

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра Інформаційних управляючих систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розробка модуля «Управління запасами компонентів крові»
інформаційної системи центру служби крові

(тема)

Виконала:

здобувач 4 року навчання,
групи ІТУ-21-2

Дарина ЛИСЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні технології
управління

(повна назва освітньої програми)

Керівник: ст. викл. каф. ІУС Катерина ЧИРКОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ІУС



(підпис)

Костянтин ПЕТРОВ

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Інформаційних управляючих систем


Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні технології управління
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри 
(підпис)“ 19 ” травня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Лисенко Дарині Богданівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка модуля «Управління запасами компонентів крові»
інформаційної системи центру служби крові

затверджена наказом по університету від “ 19 ” травня 2025 р. № 370Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії “ 16 ” червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Результати предатестаційної практики, ордер про потребу
компонентів крові №28 наказом від 26.05.2025, форма про прогнозовану потребу закладу
охорони здоров'я, що надає послуги з трансфузії, в донорській крові та компонентах
крові, яку подають суб'єкту системи крові на 2025 рік, ордер про поставку компонентів
крові №120 наказом від 24.04.2025, постанова від 07.03.2025 №254 про питання
реалізації донорської крові та компонентів крові

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі Опис структурних особливостей
центру служби крові, опис взаємодії центру служби крові із закладами охорони здоров'я,
аналіз методів управління запасами компонентів крові та прогнозування, аналіз
існуючих інформаційних систем центру служби крові, формування завдання на розробку
модуля «Управління запасами компонентів крові», опис архітектури модуля на рівні
функцій, розробка й обґрунтування елементів інформаційної та математичної
забезпечуючої системи, розробка UX та UI рішень, синтез і обґрунтування засобів
захисту інформації від несанкціонованого доступу

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис організаційної структури та схеми взаємодії центру служби крові із закладами охорони здоров'я при управлінні запасами компонентів крові	19.05.2025 - 20.05.2025	Виконано
2	Аналіз методів управління запасами та методів прогнозування в контексті застосування для управління запасами компонентів крові	20.05.2025 - 25.05.2025	Виконано
3	Аналіз існуючих ІС центру служби крові	25.05.2025 - 26.05.2025	Виконано
4	Формування завдання на розробку модуля «Управління запасами компонентів крові»	26.05.2025 - 29.05.2025	Виконано
5	Опис архітектури об'єкта розробки на рівні функцій	29.05.2025 - 01.06.2025	Виконано
6	Розробка й обґрунтування елементів інформаційної забезпечуючої системи	01.06.2025 - 03.06.2025	Виконано
7	Розробка й обґрунтування елементів математичної забезпечуючої системи	03.06.2025 - 05.06.2025	Виконано
8	Розробка User Experience (UX) та User Interface (UI) рішень	05.06.2025 - 09.06.2025	Виконано
9	Синтез і обґрунтування засобів захисту інформації від несанкціонованого доступу	09.06.2025 - 10.06.2025	Виконано
10	Графічний матеріал кваліфікаційної роботи	10.06.2025 - 12.06.2025	Виконано
11	Оформлювання пояснювальної записки	12.06.2025	Виконано
12	Захист	18.06.2025	Виконано

Дата видачі завдання 19 травня 2025 р.

Здобувач



 (підпис)

Керівник роботи



 (підпис)

ст. викл. каф. ІУС Катерина ЧИРКОВА

_____ (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 108 с., 27 рис., 8 табл., 3 дод., 17 джерел.

АЛГОРИТМ, БАЗА ДАНИХ, ЗАПАСИ КОМПОНЕНТІВ КРОВІ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, МОДУЛЬ, МОНІТОРИНГ, ОБЛІК, УПРАВЛІННЯ, ЦЕНТР СЛУЖБИ КРОВІ.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є процес управління запасами компонентів крові в центрі служби крові.

Метою роботи є розробка модуля «Управління запасами компонентів крові» для автоматизації обліку, прогнозування потреб і логістики компонентів крові з мінімізацією втрат та прискоренням реагування на потреби медичних закладів. Використано методи аналізу бізнес-процесів, математичні моделі прогнозування (експоненційне згладжування) та управління запасами (FIFO, EOQ, JIT). Розроблено алгоритми обробки потреб із перерозподілом і оцінкою логістичних витрