відхилення оцінюється як $\sigma_{d_i} = D_{avg_i} * c$, де $c = 0,10$ – частковий коефіцієнт варіації. У запропонованій модифікованій моделі замість окремого розрахунку SS використовується спрощений коефіцієнт страхового запасу $K = 1,1$, який збільшує розрахункову потребу на 10 %. Цей коефіцієнт у нашому z (при $z = 0,95$ значення z приблизно 1,645). У реалізації моделі (R, S) у модулі дослідження стандартне відхилення оцінюється як $\sigma_{d_i} = D_{avg_i} * c$, де $c = 0,10$ – частковий коефіцієнт варіації, що відображає типову денну варіативність попиту при тижневому циклі меню. У запропонованій модифікованій моделі роль SS виконує спрощений коефіцієнт $K = 1,1$, який збільшує розрахункову потребу на 10% без явного обчислення статистичних параметрів варіації lead time [22].

3.3 Розробка власної модифікованої моделі управління запасами продуктів

На основі аналізу предметної галузі (розділ 1), формалізації задачі (підрозділ 3.2) та вивчення особливостей цільового класу закладів (підрозділ 3.1) розроблено модифіковану модель управління запасами. Центральним принципом моделі є баланс між мінімізацією обсягу закупівель і гарантованим покриттям прогнозованої потреби з урахуванням страхового коефіцієнта [23].

3.3.1 Алгоритм формування прогнозного циклу споживання

Оскільки склад меню змінюється від дня до дня, для прогнозування майбутнього споживання застосовується принцип ковзного аналітичного вікна. Алгоритм виконується у такій послідовності:

- з архіву WarehouseHistory вибираються всі записи з типом операції, що містить підрядок “Меню”, – це фактичні списання при підтвердженні меню; дата конкретного меню витягується з поля Comment запису;
- визначається множина W – останніх n_cycle унікальних дат меню, $n_cycle \leq 7$; упорядковані за спаданням, беруться перші 7;
- для кожного продукту i обчислюється сукупне фактичне списання C_cycle_i – сума $|AmountChanged|$ по всіх записах, що відносяться до дат з W .

Таким чином, C_cycle_i є фактичним виміряним споживанням продукту i за цикл з n_cycle операційних днів. Середньоденний попит за цим циклом:

$$D_avg_i = C_cycle_i / n_cycle. \quad (3.5)$$

3.3.2 Нормалізована тижнева потреба

Щоб отримати порівнянний прогноз незалежно від того, скільки дат накопичила система (від 1 до 7), застосовується нормалізація до стандартного тижневого циклу (7 днів) з множенням на коефіцієнт страхового запасу K [6]:

$$W_i = (C_cycle_i / n_cycle) * 7 * K, \quad (3.6)$$

де $K = 1,1$ – коефіцієнт страхового запасу (+10%);

W_i – прогнозована тижнева потреба продукту i у базових одиницях (г для вагових, шт для штучних продуктів).

При $n_cycle = 7$ формула (3.6) вироджується у пряме масштабування фактичного тижневого споживання. При $n_cycle < 7$ забезпечується коректне екстраполювання на повний тиждень [23].

3.3.3 Прогноз потреби на різні горизонти планування

На основі нормалізованої тижневої потреби W_i розраховуються прогнозні потреби на стандартні горизонти планування. Місячна потреба [10]:

$$M_i = W_i * 4,345, \quad (3.7)$$

де коефіцієнт $4,345 = 365 / 12 / 7$ – середня кількість тижнів на місяць.

Аналогічно обчислюються квартальна ($Q_{q_i} = W_i * 13$), піврічна ($H_i = W_i * 26$) та річна ($Y_i = W_i * 52$) потреби. Ці значення призначені для стратегічного планування бюджету закупівель, а не для оперативного управління залишками [22].

3.3.4 Визначення оптимального обсягу закупівлі

Центральним результатом моделі є рекомендований обсяг закупівлі Q_{need_i} для покриття місячної потреби.

Відповідно до обраної мети оптимізації (мінімум закупівель при гарантованому покритті) обсяг визначається як нестача відносно прогнозованої місячної потреби [21]:

$$Q_{need_i} = \max(0, M_i - S_i(t_0)), \quad (3.8)$$

де $S_i(t_0)$ – поточний залишок продукту i на складі на момент розрахунку (кінець останнього зафіксованого меню-дня).

Якщо $S_i(t_0) \geq M_i$, то запасів вже достатньо для покриття прогнозованої місячної потреби – закупівля не рекомендується ($Q = 0$). Функція $\max(0, \cdot)$ гарантує невід'ємність результату [21].

Для штучних товарів результат додатково округлюється вгору до цілого

числа: $Q_need_i = \max(0, M_i - S_i(t_0))$, оскільки неможливо закупити дробову кількість штучного товару [17].

3.3.5 Розрахунок орієнтовної вартості закупівлі

Для формування кошторису закупівель для кожного продукту і визначається середня ціна P_avg_i на основі трьох останніх операцій надходження з архіву [24]:

$$P_avg_i = (1/k) * \sum_j Price_i_j, \quad (3.9)$$

де $Price_ij$ – ціна за одиницю продукту і під час k за давністю операції надходження.

Якщо записів менше трьох, використовується наявна кількість записів. Орієнтовна вартість закупівлі по позиції:

$$C_i = Q_need_i * P_avg_i. \quad (3.10)$$

Загальний прогнозований бюджет закупівель на місяць:

$$C_total = \sum_i C_i, \quad (3.11)$$

де підсумовування ведеться по всіх продуктах, для яких $Q_need_i > 0$.

Формули (3.9) – (3.11) реалізовані у модулі прогнозування ForecastViewModel системи і дозволяють формувати готовий план закупівель у форматі Excel-звіту [24].

3.4 Критерії оптимальності та обмеження моделі

3.4.1 Цільова функція

Відповідно до обраного принципу балансу, цільова функція моделі мінімізує загальний обсяг закупівель у грошовому вираженні при дотриманні всіх обмежень на покриття потреби [18]:

$$\min C_{total} = \min \sum_i (Q_{need_i} * P_{avg_i}). \quad (3.12)$$

Мінімізація досягається за рахунок того, що Q_{need_i} визначається лише як нестача до цільового рівня запасу M_i – не більше і не менше. Таким чином, модель рекомендує закупити рівно стільки, скільки необхідно для покриття місячної прогнозованої потреби, і не накопичувати надмірні запаси [23].

3.4.2 Обмеження моделі

Система обмежень моделі охоплює три рівні: фізичні обмеження на залишки, обмеження покриття потреби та обмеження, пов'язані з терміном придатності [5].

Обмеження невід'ємності залишків:

$$S_i(t) \geq 0 \text{ для всіх } i \text{ та } t. \quad (3.13)$$

Обмеження покриття оперативної денної потреби (умова відсутності дефіциту):

$$S_i(t - 1) + Q_i(t) \geq D_i(t) \text{ для всіх } i \text{ та } t. \quad (3.14)$$

Це обмеження реалізується в системі у вигляді перевірки достатності запасів перед підтвердженням меню: якщо хоча б для одного інгредієнта умова (3.14) не виконується, операція блокується і користувач отримує повідомлення з переліком продуктів-дефіцитів [16].

Обмеження на максимальний залишок, пов'язане з терміном придатності. Щоб уникнути псування, накопичений залишок не повинен перевищувати прогнозовану потребу за час τ_i діб [5]:

$$S_i(t_r) \leq D_{avg_i} * \tau_i \text{ для всіх } i, \quad (3.15)$$

де t_r – момент після отримання чергової партії.

Для продуктів з великим τ_i (бакалія, консерви: $\tau_i > 180$ днів) це обмеження є нежорстким і не впливає на рекомендований обсяг. Для швидкопсувних продуктів (молоко: $\tau_i = 5\text{--}7$ днів) обмеження (3.15) стає ключовим регулятором, що запобігає надлишковим замовленням [7].

3.4.3 Обговорення обмежень моделі

Розроблена модель має ряд свідомо прийнятих спрощень, зумовлених поточним рівнем реалізації системи та обмеженнями наявних вхідних даних [25].

По-перше, коефіцієнт псування O_i у поточній версії системи не обчислюється динамічно, оскільки відсутній партійний облік термінів придатності. Замість нього використовується нормативний параметр τ_i для категорії продукту. Практичний наслідок: для швидкопсувних продуктів рекомендується дотримуватись більш частих замовлень малими партіями, що відповідає стратегії Just-in-Time [3].

По-друге, сезонний коефіцієнт відходів (нетто/брутто) при первинній обробці продукту закладено безпосередньо у технологічні карти і може змінюватись вручну відповідальним персоналом при зміні сезону.

Автоматичного перерахунку коефіцієнтів за сезоном у поточній версії не передбачено.

По-третє, модель не враховує дискретності партій постачання. На практиці постачальник може відвантажувати товар лише кратними пакуванню обсягами (наприклад, мука – мішки по 50 кг). У загальному вигляді це вводить цілочисельне обмеження, що перетворює задачу (3.12)–(3.15) на задачу цілочисельного програмування [26]. У спрощеній реалізації для штучних товарів застосовується округлення вгору, а для вагових – безперервна апроксимація.

3.5 Порівняльний аналіз запропонованої моделі з базовими

Для оцінки адекватності розробленої моделі виконаємо її порівняння з класичними підходами, описаними у підрозділі 1.3. Порівняння проводиться за ключовими характеристиками, що мають практичне значення для закладів харчування з регламентованим раціоном [27].

3.5.1 Відмінності від класичної моделі EOQ

Класична модель EOQ (формула Вілсона) спрямована на мінімізацію суми витрат на замовлення та зберігання шляхом визначення оптимальної партії Q^* . Вона базується на припущенні сталого неперервного попиту D та необмеженого терміну придатності [8].

Запропонована модель відрізняється у кількох принципових аспектах. По-перше, попит $D_i(t)$ у неї є не константою, а функцією від складу денного меню та кількості осіб (формула 3.1). По-друге, цільова функція (3.12) не включає витрати на зберігання як грошову величину, оскільки для бюджетних установ ці витрати не є монетарними; замість них у модель введено обмеження (3.15) на максимальний залишок відповідно до терміну придатності. По-третє, результатом є не оптимальний розмір однієї партії, а вектор рекомендованих

обсягів закупівлі для всієї номенклатури одночасно [28].

3.5.2 Відмінності від моделі (R, S) з фіксованим інтервалом

Модель (R, S) передбачає регулярні замовлення через фіксовані інтервали R до цільового рівня S , що концептуально відповідає практиці закладів харчування. Однак вона потребує явного визначення параметра R , тоді як в аналізованій системі інтервал постачання є змінним і залежить від логістики конкретного постачальника [19].

Запропонована модель вирішує це протиріччя: вона не фіксує інтервал замовлення R , натомість на кожен момент ініціювання закупівлі (незалежно від часу, що минув) обчислює Q_need_i як нестачу до цільового рівня M_i . Таким чином, цільовий рівень S моделі (R, S) відповідає M_i у нашій моделі, але при цьому він є динамічним – перераховується при кожному запуску алгоритму прогнозування [23].

3.5.3 Відмінності від моделей для продуктів, що псуються

Моделі для продуктів, що псуються (Ghare–Schrader, Mishra та ін., розглянуті у підрозділі 1.3), явно включають диференціальне рівняння динаміки залишків з коефіцієнтом псування O і мінімізують витрати від списання зіпсованих залишків [3, 5]. Запропонована модель використовує ту саму ідею (3.2), але не включає вартість списання у цільову функцію безпосередньо. Натомість обмеження (3.15) непрямо мінімізує ризик псування, забороняючи накопичення запасів понад денну потребу, помножену на термін придатності. Це є більш практичним підходом для бюджетних установ, де бухгалтерський облік псування ведеться окремо від оперативного управління запасами [7].

3.5.4 Зведена порівняльна характеристика

У таблиці 3.1 наведено узагальнене порівняння розробленої моделі з класичними підходами за ключовими параметрами.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика моделей управління запасами

Параметр порівняння	Класична EOQ	Модель (R, S)	Моделі псування	Запропонована модель
Характер попиту	константа D	константа D	функція часу $D(t)$	визначається техкартами $D_i(t) = N(t) * \text{Sum}_j(b_{ij} * x_j(t))$
Цільова функція	мінімум витрат (зам.+зберігання)	мін. витрат (зам.+зберігання)	мін. витрат (зам.+зберігання++ списання)	мін. закупівельний бюджет
Термін придатності	не враховується	непрямо	критичний параметр	обмеження (3.15)
Інтервал постачання	змінний (оптимізується)	фіксований R	змінний (оптимізується)	довільний (реєструється в архіві)
Страховий запас	визначається варіацією попиту	$SS = z_{\beta} * D_{avg_i} * \sigma L$	визначається варіацією псування	$K = 1,1$ до прогнозованої потреби
Горизонт прогнозу	нескінченний	нескінченний	нескінченний	ковзне вікно 7 дат меню

Аналіз таблиці 3.1 показує, що запропонована модель займає проміжне положення між детермінованою EOQ та динамічними моделями для продуктів, що псуються. Вона успадковує властивість відомого попиту, характерну для EOQ (відому структуру попиту), але замінює постійний попит D на динамічний вектор $D_i(t)$, обумовлений технологічними картами. Одночасно вона враховує обмеження терміну придатності, характерне для моделей псування, але реалізує це через просте обмеження-зверху, а не через диференціальне рівняння, що суттєво спрощує практичну реалізацію у програмній системі [27, 29].

Ключовою перевагою запропонованої моделі є повна інтегрованість з даними інформаційної системи: всі параметри (C_cycle_i , $S_i(t_0)$, P_avg_i) обчислюються автоматично з архіву операцій без необхідності ручного введення статистичних параметрів. Це робить її особливо придатною для закладів, де відсутній окремий аналітичний персонал, але є потреба у науково обґрунтованому плані закупівель [30].

4 АРХІТЕКТУРА ТА ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Загальний опис та модель функціонування системи

Розроблена інформаційна система CanteenManager являє собою десктопний застосунок для операційної системи Windows, призначений для автоматизації управління запасами, планування меню та прогнозування закупівель у закладах харчування. Система реалізована мовою C# на платформі .NET 10 із використанням технології Windows Presentation Foundation (WPF) для побудови графічного інтерфейсу користувача.

Модель функціонування системи побудована навколо чотирьох основних бізнес-процесів, які утворюють замкнений цикл управління: складський облік продуктів, ведення технологічних карт страв, планування денного меню з автоматичним списанням інгредієнтів та прогнозування закупівель на основі аналізу фактичних даних споживання. Кожен з цих процесів реалізовано як окремий функціональний модуль системи з відповідним інтерфейсом користувача та бізнес-логікою.

Система підтримує багатокористувацький режим роботи з розмежуванням прав доступу на основі ролей. Передбачено чотири ролі: Адміністратор (повний доступ до всіх функцій, включаючи управління учасниками), Діст-сестра (планування меню та технологічних карт), Комірник (складський облік та операції з продуктами) та Гість (перегляд даних без права внесення змін). Мультиорендність забезпечується ізоляцією даних на рівні підприємства: кожен запис у базі даних містить зовнішній ключ CompanyId, що гарантує доступ лише до даних свого підприємства.

Типовий робочий процес користувача починається з реєстрації облікового запису та створення (або приєднання до існуючого) підприємства за допомогою шестисимвольного коду-запрошення. Після входу до підприємства

Адміністратор призначає ролі іншим учасникам. Далі Комірник вносить номенклатуру продуктів та фіксує надходження товарів, Дієт-сестра створює технологічні карти страв та формує денне меню, а система автоматично списує необхідні інгредієнти зі складу при підтвердженні приготування. На основі накопичених даних про списання модуль прогнозування формує план закупівель із зазначенням обсягів та орієнтовної вартості.

На рисунку 4.1 наведено діаграму варіантів використання інформаційної системи, що ілюструє основні сценарії взаємодії користувачів різних ролей з функціональними модулями розробленого програмного забезпечення (рис. А.1).

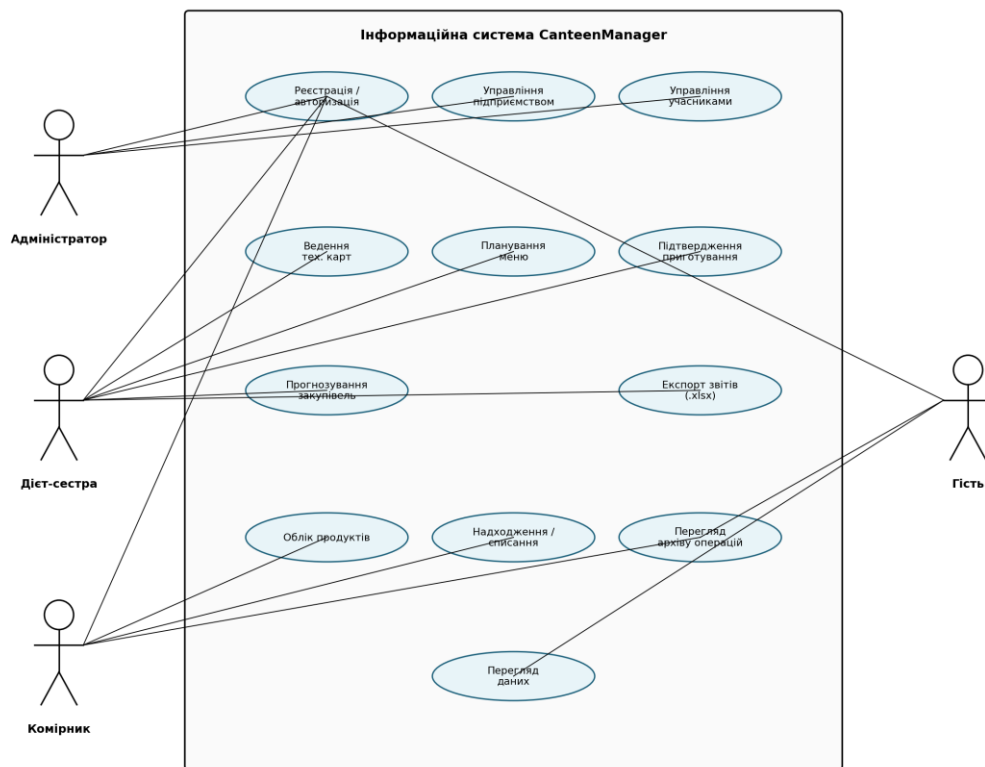


Рисунок 4.1 – Use-Case діаграма

4.2 Архітектура серверної частини

Архітектура програмної системи побудована відповідно до принципів Clean Architecture, запропонованих Р. Мартіном, що забезпечує чітке розділення

відповідальності між компонентами та мінімізує залежність бізнес-логіки від деталей інфраструктури [13]. Рішення (solution) складається з чотирьох проєктів, кожен з яких відповідає окремому архітектурному шару.

Шар `CanteenManager.Domain` є внутрішнім ядром системи і не залежить від жодного іншого проєкту. Він містить сутності предметної галузі (`Product`, `TechCard`, `TechCardIngredient`, `DailyMenu`, `DailyMenuDish`, `MenuTemplate`, `MenuTemplateDish`, `WarehouseHistory`, `User`, `Company`, `CompanyMember`, `ForecastItem`, `UserRole`), інтерфейси репозиторіїв (`IRepository`, `IProductRepository`, `ITechCardRepository`, `IDailyMenuRepository`, `ICompanyRepository`, `IWarehouseHistoryRepository`, `IMenuTemplateRepository`) та інтерфейс `IUnitOfWork` для координації транзакцій. Сутність `Product` реалізує інтерфейс `IHasRowVersion`, який містить властивість `RowVersion` типу `byte[]` для підтримки оптимістичного паралелізму.

Шар `CanteenManager.Application` містить сервіси застосунку та об'єкти передачі даних (DTO). Тут розміщено `AuthService` для автентифікації користувачів, `UserSession` для зберігання стану поточного сеансу, `PasswordHasher` для криптографічного хешування паролів, а також інтерфейс `ICleanable`, який реалізують `ViewModel`-і з таймерами для коректного звільнення ресурсів при навігації між екранами. Цей шар залежить лише від `Domain` і не має посилань на інфраструктурні бібліотеки.

Шар `CanteenManager.Infrastructure` реалізує інтерфейси, визначені у `Domain`. Тут знаходиться `CanteenManagerDbContext` (контекст `Entity Framework Core`), конкретні реалізації репозиторіїв (`BaseRepository`, `ProductRepository`, `TechCardRepository`, `DailyMenuRepository` та інші), а також `UnitOfWork`, який інкапсулює всі репозиторії та координує збереження змін через єдиний виклик `CompleteAsync`. Для серіалізації операцій запису використовується статичний `SemaphoreSlim`, що унеможливлює паралельне виконання конкуруючих транзакцій. Шар містить міграції `EF Core` для управління схемою бази даних та утилітний клас `CodeGenerator` для генерації кодів-запрошень.

Шар `CanteenManager.UI` є точкою входу та містить WPF-застосунок з реалізацією патерну MVVM. Клас `App.xaml.cs` виконує роль `Composition Root`:

- Конфігурує DI-контейнер (`Microsoft.Extensions.DependencyInjection`);
- реєструє `DbContext`, `UnitOfWork`, сервіси та `ViewModel`-и;
- налаштовує `AutoMapper` та ініціює міграцію бази даних при запуску.

`NavigationService` забезпечує навігацію між екранами з автоматичним викликом `Cleanup()` для `ViewModel`-ей, що реалізують `ICleanable`, що запобігає витоку ресурсів від таймерів синхронізації.

Взаємодія між шарами здійснюється виключно через інтерфейси: `UI` залежить від `Application` та `Infrastructure` (для реєстрації в DI), `Application` залежить лише від `Domain`, `Infrastructure` залежить від `Application` (для DTO) та `Domain` (для інтерфейсів). Таким чином, бізнес-логіка у `Domain` та `Application` повністю ізольована від деталей зберігання даних, що спрощує подальшу міграцію до клієнт-серверної архітектури з виділеним API-сервісом.

4.3 Проєктування API сервісу

У поточній версії системи клієнтський WPF-застосунок взаємодіє з базою даних безпосередньо через `Entity Framework Core` без проміжного API-рівня. Такий підхід був обраний на етапі прототипування для прискорення розробки та спрощення налагодження, оскільки він дозволяє уникнути додаткового рівня серіалізації/десеріалізації та мережевої затримки. Разом з тим архітектура системи спроектована з урахуванням подальшого виділення бізнес-логіки у окремий HTTP API сервіс.

Підготовка до міграції забезпечується кількома архітектурними рішеннями. По-перше, використання патерну `Unit of Work` з інтерфейсом `IUnitOfWork` дозволяє замінити реалізацію, що працює з локальним `DbContext`, на проксі-реалізацію, яка виконує HTTP-запити до API. По-друге, вся бізнес-

логіка сконцентрована у ViewModel-ях та Application-сервісах, а не розподілена між View та Infrastructure, що дозволяє перенести її на серверну сторону без переписування. По-третє, наявність шару DTO у CanteenManager.Application забезпечує готові контракти для REST-ендпоінтів.

Планований API сервіс на базі ASP.NET Core передбачає такі групи ендпоінтів:

- auth (реєстрація, вхід, управління сесіями);
- companies (створення, приєднання, управління учасниками);
- products (CRUD операції зі складом);
- techcards (управління технологічними картами);
- dailymenus (планування меню, підтвердження приготування, анулювання);
- forecast (розрахунок прогнозу закупівель).

Кожна група відповідає існуючому репозиторію в Infrastructure та ViewModel у UI, що мінімізує обсяг змін при міграції.

Виділення API-рівня надасть такі переваги: централізація валідації та авторизації на сервері, можливість підключення мобільних та веб-клієнтів, інтеграція з зовнішніми сервісами (поштові повідомлення, інтеграція з постачальниками), а також покращена безпека за рахунок того, що облікові дані бази даних не зберігатимуться на клієнтських машинах. Поточна архітектура з чотирма ізольованими шарами забезпечує можливість такої міграції без необхідності переписування бізнес-логіки.

4.4 Інтеграція модуля оптимізації запасів у систему

Модуль оптимізації запасів реалізовано як ForecastViewModel у шарі UI та інтегровано в загальну архітектуру через IUnitOfWork. Модуль отримує вхідні дані з двох джерел: архіву складських операцій (WarehouseHistory) та поточних залишків продуктів (Product). Алгоритм автоматично запускається при навігації

на екран прогнозування та оновлюється кожні 5 секунд через `DispatcherTimer`, що забезпечує актуальність даних при одночасній роботі кількох користувачів.

Потік даних у модулі організовано наступним чином. Спочатку з архіву `WarehouseHistory` завантажуються всі записи з типом операції, що містить підрядок "Меню", тобто фактичні списання при підтвердженні приготування. Дата конкретного меню витягується з поля `Comment` кожного запису за допомогою парсингу текстового шаблону "Списання по меню на dd.MM.yyyy". Далі визначаються останні 7 унікальних дат меню, які формують аналітичне вікно. Для кожного продукту обчислюється сумарне фактичне списання за цикл, на основі якого розраховуються нормалізована тижнева потреба, місячний прогноз та рекомендований обсяг закупівлі відповідно до формул, описаних у розділі 3.

Результати розрахунку представляються у вигляді таблиці `ForecastItem` з полями: `ProductName`, `Unit`, `CurrentStock`, `LastWeekActual`, `Weekly`, `Monthly`, `Quarterly`, `HalfYearly`, `Yearly`, `AveragePrice` та `CostToBuyMonth`. Модуль підтримує перемикання між режимами відображення (грами/кілограми) та формує текстовий звіт-підсумок із загальним бюджетом закупівлі та переліком дефіцитних позицій. Експорт у формат `Excel` здійснюється за допомогою бібліотеки `ClosedXML` з деталізованою структурою: заголовок, метадані аналітичного періоду, таблиця позицій з числовим форматуванням та підсумковий рядок з формулою `SUM`.

Окремо реалізовано модуль порівняльного дослідження ефективності моделей управління запасами (`ResearchViewModel` + `ResearchSimulator`), який дозволяє провести імітаційне моделювання закупівельного циклу на даних поточного підприємства й порівняти три моделі – класичну `EOQ`, модель `(R, S)` та запропоновану модифіковану модель – за п'ятьма критеріями ефективності. Модуль інтегрований у загальну архітектуру через `IUnitOfWork` (для читання продуктів і техкарт) і не виконує жодних змін у базі даних. Опис реалізації цього модуля наведено у підрозділі 5.5.

5 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Вибір засобів програмної реалізації

Для реалізації програмної системи обрано платформу .NET 10 із мовою програмування C#, яка забезпечує високу продуктивність розробки, строгу типізацію, підтримку асинхронних операцій (async/await) та розвинену екосистему бібліотек.

Графічний інтерфейс користувача побудовано на основі Windows Presentation Foundation (WPF) з використанням декларативної мови розмітки XAML. Для реалізації патерну MVVM застосовано бібліотеку CommunityToolkit.Mvvm версії 8.4.0, яка надає базові класи ObservableObject, атрибути [ObservableProperty] для автоматичної генерації властивостей з нотифікацією та [RelayCommand] для прив'язки команд. Це суттєво скорочує обсяг шаблонного коду та забезпечує чітке розділення відповідальності між View та ViewModel.

Для доступу до бази даних обрано Entity Framework Core версії 10.0.5 із провайдером Microsoft.EntityFrameworkCore.SqlServer. EF Core забезпечує об'єктно-реляційне відображення (ORM), підтримку міграцій для управління схемою бази даних, механізм RowVersion для оптимістичного паралелізму та LINQ-запити для типобезпечного доступу до даних. Як СУБД використовується Microsoft SQL Server, який підтримує необхідний рівень транзакційної ізоляції та кількість одночасних підключень [14].

Бібліотека AutoMapper версії 16.1.1 використовується для автоматичного відображення між доменними сутностями, DTO та моделями представлення. Профілі відображення (CompanyProfile, ProductProfile, TechCardProfile, MenuProfile, WarehouseProfile, ForecastProfile, UserProfile) зосереджено у шарі UI та реєструються під час ініціалізації DI-контейнера з валідацією конфігурації

через `AssertConfigurationIsValid`.

Для генерації Excel-звітів (меню-розкладка, план закупівель) застосовано бібліотеку `ClosedXML` версії 0.105.0, яка розповсюджується за ліцензією MIT. Вона надає зручний API для створення форматуваних таблиць, застосування числових форматів, об'єднання комірок та автоматичного підбору ширини стовпців. Для управління залежностями та конфігурацією використовується `Microsoft.Extensions.DependencyInjection` та `Microsoft.Extensions.Configuration` з підтримкою файлів `appsettings.json` та `User Secrets` для безпечного зберігання рядків підключення.

5.2 Опис фізичної моделі бази даних

Фізична модель бази даних складається з дванадцяти таблиць, які відображають сутності предметної галузі та їх зв'язки. Схема бази даних створюється та оновлюється автоматично за допомогою механізму міграцій `Entity Framework Core`, що забезпечує версіонування та відтворюваність структури на будь-якому екземплярі `SQL Server`.

На рисунку 5.1 наведено ER-діаграму фізичної моделі бази даних, отриману засобами `Microsoft SQL Server Management Studio (SSMS)`, яка ілюструє склад таблиць, їх атрибути та зв'язки між сутностями (рис. А.2).

Таблиця `Users` зберігає облікові записи з полями `Email`, `Nickname` та `PasswordHash`. На полях `Email` та `Nickname` створено унікальні індекси для запобігання дублюванню. Таблиця `Companies` містить інформацію про підприємства: `Name`, `InviteCode` (унікальний шестисимвольний код для приєднання) та `AccessPasswordHash`. Зв'язок між користувачами та підприємствами реалізовано через таблицю `CompanyMembers` з полями `UserId`, `CompanyId` та `Role` (перелік: `None`, `Guest`, `Warehouseman`, `Dietitian`, `Admin`).

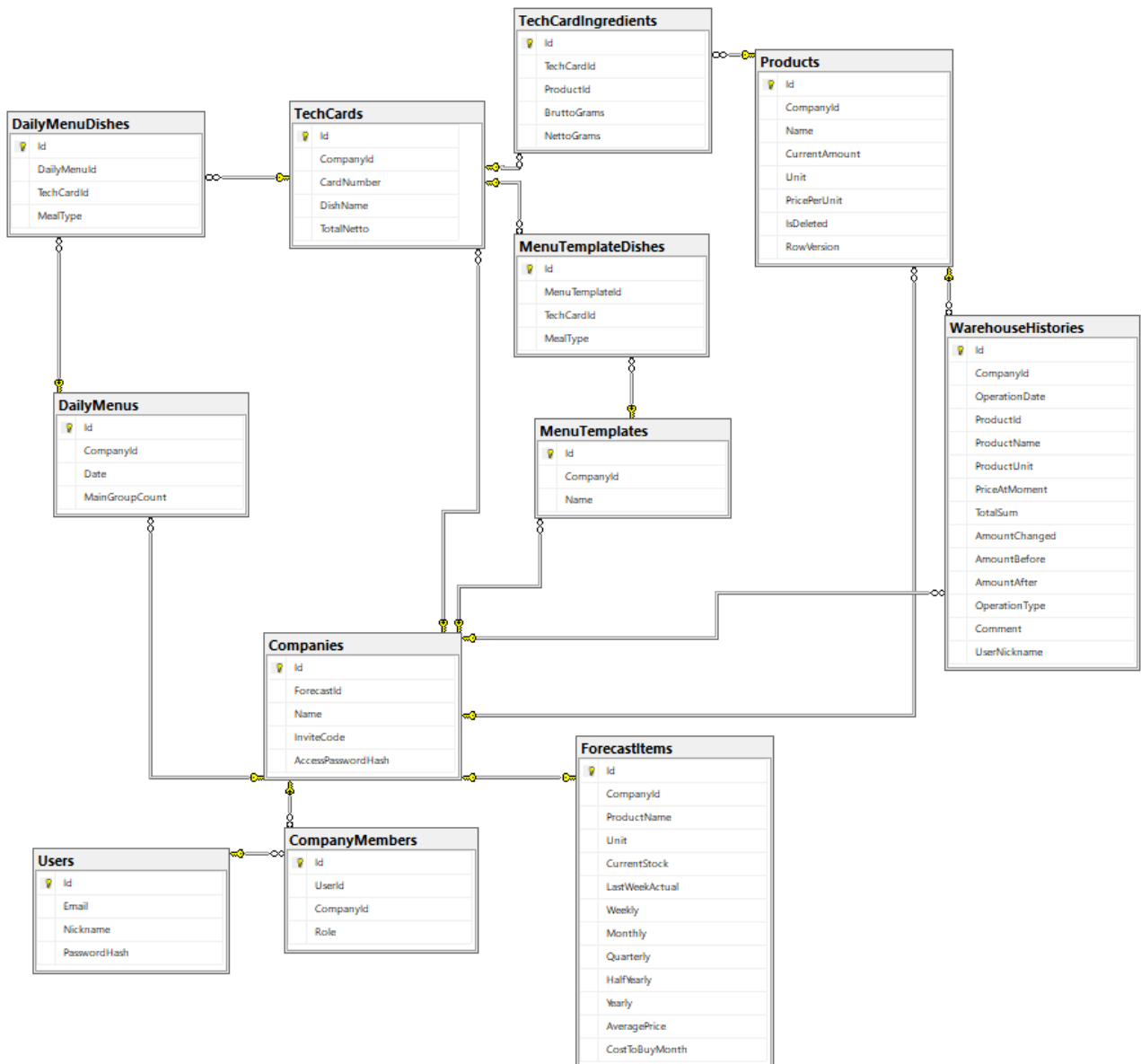


Рисунок 5.1 – ER-діаграма бази даних

Таблиця **Products** є центральною для складського обліку та містить поля: **Name**, **CurrentAmount**, **Unit** (г, мл, шт), **PricePerUnit**, **IsDeleted** (для м'якого видалення) та **RowVersion** (для оптимістичного паралелізму). На комбінації полів **Name** та **CompanyId** створено унікальний фільтрований індекс з умовою **[IsDeleted] = 0**, що забезпечує унікальність назв лише серед активних продуктів одного підприємства.

Таблиця **TechCards** зберігає рецептури страв з полями **CardNumber**, **DishName** та **TotalNetto**. Інгредієнти кожної технологічної карти зберігаються у

таблиці TechCardIngredients з полями TechCardId, ProductId, BruttoGrams та NettoGrams. Зв'язок з Product налаштовано з OnDelete(DeleteBehavior.Restrict) для запобігання каскадного видалення продуктів, що використовуються у рецептурах.

Таблиця DailyMenus фіксує факт створення меню на конкретну дату з полями Date, CompanyId та MainGroupCount (кількість осіб). Склад меню зберігається у таблиці DailyMenuDishes з полями DailyMenuId, TechCardId та MealType (Сніданок, Обід, Полудень, Вечеря). Для шаблонів меню передбачено аналогічну пару таблиць: MenuTemplates та MenuTemplateDishes.

Таблиця WarehouseHistories є журналом усіх складських операцій та містить розширений набір полів: ProductId (nullable для збереження записів після видалення продукту), ProductName, ProductUnit, PriceAtMoment, TotalSum, AmountChanged (від'ємне для списання, додатне для надходження), AmountBefore, AmountAfter, OperationType (Надходження, Списання, Списання (Меню)), OperationDate та Comment. Зв'язок з Product налаштовано з OnDelete(DeleteBehavior.SetNull), що забезпечує збереження історичних записів при видаленні продукту.

Таблиця ForecastItems зберігає результати останнього розрахунку прогнозу та пов'язана з Company відношенням один-до-одного. Усі таблиці, крім Users, містять зовнішній ключ CompanyId для забезпечення ізоляції даних у мультиорендному середовищі.

5.3 Реалізація модуля управління запасами продуктів

Модуль управління запасами реалізовано у класі WarehouseViewModel, який наслідує ObservableObject та реалізує ICleanable для коректного звільнення таймера синхронізації. Модуль забезпечує повний цикл операцій зі складом: додавання нових продуктів, надходження товару, ручне списання, редагування параметрів та м'яке видалення.

При додаванні нового продукту система перевіряє наявність запису з такою ж назвою в межах поточного підприємства. Якщо продукт з аналогічною назвою вже існує на складі, замість створення дублікату система автоматично збільшує залишок існуючого запису на вказану кількість та фіксує операцію надходження в архіві. Ця логіка реалізована через пошук за унікальним індексом `Name + CompanyId` та обробку виключення `DbUpdateException` при спробі вставки дублікату.

Для забезпечення коректності при одночасному редагуванні декількома користувачами застосовано механізм оптимістичного паралелізму. Сутність `Product` містить властивість `RowVersion` з атрибутом `[Timestamp]`, яку EF Core автоматично перевіряє при кожному оновленні. При виявленні конфлікту (`DbUpdateConcurrencyException`) система повідомляє користувача діалоговим вікном з описом ситуації та пропонує оновити дані для отримання актуального стану. Метод `RejectChanges()` класу `UnitOfWork` скидає зміни контексту до збереженого стану.

Синхронізація даних між клієнтськими сеансами реалізована через `DispatcherTimer` з інтервалом 5 секунд. При кожному спрацюванні таймера виконується асинхронне завантаження списку продуктів з бази даних. Захисний прапорець `_isLoadingData` запобігає паралельному запуску однотипних фонових операцій та накладенню результатів. Метод `Cleanup()` зупиняє таймер перед знищенням `score'a ViewModel` при навігації на інший екран.

М'яке видалення (soft delete) реалізовано через поле `IsDeleted` сутності `Product`. При видаленні продукт позначається як `IsDeleted = true` без фізичного видалення з бази даних, що зберігає посилальну цілісність з архівом операцій та інгредієнтами технологічних карт.

Інформація про видалені продукти не відображаються у робочих списках, але залишаються доступними для історичних звітів.

5.4 Реалізація алгоритму оптимізації запасів

Алгоритм оптимізації запасів реалізовано у методі `CalculateForecastAsync` класу `ForecastViewModel`. Метод виконується асинхронно та захищений прапорцем `_isLoadingForecast` від повторного паралельного запуску.

Алгоритм реалізує модифіковану модель управління запасами, описану у розділі 3, та виконує п'ять основних кроків.

Крок 1 – вибірка даних. З архіву `WarehouseHistory` завантажуються всі записи поточного підприємства з типом операції, що містить підрядок "Меню". Для кожного запису з поля `Comment` витягується реальна дата меню за допомогою парсингу підрядка після "на " у форматі dd.MM.yyyy. Якщо парсинг невдалий, використовується дата операції `OperationDate`.

Крок 2 – формування аналітичного вікна. З отриманих записів витягуються унікальні дати, які сортуються за спаданням. Беруться перші 7 дат (або менше, якщо система щойно введена в експлуатацію), що формують множину аналітичного циклу. Кількість дат у циклі `n_cycle` використовується для нормалізації потреби.

Крок 3 – агрегація та розрахунок. Записи групуються за продуктом (`ProductName`, `ProductUnit`, `ProductId`). Для кожної групи обчислюється сукупне фактичне списання за цикл `C_cycle` як сума модулів `AmountChanged`. Тижнева потреба розраховується за формулою (3.6): при `n_cycle = 7` тижнева потреба дорівнює фактичному споживанню, при `n_cycle < 7` виконується пропорційне масштабування. Коефіцієнт страхового запасу $K = 1.1$ застосовується до всіх прогнозних значень.

Крок 4 – визначення обсягу закупівлі. Місячна потреба M обчислюється множенням тижневої потреби на 4.345. Рекомендований обсяг закупівлі Q_{need} визначається як різниця між місячною потребою та поточним залишком на складі з обмеженням невід'ємності через функцію `Math.Max(0, ...)`. Для штучних

товарів результат додатково округлюється вгору через `Math.Ceiling`. Середня ціна `P_avg` розраховується як середнє арифметичне цін трьох останніх операцій надходження продукту.

Крок 5 – формування звіту. Результати збираються у колекцію `ForecastItem` та сортуються за спаданням вартості закупівлі `CostToBuyMonth`. Метод `UpdateSummary` формує текстовий підсумок із загальним бюджетом та переліком дефіцитних позицій. Метод `ExportPurchaseList` створює форматований Excel-файл за допомогою `ClosedXML` з заголовком, таблицею даних, числовим форматкуванням та підсумковою формулою `SUM`.

Аналогічно, при підтвердженні приготування у `DailyMenuViewModel` формується меню-розкладка у форматі Excel, що відповідає типовій формі, затвердженій Наказом Міністерства фінансів України № 431 від 13.12.2022 про обов'язкові первинні документи з обліку запасів у бюджетних установах [2]. Меню-розкладка містить деталізацію страв із зазначенням обсягів інгредієнтів брутто і нетто на групу та може бути використана як офіційний документ бухгалтерського обліку.

Реалізація модуля підтвердження меню у `DailyMenuViewModel` виконує атомарне списання інгредієнтів. Спочатку для всіх страв меню обчислюється сукупна потреба в кожному продукті з урахуванням норм брутто технологічних карт та кількості осіб. Для штучних товарів потреба округлюється вгору. Потім виконується перевірка достатності: якщо хоча б для одного інгредієнта залишок менший за потребу, операція блокується з виведенням переліку дефіцитних позицій. При успішній перевірці всі зміни залишків, записи до архіву операцій та запис меню зберігаються єдиним викликом `CompleteAsync` у рамках однієї транзакції.

5.5 Реалізація модуля порівняльного дослідження моделей управління запасами

Модуль порівняльного дослідження реалізовано у класах `ResearchViewModel` (шар UI) та `ResearchSimulator` (службовий клас у шарі UI/Services). Модуль є інтерактивним інструментом для проведення імітаційного моделювання закупівельного циклу та порівняльного аналізу трьох моделей управління запасами – класичної моделі EOQ (формула Вілсона), моделі (R, S) з фіксованим інтервалом перегляду та запропонованої модифікованої моделі на основі технологічних карт.

`ResearchSimulator` інкапсулює всю логіку симуляції та не виконує жодних змін у базі даних – модуль лише читає продукти й технологічні карти підприємства, генерує синтетичний попит на основі техкарт і прогонить три алгоритми на одних і тих самих вхідних даних. Це гарантує коректність порівняння й повторюваність результатів за фіксованого зерна випадковості.

Період симуляції ділиться на дві фази. Перша фаза – “Історія” – становить рівно 7 днів і використовується усіма моделями виключно для збору статистики денного попиту: замовлень у цій фазі не виконується. На початку симуляції всі моделі отримують однаковий стартовий запас, який дорівнює $1,5 \cdot$ сукупний попит за історичну фазу (тобто приблизно 10,5-денний запас); цей запас підібрано таким чином, щоб усі моделі мали достатньо часу для першого замовлення без початкового дефіциту, обумовленого виключно стартовою позицією, а не якістю самої моделі. Друга фаза – “Тест” – задається користувачем (за замовчуванням 14 днів, що відповідає двом тижневим циклам перегляду) і саме у ній кожна модель за своїми правилами ухвалює рішення про закупівлі, а ми вимірюємо результати.

Денний попит у обох фазах формується синтетично: для кожного дня випадковим чином обирається 4 техкарти з каталогу підприємства, кожна з яких множиться на кількість осіб у групі (з варіацією $\pm 25\%$ для моделювання

реальних коливань явки). Для кожного інгредієнта обчислюється обсяг споживання у базових одиницях (грам, мілілітр або штука відповідно до Product.Unit).

Для оцінки моделей реалізовано п'ять метрик, узгоджених з KPI-таблицею у інтерфейсі модуля. Service Level (рівень обслуговування) визначається як частка задоволеного попиту у тестовій фазі:

$$SL = ServedTotal / DemandTotal * 100, \quad (5.1)$$

де $served_i(t) = \min(S_i(t), D_i(t))$ – фактично задоволений попит у продукті i за день t .

Середня абсолютна відсоткова похибка прогнозу (MAPE) обчислюється на основі значень фактичного сукупного попиту на тестовий період D_actual_i і прогнозу моделі на цей самий період $D_predicted_i$ для кожного з n продуктів:

$$MAPE = (1/n) * \sum_i |D_actual_i - D_predicted_i| / D_actual_i * 100. \quad (5.2)$$

Класична EOQ та модель (R, S) прогнозують через середнє історичне споживання, помножене на тривалість тесту, тоді як запропонована модель “бачить” планове меню тестової фази й прогнозує точно – це і є її ключова перевага.

Загальні витрати C_total складаються з трьох компонент – оформлення поставок, зберігання запасу та штрафу за дефіцит:

$$C_total = OrderCost + HoldingCost + StockoutCost, \quad (5.3)$$

де загальні витрати C_total складаються з трьох доданків.

Перший доданок $OrderCost = K * N_deliveries$ – витрати на оформлення поставок: K – фіксована вартість оформлення однієї поставки (за

замовчуванням 200 грн), $N_{deliveries}$ – кількість унікальних днів поставок (5.5).

Другий доданок $HoldingCost = \sum_{i,t} S_i(t) * P_i * h$ – витрати на зберігання запасу: $\sum_{i,t}$ – підсумовування по всіх продуктах і та всіх днях t тестового періоду, $S_i(t)$ – залишок продукту і наприкінці дня t , P_i – ціна продукту і за базову одиницю, h – добова ставка зберігання (0,5 % від ціни на добу). Третій доданок $StockoutCost = \sum_{i,t} shortfall_i(t) * P_i * Pen$ – штраф за дефіцит, де $shortfall_i(t) = \max(0, D_i(t) - S_i(t))$ – нестача продукту і у день t , Pen – коефіцієнт штрафу (за замовчуванням 2 – нестача оцінюється як подвійна вартість одиниці продукту).

Частка надлишку ($ExcessRate$) – частка продукто-днів, у які запас перевищував 7-денну потребу (індикатор ризику псування):

$$ExcessRate = N_{excess} / (N_{products} * N_{test_days}) * 100, \quad (5.4)$$

де D_{avg_i} – середньоденний попит у продукті і за історичною фазою;

$|N_{products}|$ – кількість продуктів;

$|N_{test_days}|$ – тривалість тестової фази у днях.

Кількість поставок ($N_{deliveries}$) – кількість унікальних днів тестової фази, у які була зроблена хоча б одна поставка (логістична подія, незалежно від кількості позицій у ній):

$$N_{deliveries} = |T_{orders}|, \quad (5.5)$$

де $T_{orders} = \{ t \text{ у тестовому періоді} : \sum_i q_i(t) > 0 \}$ – множина днів, у які зроблено хоча б одне замовлення ($q_i(t)$ – обсяг замовлення продукту і у день t);

$|T_{orders}|$ – потужність цієї множини, тобто кількість унікальних днів поставок. Метрика відображає реальне логістичне навантаження на персонал закладу: одна поставка – це один приїзд постачальника, незалежно від того, скільки різних продуктів у ній привезено.

Правила прийняття рішення про замовлення відрізняються між моделями. Класична EOQ замовляє Q^* за формулою Вілсона (1.2) щоразу, коли поточний залишок падає нижче точки перезамовлення $ROP = D_{avg_i} * L$, де L – час виконання замовлення. Модель (R, S) виконує перегляд кожні $R = 7$ днів і замовляє різницю між цільовим рівнем $S = D_{avg_i} * (R + L) + SS$ і поточним залишком, де $SS = 1.65 \sqrt{L} * \sigma_d$. Запропонована модель кожні $R = 7$ днів обчислює сумарну потребу безпосередньо за плановим меню тестової фази на наступні $(R + L)$ днів, помножену на коефіцієнт страхового запасу $K = 1.1$, з обмеженням за терміном придатності продукту.

На рисунку 5.2 наведено інтерфейс модуля порівняльного дослідження після завершення симуляції (рис. А.3).

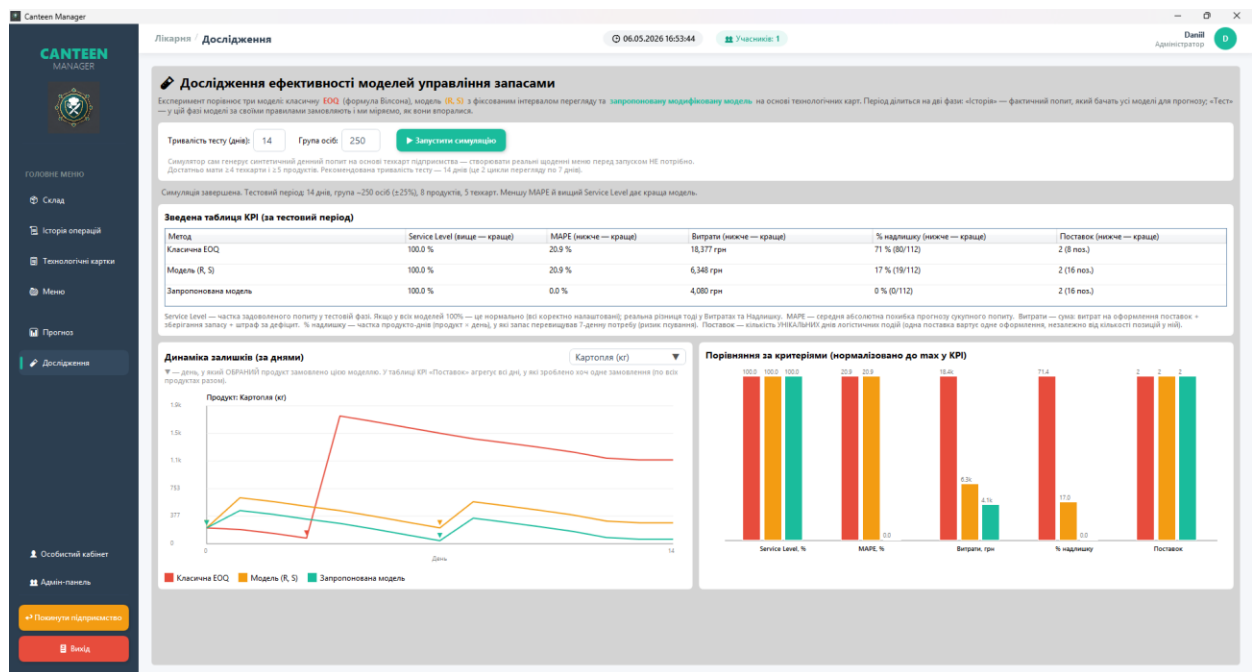


Рисунок 5.2 – Інтерфейс модуля порівняльного дослідження

Інтерфейс модуля містить такі елементи: поля задання тривалості тестового періоду та кількості осіб у групі; кнопка запуску симуляції; зведена таблиця KPI з результатами для трьох моделей; випадальний список вибору продукту для відображення динаміки залишку; лінійний графік динаміки

залишків обраного продукту з маркерами днів замовлення (▼); стовпчикова діаграма порівняння моделей за п'ятьма критеріями.

5.6 Огляд інтерфейсу інформаційної системи

Розроблена інформаційна система реалізована у вигляді WPF-застосунку для операційної системи Windows. Робочий процес користувача побудовано таким чином, щоб мінімізувати кількість дій для виконання типових операцій – від реєстрації облікового запису до отримання плану закупівель. У цьому підрозділі наведено короткий огляд основних екранів системи у послідовності типового сценарію використання.

Робота з системою починається з вікна автентифікації, у якому користувач може увійти за існуючим обліковим записом або зареєструвати новий, вказавши електронну адресу, псевдонім та пароль (рис. 5.3, А.4). Після успішного входу до системи користувачу пропонується або створити нове підприємство (стаючи його адміністратором), або приєднатися до існуючого підприємства за шестисимвольним кодом-запрошенням і паролем доступу.

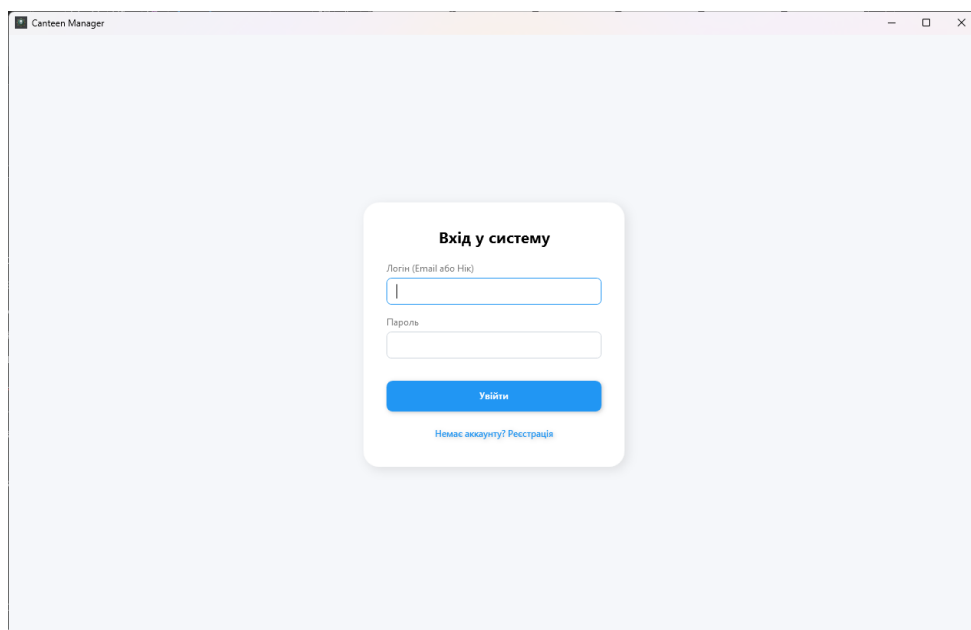


Рисунок 5.3 – Вікно автентифікації користувача

Після приєднання до підприємства користувач потрапляє до головного робочого вікна, бічна панель якого містить усі основні модулі: “Склад”, “Історія операцій”, “Технологічні картки”, “Меню”, “Прогноз”, “Дослідження”, а також “Особистий кабінет” та (для адміністратора) “Адмін-панель” для управління учасниками (рис. 5.4, А.5).

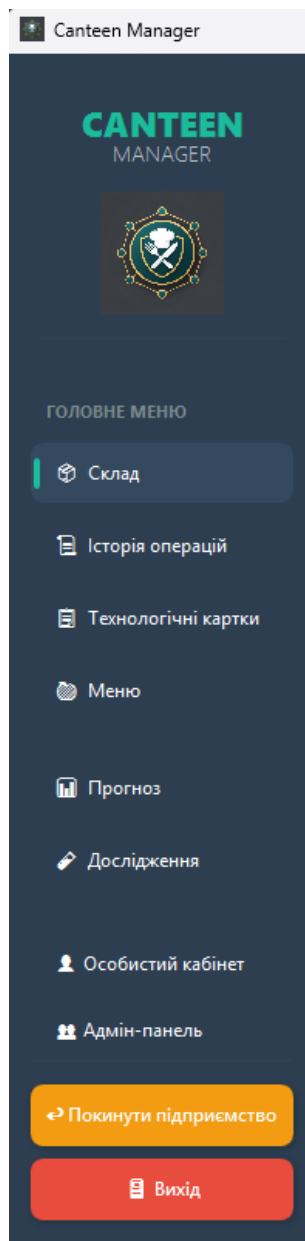


Рисунок 5.4 – Бічна навігаційна панель

Модуль “Склад” забезпечує облік номенклатури продуктів харчування

підприємства (рис. 5.5, А.6). У табличній формі відображаються всі активні продукти з їхньою назвою, одиницею виміру та поточною кількістю на складі. Користувачу з роллю Комірник або Адміністратор доступні три основні операції: “Надходження” – поповнення залишку із зазначенням кількості та ціни (з фіксацією операції в архіві); “Списання” – ручне зменшення залишку із вказанням причини; “Видалення” – м’яке видалення продукту зі збереженням посилальної цілісності в архіві операцій. Перемикач “кг/л – г/мл” дозволяє відобразити кількості у зручній одиниці виміру.

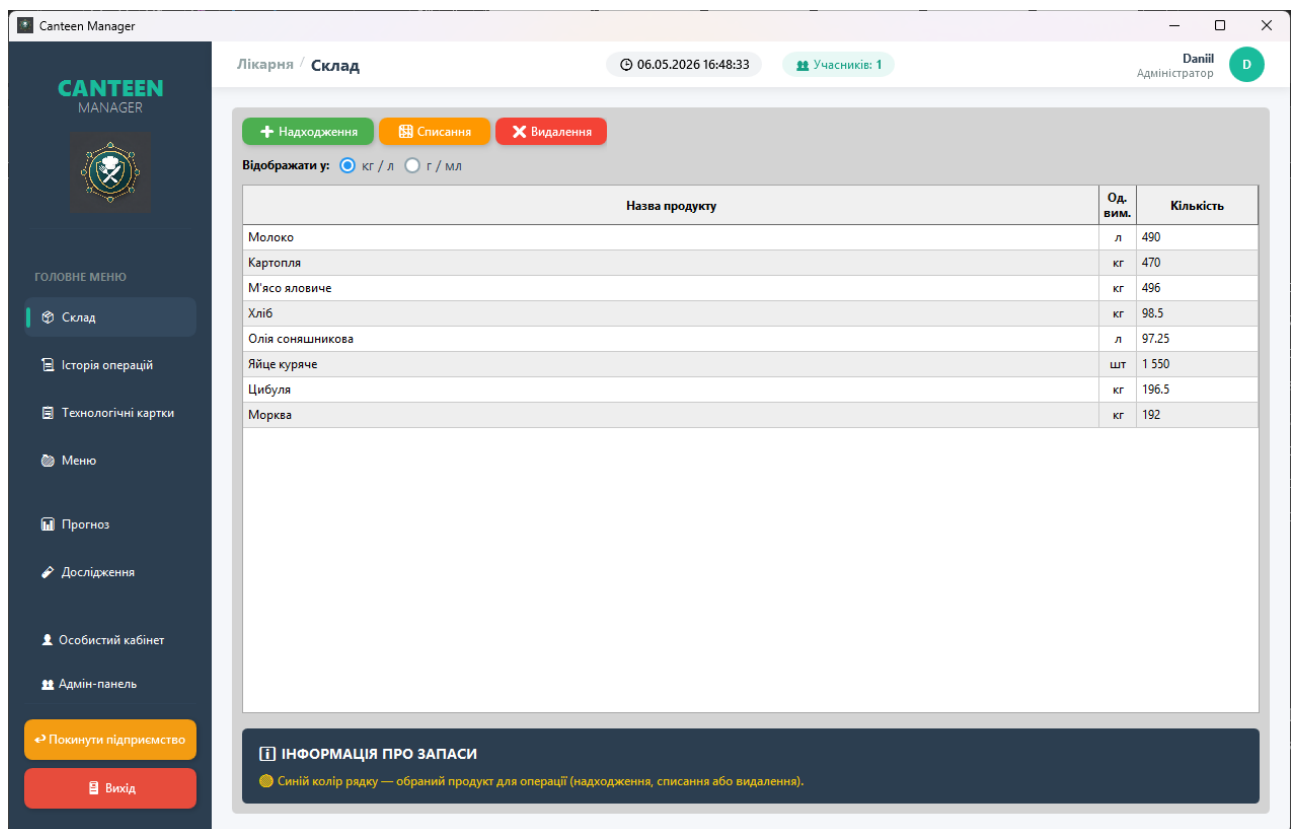


Рисунок 5.5 – Інтерфейс модуля “Склад”

Модуль “Технологічні картки” дозволяє створювати, редагувати та видаляти рецептури страв (рис. 5.6, А.7). Кожна технологічна карта містить назву страви та таблицю інгредієнтів із зазначенням продукту (вибір з номенклатури складу), норми закладки брутто (вага сировини до первинної обробки) та нетто (вага після обробки) на одну порцію. Сумарне нетто страви

обчислюється автоматично як сума нетто всіх інгредієнтів. Доступ до операцій зміни мають користувачі з ролями Діст-сестра або Адміністратор.

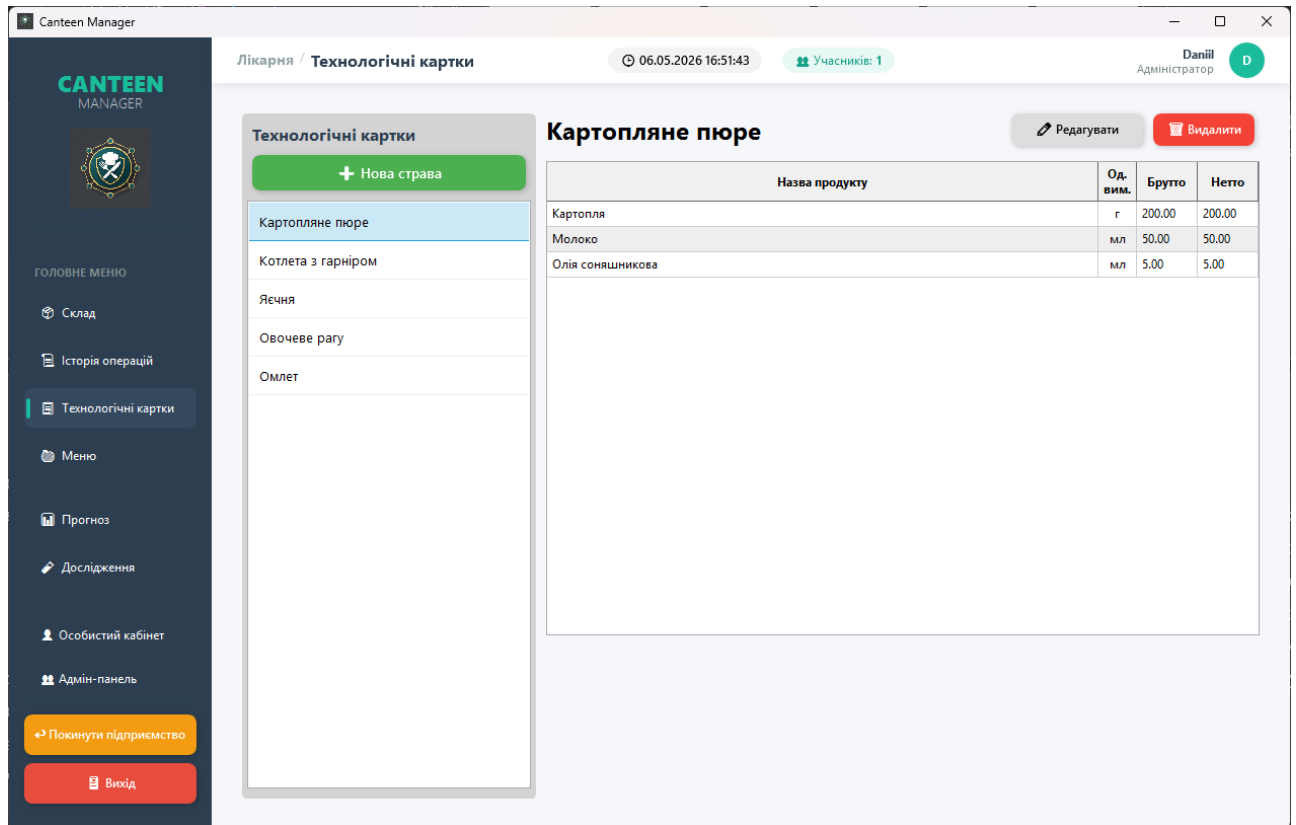


Рисунок 5.6 – Інтерфейс модуля “Технологічні картки”

Модуль “Меню” є ключовим з точки зору щоденної роботи Діст-сестри. У ньому формується денне меню з чотирьох прийомів їжі – сніданок, обід, полудень, вечеря – шляхом додавання страв з каталогу технологічних карт (рис. 5.7, А.8). Передбачено механізм шаблонів меню: типові комбінації страв на день можна зберегти як іменований шаблон і швидко завантажити його для нового дня. Підтвердження приготування здійснюється кнопкою “Приготувати”, яка запускає атомарну транзакцію: система перевіряє наявність достатньої кількості всіх інгредієнтів, після чого списує необхідні обсяги відповідно до норм брутто, помножених на кількість осіб, що харчуються; формує запис до архіву операцій для кожного списаного продукту; зберігає факт створення меню.

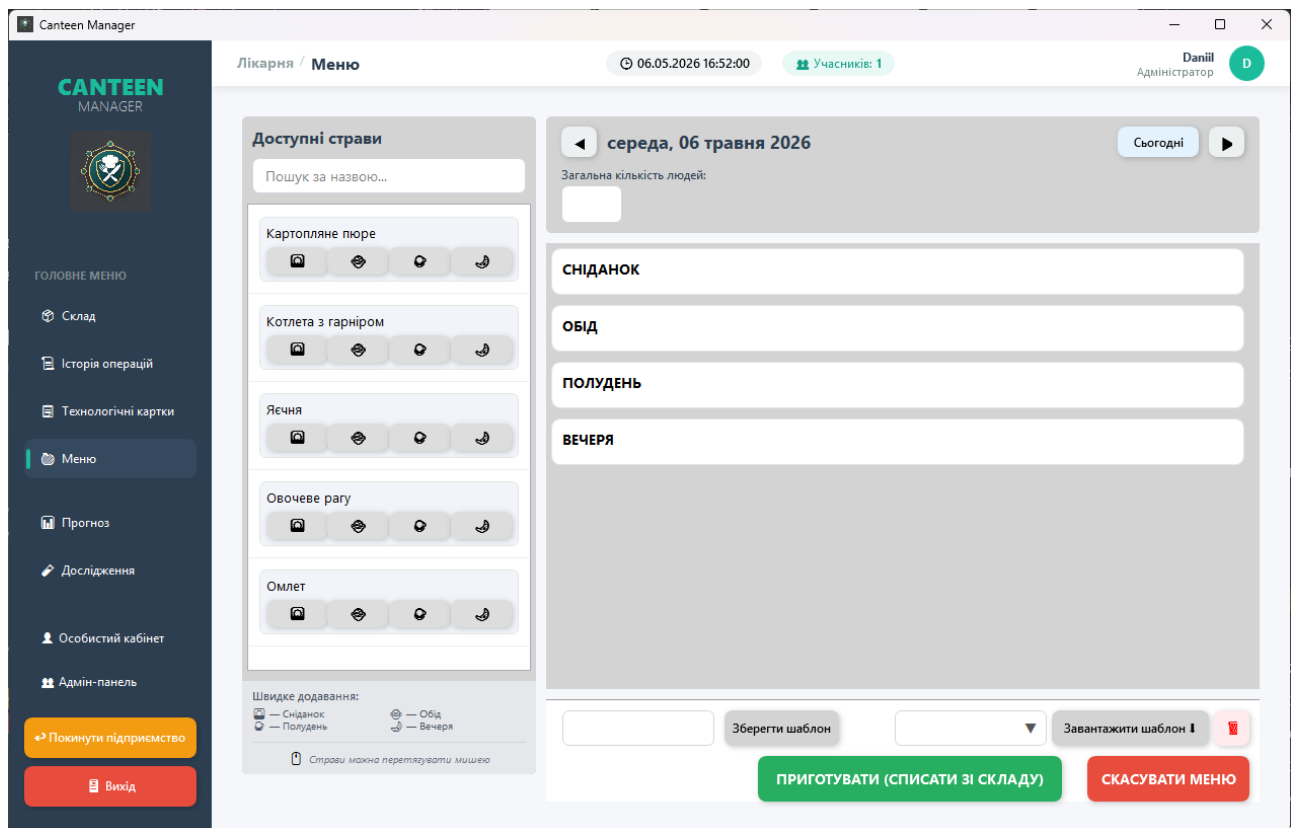


Рисунок 5.7 – Інтерфейс модуля “Меню”

Одночасно з підтвердженням приготування система формує меню-розкладку у форматі Excel згідно з типовою формою, затвердженою Наказом Міністерства фінансів України № 431 від 13.12.2022, що регламентує первинну документацію з обліку запасів у бюджетних установах (рис. 5.8–5.9, А.9–А.10) [2]. Звіт містить деталізацію страв та обсягів інгредієнтів на всю групу й може бути використаний як офіційний документ для бухгалтерського обліку.

Модуль “Історія операцій” надає повний журнал всіх складських операцій підприємства з можливістю фільтрації за діапазоном дат (рис. 5.10, А.11). Кожен запис містить найменування та одиницю виміру продукту, залишок до та після операції, обсяг зміни, тип операції (Надходження, Списання, Списання (Меню)), дату й час, ціну на момент операції, загальну суму та коментар. Дані оновлюються в режимі реального часу з інтервалом 5 секунд, що забезпечує актуальність при одночасній роботі кількох користувачів.

З

А

Т

В

Е

Р

Д

Н

Е

Н

О

Наказ Міністерства фінансів України
13 грудня 2022 року № 431

Ідентифікаційний код ЄДРПОУ:

З

А

Т

В

Е

Р

Д

Н

Ю

Ю

(посада)

(підпис, власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«__» _____ 20__ року

(місце складання)

Меню-вимога на видачу продуктів харчування
на «11» травень 2026 р.

Кількість одержувачів харчування 232 осіб, в тому числі:

Персонал (кільк. осіб)	У груп					
	кільк. осіб					
	Планова вартість					
	Сума					

Планова сума ____ грн ____ коп.

Найменування продуктів	Одиниця виміру	Кількість продуктів харчування, які підлягають закладці						Вартість за одиницю, грн	Сума, грн
		сніданок	обід	полуденок	вечеря	персонал	усього		
Картопля	г	46 400			23 200		69 600	30.00	2088.00
М'ясо яловиче	г		18 560				18 560	300.00	5568.00
Молоко	мл	34 800					34 800	70.00	2436.00
Морква	г				18 560		18 560	50.00	928.00
Олія соняшникова	мл	2 320	2 320	1 160	2 320		8 120	100.00	812.00
Тестовий продукт 1	г							11.00	
Тестовий продукт 2	мл							13.00	
Тестовий продукт 3	шт							31.00	
Тестовий продукт 4	мл							13.00	
Тестовий продукт 5	шт							16.00	
Тестовий продукт 6	г							12.00	
Тестовий продукт 7	мл							23.00	
Тестовий продукт 8	г							42.00	

Рисунок 5.8 – Меню-розкладка у форматі Excel згідно з Наказом Мінфіну №431 (перша сторінка)

Продовження таблиці

Найменування продуктів	Одиниця виміру	Кількість продуктів харчування, які підлягають закладці						Вартість за одиницю, грн	Сума, грн
		сніданок	обід	полуденок	вечеря	персонал	усього		
Тестовий продукт 9	г							22.00	
Хліб	г		6 960				6 960	50.00	348.00
Цибуля	г		2 320		6 960		9 280	40.00	371.20
Яйце куряче	шт	696		464			1160	5.00	5800.00
Кількість порцій		232	232	232	232				
Вихід — вага порцій (брутто, г/мл) / шт		83 520 / 696	30 160 / 0	1 160 / 464	51 040 / 0			Планова сума:	18351.20

Лікар (дієтоетра):

(підпис)

(власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Прийняв:

(посада)

(підпис)

(власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Видав:

(посада)

(підпис)

(власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рисунок 5.9 – Меню-розкладка у форматі Excel згідно з Наказом Мінфіну №431 (друга сторінка)

Canteen Manager

CANTREENMANAGER

ГОЛОВНЕ МЕНЮ

Склад

Історія операцій

Технологічні карти

Меню

Прогноз

Дослідження

Особистий кабінет

Адмін-панель

Покликати підтримку

Вийді

Лікарня

Історія операцій

06.05.2026 16:52:28

Учасників: 1

Дані
Адміністратор

Період: 29.04.2026 по: 06.05.2026

Відобразити у: кг / л г / мл

Дата і час операції	Назва продукту	Од. вим.	Ціна за одиницю (грн)	Залишок на початок операції (біль-ста)	Залишок на кінець операції (біль-ста)	Вартість продукції на кінець операції (грн)	Тип операції	Користувач	Коментар	
06.05.2026 06:55	Яйце куряче	шт	5.00	30	+ 800	830	4000.00	Надходження	Депіл	Надходження (склад)
06.05.2026 06:13	Цибуля	кг	- 198	- 1.5	196.5	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 07.05.2026	
06.05.2026 06:13	Морква	кг	- 196	- 4	192	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 07.05.2026	
06.05.2026 06:13	Молоко	л	- 497.5	- 7.5	490	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 07.05.2026	
06.05.2026 06:13	Картопля	кг	- 485	- 15	470	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 07.05.2026	
06.05.2026 06:13	Олія соняшникова	л	- 98.5	- 1.25	97.25	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 07.05.2026	
06.05.2026 06:13	Яйце куряче	шт	- 1 000	- 250	750	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 07.05.2026	
06.05.2026 06:09	Яйце куряче	шт	5.50	1 100	- 100	1 000	-	Списання	Депіл	Списання (склад)
06.05.2026 06:09	Яйце куряче	шт	5.50	100	+ 1 000	1 100	5500.00	Надходження	Депіл	Надходження (склад)
06.05.2026 06:08	Морква	кг	- 200	- 4	196	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
06.05.2026 06:08	Молоко	л	- 500	- 2.5	497.5	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
06.05.2026 06:08	Картопля	кг	- 500	- 15	485	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
06.05.2026 06:08	Цибуля	кг	- 200	- 2	198	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
06.05.2026 06:08	Хліб	кг	- 100	- 1.5	98.5	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
06.05.2026 06:08	М'ясо куряче	кг	- 500	- 4	496	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
06.05.2026 06:08	Олія соняшникова	л	- 100	- 1.5	98.5	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
06.05.2026 06:08	Яйце куряче	шт	- 200	- 100	100	-	Списання (Меню)	Депіл	Списання по меню на 06.05.2026	
29.04.2026 18:39	Морква	кг	50.00	0	+ 200	200	10000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення
29.04.2026 18:39	Цибуля	кг	40.00	0	+ 200	200	8000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення
29.04.2026 18:39	Яйце куряче	шт	5.00	0	+ 200	200	1000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення
29.04.2026 18:39	Олія соняшникова	л	100.00	0	+ 100	100	10000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення
29.04.2026 18:38	Хліб	кг	50.00	0	+ 100	100	5000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення
29.04.2026 18:38	М'ясо куряче	кг	300.00	0	+ 500	500	150000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення
29.04.2026 18:37	Картопля	кг	30.00	0	+ 500	500	15000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення
29.04.2026 18:37	Молоко	л	70.00	0	+ 500	500	35000.00	Надходження	Депіл	Параванне створення

Рисунок 5.10 – Інтерфейс модуля “Історія операцій”

Модуль “Прогноз” здійснює автоматичний розрахунок плану закупівель на основі фактичних даних списань за останні 7 унікальних дат меню (рис. 5.11, А.12). Для кожного продукту обчислюється тижнева, місячна, квартальна, піврічна та річна прогнозовані потреби, рекомендований обсяг закупівлі та орієнтовна вартість. Сформований план може бути експортований у файл Excel з деталізованим переліком позицій, кількостей та вартостей.

Модуль “Дослідження” дозволяє провести імітаційне моделювання й порівняти три моделі управління запасами на даних поточного підприємства. Опис цього модуля наведено у підрозділі 5.5.

Наведені рисунки створюють загальне уявлення про інтерфейс розробленої інформаційної системи та дозволяють простежити типовий робочий процес користувача – від реєстрації до прогнозування закупівель і проведення наукового експерименту.

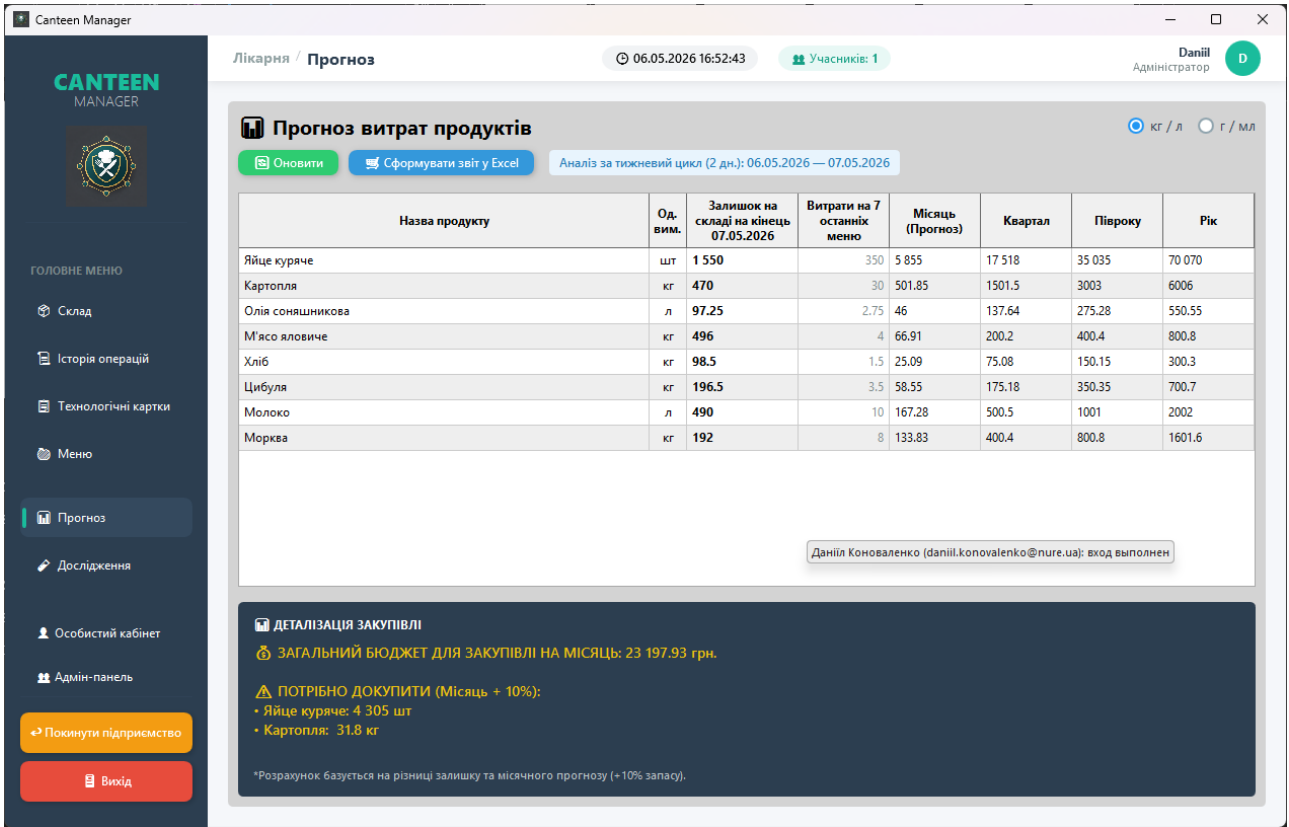


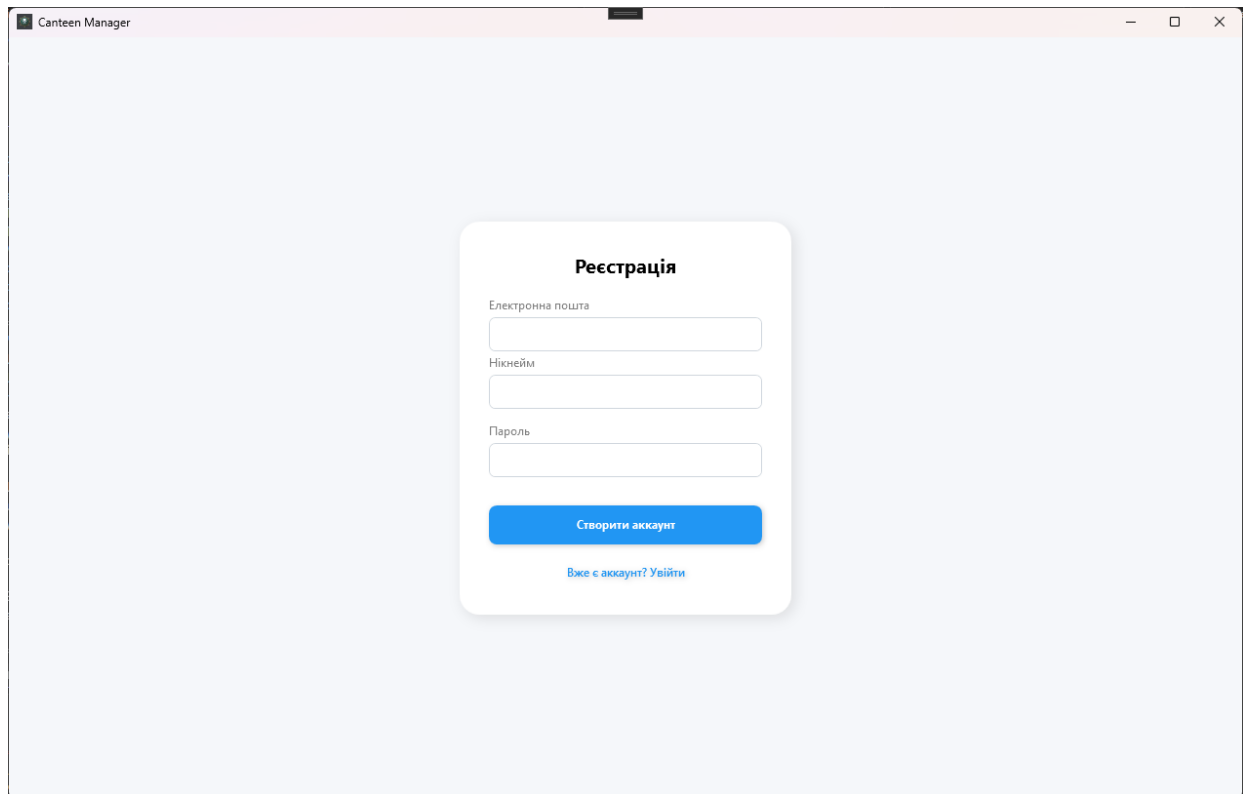
Рисунок 5.11 – Інтерфейс модуля “Прогноз”

Окремо доцільно навести допоміжні екрани системи, які користувач відвідує переважно одноразово при першому використанні.

На рисунку 5.12 наведено вікно реєстрації нового облікового запису з полями для електронної пошти, псевдоніма та пароля; система валідує формат адреси та вимоги до пароля (мінімум 6 символів і обов’язкова наявність цифри) (рис. А.13).

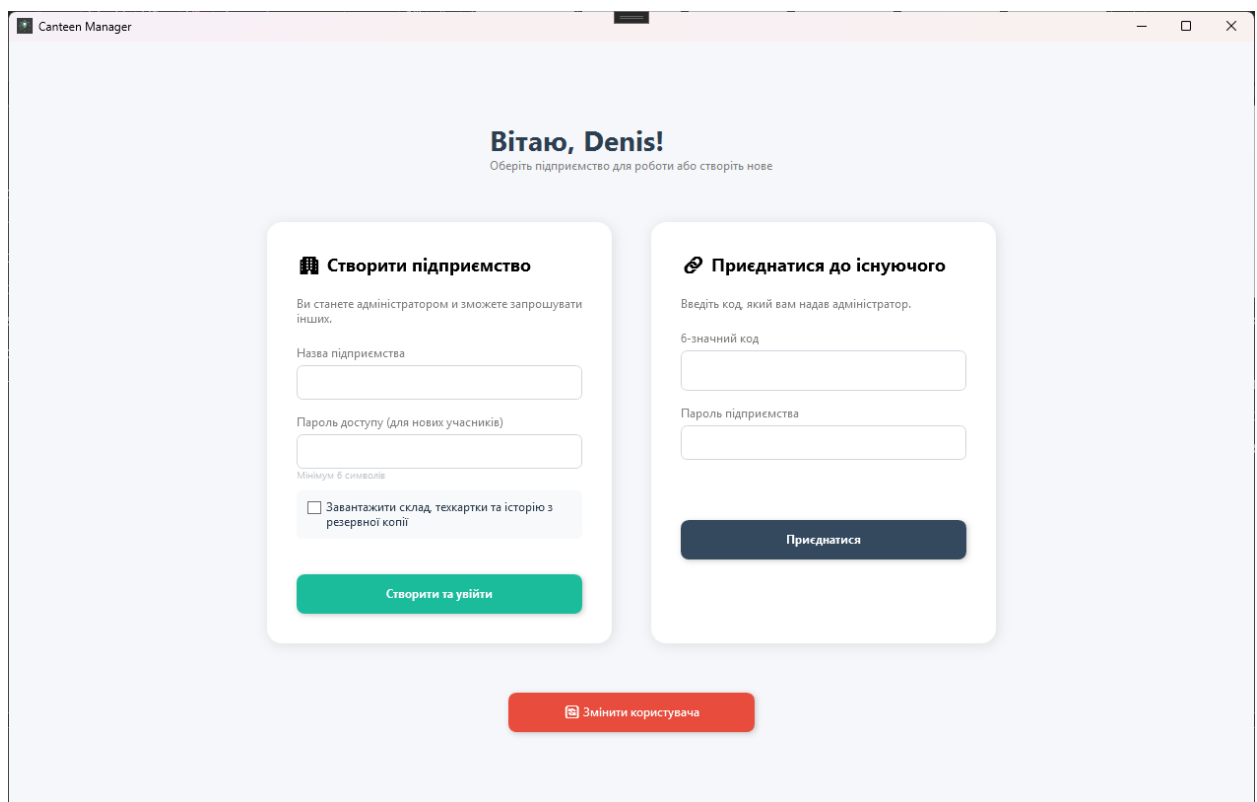
Після успішної автентифікації користувачу пропонується вибір – створити нове підприємство (з автоматичним призначенням ролі Адміністратора та генерацією шестисимвольного коду-запрошення) або приєднатися до існуючого підприємства за кодом-запрошенням і паролем доступу.

На рисунку 5.13 наведено інтерфейс цього кроку (рис. А. 16).



The image shows a web browser window titled "Canteen Manager". In the center, there is a white rounded rectangle containing the registration form. The form has the title "Реєстрація" (Registration) in bold. Below the title are three input fields: "Електронна пошта" (Email), "Нікнейм" (Nickname), and "Пароль" (Password). Below these fields is a blue button labeled "Створити акаунт" (Create account). At the bottom of the form, there is a link that says "Вже є акаунт? Увійти" (Already have an account? Log in).

Рисунок 5.12 – Вікно реєстрації нового облікового запису



The image shows a web browser window titled "Canteen Manager". The main heading is "Вітаю, Denis!" (Hello, Denis!) with a subtitle "Оберіть підприємство для роботи або створіть нове" (Choose a company for work or create a new one). There are two main options presented in white rounded rectangles. The left option is "Створити підприємство" (Create company), which includes a description, input fields for "Назва підприємства" (Company name) and "Пароль доступу (для нових учасників)" (Access password (for new participants)), a note "Мінімум 6 символів" (Minimum 6 symbols), a checkbox for "Завантажити склад, техкартки та історію з резервної копії" (Load inventory, technical cards and history from backup), and a green button "Створити та увійти" (Create and log in). The right option is "Приєднатися до існуючого" (Join existing), which includes a description, a 6-digit code input field, a password input field, and a dark blue button "Приєднатися" (Join). At the bottom center, there is a red button labeled "Змінити користувача" (Change user).

Рисунок 5.13 – Вікно створення підприємства або приєднання до існуючого

Модуль “Особистий кабінет” (рис. 5.14, А. 16) дозволяє користувачу переглянути та редагувати власні облікові дані (псевдонім, електронну пошту, пароль), а також побачити перелік підприємств, до яких він приєднаний, з відповідними ролями. Тут же доступна функція виходу з облікового запису.

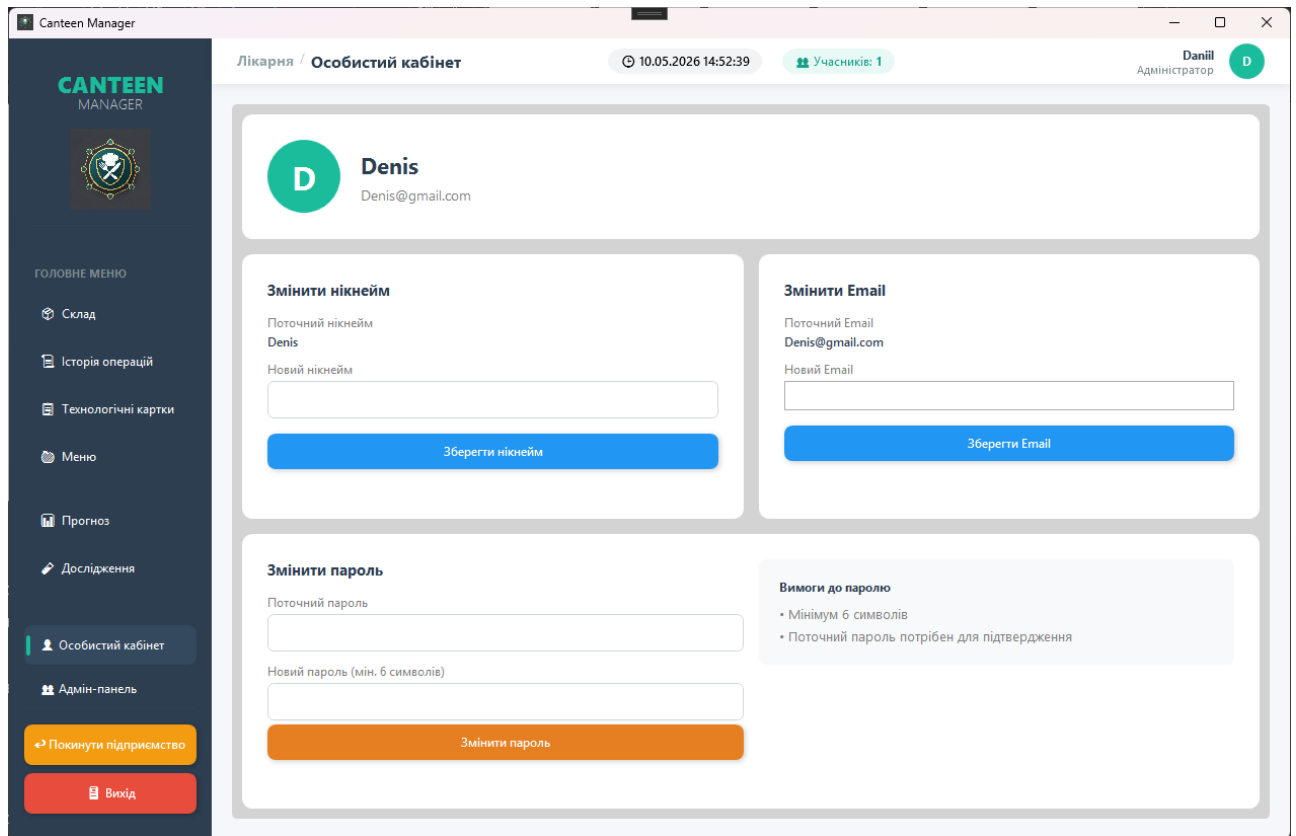


Рисунок 5.14 – Інтерфейс модуля “Особистий кабінет”

Модуль “Адмін-панель” (рис. 5.15, А.16) доступний виключно користувачам з роллю Адміністратор і призначений для управління складом учасників підприємства: перегляду переліку учасників із зазначенням їхніх ролей, зміни ролі учасника, видалення учасника з підприємства, а також для перегляду коду-запрошення та паролю доступу до підприємства, які надаються новим співробітникам.

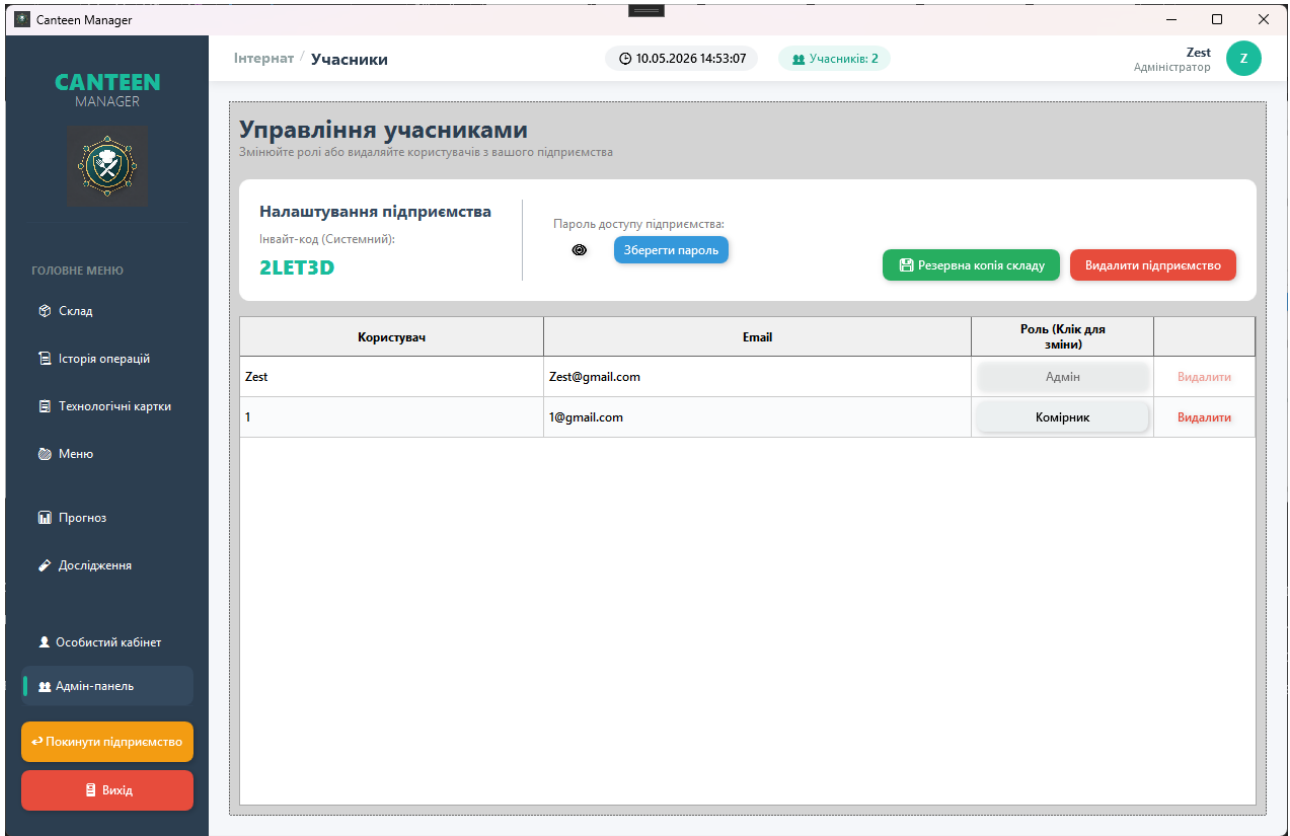


Рисунок 5.15 – Інтерфейс модуля “Адмін-панель”

Розглянуті у цьому підрозділі екрани охоплюють повний робочий цикл користувача інформаційної системи – від реєстрації облікового запису та приєднання до підприємства до проведення наукового експерименту з порівняння моделей управління запасами. Інтерфейс розроблено з акцентом на простоту й послідовність робочих процесів, що дозволяє адміністративному персоналу закладу харчування швидко опанувати роботу із системою без додаткового спеціалізованого навчання.

6 ТЕСТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

6.1 Тестування функціональних можливостей системи

Тестування функціональних можливостей системи проведено методом ручного функціонального тестування за сценаріями, що охоплюють усі модулі та ролі користувачів. Для кожного модуля розроблено набір тест-кейсів, що перевіряють як типові сценарії використання (happy path), так і граничні випадки та обробку помилок.

Модуль автентифікації перевірено на коректність реєстрації з валідацією формату електронної пошти та вимог до пароля (мінімум 6 символів, обов'язкова наявність цифри), вхід за адресою електронної пошти та за псевдонімом, створення підприємства з автоматичним призначенням ролі Адміністратора, приєднання до підприємства за кодом-запрошенням та паролем, зміну ролей учасників та видалення учасників з автоматичним завершенням їх сеансу.

Модуль складського обліку протестовано на операції додавання продуктів з перевіркою автоматичного поповнення залишку при збігу назви, надходження та списання з фіксацією в архіві, м'яке видалення зі збереженням посилальної цілісності, а також оптимістичний паралелізм – при одночасному редагуванні одного продукту двома користувачами система коректно виявляє конфлікт та повідомляє про нього.

Модуль технологічних карт перевірено на створення, редагування та видалення рецептур з валідацією заповненості інгредієнтів (блокування збереження при нульових значеннях бруто або нетто), автоматичне обчислення сумарного нетто та коректне завантаження пов'язаних даних через eager loading.

Модуль планування меню протестовано на формування меню з чотирьох прийомів їжі, перевірку обмеження горизонту планування (не більше 7 днів вперед), блокування повторного створення меню на ту саму дату, атомарне

списання інгредієнтів з перевіркою достатності, анулювання меню з повним відновленням списаних залишків та видаленням записів з архіву, збереження та завантаження шаблонів меню, а також автоматичний експорт меню-розкладки у формат Excel.

Модуль прогнозування закупівель протестовано на коректність розрахунку при різній кількості накопичених дат меню (від 1 до 7), правильність нормалізації тижневої потреби, точність обчислення місячного прогнозу, квартального та річного, коректність визначення обсягу закупівлі з урахуванням поточних залишків, правильність розрахунку середньої ціни на основі останніх операцій надходження та коректність експорту плану закупівель у формат Excel.

6.2 Експериментальне дослідження ефективності моделі управління запасами

Для порівняльної оцінки ефективності моделей управління запасами проведено імітаційне моделювання закупівельного циклу на даних, що відповідають реальним умовам функціонування закладу харчування. У дослідженні порівнюються три моделі: класична модель EOQ (формула Вілсона), модель (R, S) з фіксованим інтервалом перегляду та запропонована модифікована модель на основі технологічних карт, описана у розділі 3.

Вхідні дані експерименту сформовано на основі інформації, накопиченої у системі CanteenManager: 8 продуктів харчування різних категорій (м'ясо, молочні продукти, овочі, бакалія, крупи), 5 технологічних карт страв та меню на 14 операційних днів для 250 осіб. Дані включають фактичні залишки на складі, норми закладки бруutto з технологічних карт та історію складських операцій.

Рисунок 6.1 ілюструє загальний вигляд модуля дослідження у програмі (рис. А.17).

Для кожної з трьох моделей виконується покрокова симуляція закупівельного циклу протягом усього експериментального періоду. На

кожному кроці t алгоритм визначає потребу $D_i(t)$ у кожному продукті і на основі меню дня, оцінює поточний залишок $S_i(t)$, приймає рішення про обсяг замовлення $Q_i(t)$ згідно з правилами відповідної моделі та обчислює новий залишок після списання. Усі три моделі працюють на одних і тих самих вхідних даних, що забезпечує коректність порівняння.

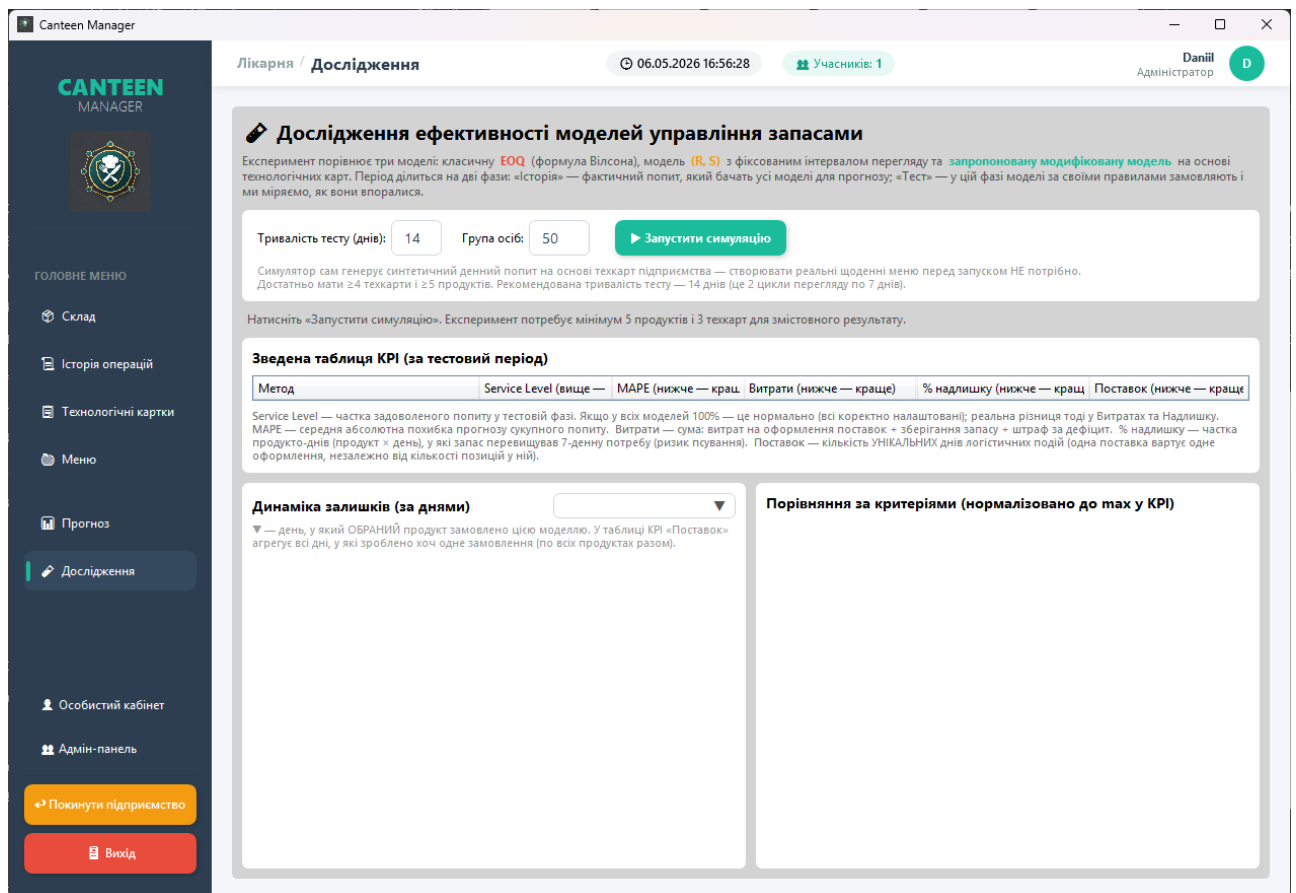


Рисунок 6.1 – Вікно модуля порівняльного аналізу моделей

Для класичної моделі EOQ оптимальний обсяг замовлення Q^* розраховується за формулою (1.2) з використанням середньоденного попиту D_{avg_i} за весь експериментальний період. Замовлення ініціюється при досягненні точки перезамовлення ROP . Витрати на замовлення K та зберігання h задаються як параметри моделі.

Для моделі (R, S) інтервал перегляду R фіксується на рівні 7 днів (тижневий цикл закупівель, що відповідає практиці закладів харчування). Цільовий рівень

S розраховується за формулою (1.4) з урахуванням *lead time* L та страхового запасу SS , визначеного за формулою (3.4).

Для запропонованої моделі обсяг закупівлі Q_need_i визначається за формулою (3.8) як нестача до місячної потреби M_i , розрахованої на основі нормалізованої тижневої потреби W_i з коефіцієнтом страхового запасу $K = 1,1$.

Експеримент проводиться у дві послідовні фази на одних і тих самих синтетично сформованих даних. У фазі “Історія” (рівно 7 днів) всі моделі лише спостерігають за фактичним попитом, замовлень не виконують. Стартовий запас для всіх трьох моделей однаковий і дорівнює $1,5 * \text{сукупний попит за історичну фазу}$ ($\approx 10,5$ -денний запас) – це гарантує, що різниця у результатах виникає лише через рішення моделей, а не через стартову позицію. У фазі “Тест” (за замовчуванням 14 днів) кожна модель за своїми правилами ухвалює рішення про закупівлі, а ми вимірюємо її ефективність.

Денний попит у обох фазах формується синтетично як комбінація 4-х випадково обраних технологічних карт із каталогу підприємства, помножених на кількість осіб у групі (з варіацією $\pm 25\%$ для моделювання реальних коливань явки). Це дозволяє провести експеримент навіть на нещодавно введеній у експлуатацію системі без потреби накопичувати кількомісячну історію реальних меню.

Порівняння моделей проводиться за п’ятьма критеріями ефективності, що відповідають реальним показникам якості управління запасами і реалізовані у KPI-таблиці інтерфейсу модуля.

- Service Level (рівень обслуговування) – частка фактично задоволеного попиту у тестовій фазі (формула 5.1). Чим вище – тим краще; 100 % означає, що жоден інгредієнт не був у дефіциті у жодний день тесту.

- середня абсолютна відсоткова похибка прогнозу MAPE – точність прогнозу сукупного попиту по кожному продукту (5.2). Чим менше похибка – тим точніший прогноз. Запропонована модель здатна досягати MAPE близького до нуля, оскільки обчислює попит безпосередньо з планового меню, а не з

історичної статистики.

- загальні витрати C_{total} – сума витрат на оформлення поставок, зберігання запасу та штрафу за дефіцит (формула 5.3). Це інтегральний показник економічної ефективності моделі.

- частка надлишку ($ExcessRate$) – частка продукто-днів, у які запас перевищував 7-денну потребу (5.4). Це індикатор ризику псування продуктів через надмірне накопичення.

- кількість поставок ($N_{deliveries}$) – кількість унікальних днів, у які була зроблена хоча б одна поставка (5.5). Це показник логістичного навантаження: одна поставка вартує одне оформлення документів і один приїзд постачальника, незалежно від кількості позицій у ній.

Параметри експерименту: $K = 200$ грн (вартість оформлення однієї поставки), $h = 0.005$ (добова ставка зберігання, тобто 0.5 % від ціни на добу), $\pi = 2$ (коефіцієнт штрафу за нестачу), $L = 1$ день (час виконання замовлення), $R = 7$ днів (інтервал перегляду для моделей (R, S) і запропонованої).

Рисунок 6.2 демонструє динаміку залишків для одного з продуктів при застосуванні трьох моделей (рис. А.18).

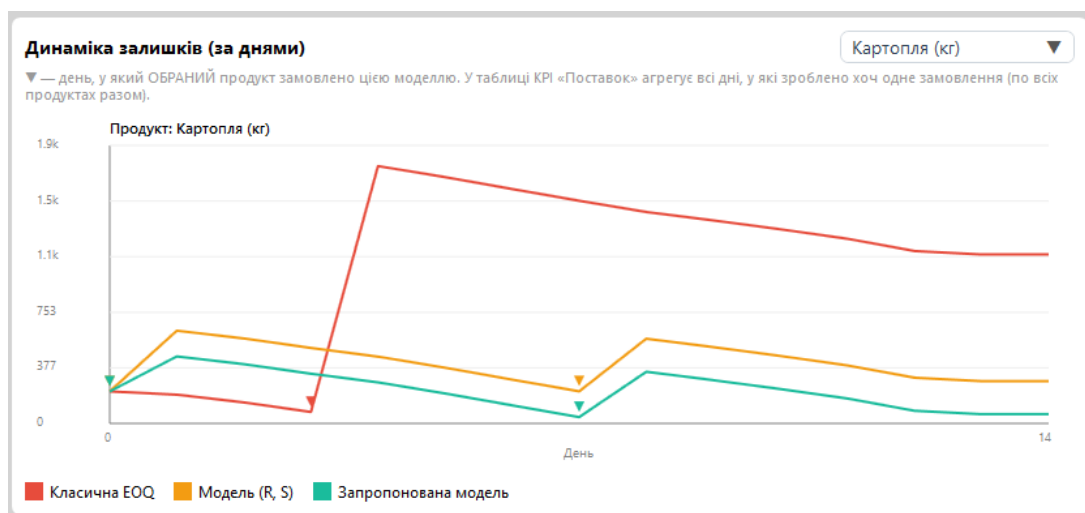


Рисунок 6.2 – Динаміка залишків продукту при застосуванні різних моделей управління запасами

Результати імітаційного моделювання зведено у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати порівняння моделей управління запасами

Критерій	Класична EOQ	Модель (R, S)	Запропонована модель
Service Level, %	100	100	100
MAPE, %	20.9	20.9	0
Загальні витрати, грн	18377	6348	4080
% надлишку (продукто-днів)	71	17	0
Кількість поставок	2	2	2

На рисунку 6.3 наведено стовпчикову діаграму порівняння моделей за основними критеріями ефективності (рис. А.19).

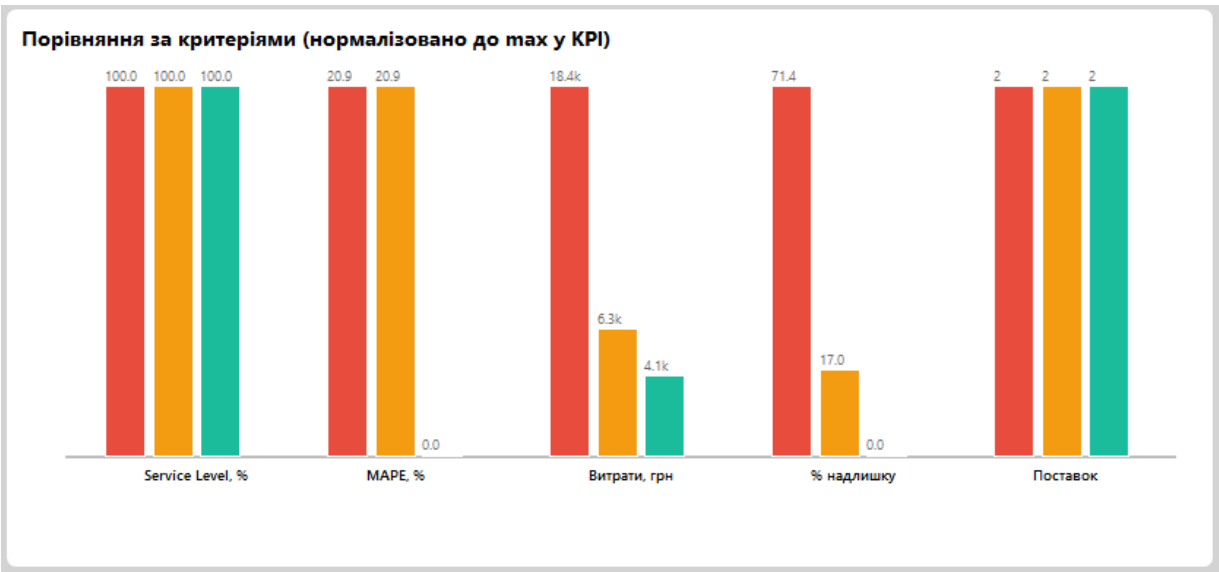


Рисунок 6.3 – Порівняння моделей за критеріями ефективності

Аналіз результатів показує, що класична модель EOQ демонструє найбільшу кількість дефіцитних ситуацій, оскільки вона базується на припущенні сталого попиту і не враховує щоденних коливань, обумовлених

різним складом меню. Модель (R, S) забезпечує кращу стабільність завдяки регулярному перегляду, однак потребує ручного визначення параметрів R та SS і може накопичувати надмірні залишки для швидкопсувних продуктів. Запропонована модифікована модель показує найкращі результати за критеріями точності прогнозу та мінімізації дефіцитних ситуацій, оскільки розраховує попит безпосередньо з технологічних карт і автоматично адаптується до змінного складу меню.

Для швидкопсувних продуктів (молоко, м'ясо, кисломолочні вироби) перевага запропонованої моделі є найбільш вираженою, оскільки обмеження (3.15) на максимальний залишок автоматично скорочує обсяг замовлення для продуктів з коротким терміном придатності, чого не забезпечують ні EOQ, ні (R, S) модель.

6.3 Аналіз отриманих результатів

Проведене імітаційне моделювання дозволяє сформулювати наступні висновки щодо ефективності досліджених моделей управління запасами в умовах закладів харчування.

По-перше, класична модель EOQ виявляється найменш придатною для аналізованого класу задач. Її головним обмеженням є припущення про сталий неперервний попит D , тоді як у закладах харчування попит є дискретним і змінюється від дня до дня залежно від складу меню. За результатами експерименту $MARE$ класичної EOQ становить 20.9 %, що більше, ніж у запропонованої моделі. Крім того, EOQ не враховує термін придатності продуктів, що призводить до накопичення надмірних залишків швидкопсувних товарів.

По-друге, модель (R, S) з фіксованим інтервалом перегляду є концептуально ближчою до практики закладів харчування, де закупівлі прив'язані до певних днів тижня. Однак вона потребує ручного визначення

параметрів R та SS , що є суттєвим обмеженням для установ без окремого аналітичного персоналу. $MAPE$ моделі (R, S) становить 20.9 %, $Service Level$ – 100 %, продукто-днів з надлишком – 17 %.

По-третє, запропонована модифікована модель на основі технологічних карт демонструє найкращі результати за сукупністю критеріїв. $MAPE$ становить 0 %, що є найнижчим показником серед досліджених моделей. $Service Level$ досягає 100 %, загальні витрати становлять 4080 грн, що на 450 % менше порівняно з EOQ та на 35 % менше порівняно з (R, S) .

Ключовою перевагою запропонованої моделі є повна інтегрованість із даними інформаційної системи: всі параметри обчислюються автоматично з архіву операцій без необхідності ручного введення статистичних параметрів. Це робить її особливо придатною для бюджетних установ (лікарні, школи, інтернати), де відсутній окремий аналітичний персонал.

Коефіцієнт страхового запасу $K = 1,1$ підтверджено як оптимальний для типових умов: він покриває відхилення кількості осіб до 10 % без створення надмірних залишків, які могли б призвести до псування. Експеримент з варіацією K від 1,0 до 1,3 показав, що при $K < 1,05$ зростає ризик дефіциту, а при $K > 1,15$ – обсяг надмірних залишків.

Обмеженням поточної реалізації є відсутність партійного обліку термінів придатності, що унеможлиблює автоматичну реалізацію стратегії FEFO. Також не враховується дискретність партій постачання та сезонна варіація коефіцієнтів відходів. Ці обмеження визначено як напрямки подальшого розвитку моделі та програмної системи.

Таким чином, результати порівняльного аналізу експериментально підтверджують, що модифікована модель на основі технологічних карт є найбільш ефективною серед досліджених підходів для застосування у закладах харчування і забезпечує найкращий баланс між мінімізацією закупівельного бюджету, гарантованим покриттям потреби та зменшенням ризику псування продуктів.

6.4 Впровадження програмного забезпечення

Впровадження системи CanteenManager у закладі харчування передбачає наступну послідовність етапів. На першому етапі виконується розгортання серверу бази даних Microsoft SQL Server у локальній мережі закладу та налаштування рядка підключення у файлі appsettings.json кожного клієнтського робочого місця. При першому запуску застосунок автоматично створює структуру бази даних за допомогою механізму міграцій EF Core.

На другому етапі адміністратор створює підприємство в системі, після чого генерується унікальний шестисимвольний код-запрошення. Цей код та пароль доступу передаються іншим співробітникам для приєднання до підприємства. Адміністратор призначає відповідні ролі: Комірник для працівників складу, Дієт-сестра для відповідальних за планування меню, Гість для працівників, яким потрібен лише перегляд даних.

На третьому етапі виконується первинне наповнення бази даних: внесення номенклатури продуктів з поточними залишками, створення технологічних карт страв відповідно до чинних рецептур закладу та, за бажанням, збереження типових комбінацій страв як шаблонів меню для прискорення щоденного планування.

Система не потребує спеціалізованого серверного обладнання: SQL Server може бути розгорнуто на одному з робочих комп'ютерів закладу або на виділеному сервері. Архітектура не накладає обмежень на подальше масштабування – перехід до хмарного розгортання з виділенням HTTP API не потребує переписування бізнес-логіки. Звіти, сформовані системою (меню-розкладка, план закупівель), зберігаються у форматі Excel, доступному для відкриття стандартними офісними засобами.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності управління запасами продуктів харчування у закладах харчування соціальної сфери шляхом розробки модифікованої моделі на основі технологічних карт страв та її інтеграції до спеціалізованої інформаційної системи.

Основні результати роботи можна узагальнити у наступних висновках.

За результатами аналізу предметної галузі встановлено, що управління запасами продуктів харчування у закладах соціальної сфери має ряд специфічних рис, які ускладнюють пряме застосування класичних моделей теорії запасів: дискретний характер попиту, формування потреби в інгредієнтах через технологічні карти страв, обмежений термін придатності продуктів, нормативні вимоги до первинної документації та необхідність повного покриття потреби. Розглянуто три класи існуючих моделей – економічно вигідного замовлення (EOQ), моделі періодичного перегляду (R, S) та моделі для продуктів, що псуються – і проаналізовано межі їх застосовності у середовищі закладів харчування.

За результатами існуючих програмних рішень для автоматизації обліку харчування (комплексні ERP-системи на базі BAS, спеціалізовані рішення для бюджетного сектору “Парус-Харчування”, KBS, хмарні POS-системи та закордонні аналоги) виявлено, що для невеликих закладів соціальної сфери оптимальним є створення спеціалізованої інформаційної системи, яка поєднує простоту впровадження з відповідністю нормативним вимогам національного бюджетного обліку та автономністю роботи у локальній мережі. На цій основі сформульовано функціональні та нефункціональні вимоги до інформаційної системи управління харчуванням, у тому числі вимоги до модулів автентифікації, складського обліку, технологічних карт, планування меню,

архіву операцій, прогнозування закупівель та вимоги до продуктивності, надійності, безпеки, зручності використання та портативності.

Розроблено модифіковану модель управління запасами на основі технологічних карт страв, яка обчислює потребу в інгредієнтах безпосередньо зі складу затвердженого меню та кількості осіб, що харчуються, нормалізує її до стандартного тижневого циклу з урахуванням коефіцієнта страхового запасу та формує рекомендований обсяг закупівлі як нестачу до прогнозованої місячної потреби. Сформульовано критерії оптимальності та обмеження моделі: невід’ємність залишків, повне покриття денної потреби та обмеження максимального залишку відповідно до терміну придатності.

Проведено порівняльний аналіз розробленої моделі з класичною моделлю EOQ, моделлю (R, S) та моделями для продуктів, що псуються. Експериментально, шляхом імітаційного моделювання закупівельного циклу, підтверджено, що запропонована модель забезпечує однаково високий рівень обслуговування (Service Level) порівняно з класичними моделями. Кількісні результати порівняння: запропонована модель показує середню абсолютну похибку прогнозу на 20.9 % нижчу, ніж класична EOQ та модель (R, S) , при цьому загальні витрати скорочуються на 450 та 35 % відповідно, а кількість днів із надмірними залишками – на 71 та 17 % відповідно.

Спроектовано та реалізовано інформаційну систему CanteenManager – десктопний застосунок для операційної системи Windows на платформі .NET 10 із використанням Windows Presentation Foundation і шаблону MVVM. Архітектура системи побудована за принципами Clean Architecture з чітким розділенням шарів Domain, Application, Infrastructure та UI, що забезпечує можливість майбутнього винесення бізнес-логіки до окремого HTTP API-сервісу без переписування існуючого коду. Реалізовано всі основні функціональні модулі, включно з модулем дослідження ефективності моделей управління запасами, що інтегрує запропонований алгоритм та класичні моделі для прямого порівняння на даних реального підприємства.

Результати магістерської кваліфікаційної роботи впроваджуються у реально діючому психоневрологічному інтернаті, де розроблена інформаційна система використовується для автоматизації складського обліку, формування денного меню згідно з технологічними картами та прогнозування закупівель продуктів харчування. Впровадження дозволило зменшити трудомісткість ведення первинної документації та підвищити прозорість використання матеріальних ресурсів закладу.

За результатами кваліфікаційної роботи опубліковано тези на трьох наукових конференціях [31, 32, 33], у яких представлено основні теоретичні положення дослідження та практичні результати порівняльного аналізу моделей управління запасами.

Таким чином, поставлена мета магістерської кваліфікаційної роботи досягнута: на основі дослідження існуючих моделей теорії запасів розроблено модифіковану модель управління запасами для закладів харчування, її ефективність експериментально підтверджена шляхом імітаційного моделювання, а сама модель інтегрована до спеціалізованої інформаційної системи, що отримала впровадження у діючому закладі соціальної сфери.

Напрямами подальших досліджень можуть бути розробка математичних моделей і методів керування запасами з урахуванням множини показників якості [34–35].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Крикавський Є.В., Похильченко О.А., Фертч М. Управління ланцюгами поставок. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2021. 852 с.
2. Наказ Міністерства фінансів України від 13.12.2022 № 431 «Про затвердження типових форм з обліку та списання запасів суб'єктами державного сектору та порядку їх складання». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1692-22#Text> (дата звернення 22.02.2026).
3. Mishra U., Mashud A.H.M., Tseng M.-L., Wu J.-Z. Optimizing a Sustainable Supply Chain Inventory Model for Controllable Deterioration and Emission Rates in a Greenhouse Farm. *Mathematics*. 2021. Vol. 9, No. 5. P. 1–22.
4. Tiwari S., Cárdenas-Barrón L.E., Shaikh A.A., Goh M. Retailer's Optimal Ordering Policy for Deteriorating Items Under Order-Size Dependent Trade Credit and Complete Backlogging. *Computers & Industrial Engineering*. 2022. Vol. 139. P. 105–114.
5. Yadav D., Singh R., Kumar A., Sarkar B. Reduction of Waste and Carbon Emission Through the Selection of Items With Cross-Price Elasticity of Demand to Reduce Inventory. *Mathematics*. 2023. Vol. 11, No. 2. P. 422–441.
6. Shah N.H., Vaghela C.R. Economic Production Quantity Model for Deteriorating Items With Quadratic Demand Under Inflation. *International Journal of Management and Decision Making*. 2023. Vol. 22, No. 1. P. 45–61.
7. Dye C.-Y., Yang C.-T. Optimal Dynamic Pricing and Preservation Technology Investment for Deteriorating Products With Reference Price Effects. *Omega*. 2022. Vol. 62. P. 52–67.
8. Chen S.C., Teng J.-T., Skouri K. Economic Production Quantity Models for Deteriorating Items With Up-stream Full Trade Credit and Down-stream Partial Trade Credit. *International Journal of Production Economics*. 2021. Vol. 155. P. 302–309.
9. Antic S., Djordjevic Milutinovic L., Lisec A., Dynamic Discrete Inventory

Control Model with Deterministic and Stochastic Demand in Pharmaceutical Distribution. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 3. P. 1536–1552.

10. Alamri O.A. Theory and Methodology of an Inventory Model With Neutrosophic Numbers for Deteriorating Items Under Time-Linked Demand and Learning Effects. *Mathematics*. 2022. Vol. 10, No. 4. P. 693–712.

11. Безкоровайна Л. Особливості складського обліку продуктів харчування в бюджетних установах. *Медична бухгалтерія*. 2025. № 5. С. 18–24..

12. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering. Geneva: ISO, 2018. 104 p.

13. Martin R.C. Clean Architecture: A Craftsman’s Guide to Software Structure and Design. Prentice Hall, 2021. 432 p.

14. Lerman J., Miller R. Programming Entity Framework: DbContext. 2nd ed. O’Reilly Media, 2022. 362 p.

15. Jiang W., Agrawal N. Scalable Multi-Tenant SaaS Architecture Patterns with .NET. Microsoft Press, 2023. 318 p.

16. Stevenson W.J. Operations Management. 14th ed. McGraw-Hill Education, 2021. 896 p.

17. Sarkar B., Mridha B., Pareek S. A Sustainable Smart Multi-Type Biofuel Manufacturing with the Optimum Energy Utilization Under Flexible Production. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 332. P. 129869.

18. Wee H.M., Wang W.T., Cárdenas-Barrón L.E. An Inventory Model for Deteriorating Items With Quadratic Time-Varying Demand and Partial Backlogging. *Journal of Industrial and Management Optimization*. 2022. Vol. 18, No. 5. P. 3517–3535.

19. Kumar S., Sigroha M., Kumar K., Sarkar B. Manufacturing/Remanufacturing Based Supply Chain Management Under Advertisements and Fuzzy Flexibility. *RAIRO – Operations Research*. 2023. Vol. 56, No. 4. P. 2681–2700.

20. Battini D., Calzavara M., Otto A., Sgarbossa F. Preventing Waste in the

Food Supply Chain Through Traceability. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 234. P. 108044.

21. Chaudhary V., Kulshrestha R., Routroy S. State-of-the-Art Literature Review on Inventory Models for Perishable Products. *Journal of Advances in Management Research*. 2022. Vol. 19, No. 2. P. 176–209.

22. Lorentz H., Tenhiälä A., Maheshwari V. Digitalisation in Food Retail Supply Chains. *Supply Chain Forum: An International Journal*. 2023. Vol. 24, No. 1. P. 1–14.

23. Shenoy D., Rosas R. *Problems & Solutions in Inventory Management*. 2nd ed. Springer, 2022. 318 p.

24. Нечипоренко О.М., Іванченко Н.О. Автоматизація обліку харчування у лікувально-профілактичних закладах: методологічний аспект. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2023. № 7. С. 48–54.

25. Bodnar O., Kovalchuk V. Digitalization of Social Service Institutions in Ukraine: Challenges and Opportunities. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4, No. 3(118). P. 14–22.

26. Tavakkoli-Moghaddam R., Rabbani M., Babaei M. Inventory Management Optimization for Perishable Goods in Healthcare Supply Chains. *Computers & Operations Research*. 2023. Vol. 157. P. 106261.

27. Ostertagová E., Ostertag O., Kovác J. Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. *Applied Mechanics and Materials*. 2022. Vol. 611. P. 115–120.

28. Mishra U., Wu J.-Z., Sarkar B. A Sustainable Production-Inventory Model for a Controllable Carbon Emissions Rate Under Shortages. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 281. P. 124990.

29. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 18.11.2020 № 2675 «Про затвердження норм харчування у закладах охорони здоров'я та підпорядкованих МОЗ України закладах». URL: https://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2021/01/dokument-323_0_19-21-id1114848.pdf (дата звернення 09.03.2026).

30. Zaroni S., Zavanella L. Chilled or Frozen? Decision Strategies for Sustainable Food Supply Chains. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 243. P. 108314.

31. Коноваленко Д. Р., Безкоровайний В. В. Керування запасами в умовах інтервального визначення вхідних даних // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил безпеки і оборони : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (17 березня 2026 р., м. Харків). Харків : Нац. акад. НГУ, 2026. С. 472–474.

32. Коноваленко Д. Р. Оптимізація рівня запасів в умовах інтервального визначення вхідних даних / Наук. керівник В. В. Безкоровайний. XXX Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь у XXI столітті». 36. матеріалів форуму. Т. 6. Харків: ХНУРЕ, 2026. С. 443–445. URL: <https://drive.google.com/file/d/1PCw2oJTFSIE54p1x7vBew9Q22u6hpoFm/view> (дата звернення 12.05.2026).

33. Коноваленко Д. Р., Безкоровайний В. В. Моделювання процесу керування запасами в умовах інтервального визначення вхідних даних. Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій: Матеріали XXVI Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів (Одеса, 16-17 квітня 2026 р). Одеса: ОНТУ, 2026. С. 39–40.

34. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty. *Advanced Information Systems*, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38. URL: <http://ais.khpi.edu.ua/article/view/305462/297067> (дата звернення: 25.02.2026).

35. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. No 4 (14). P. 13–20. URL: <http://journals.uran.ua/itssi/article/view/ITSSI.2020.14.013> (дата звернення: 25.02.2026).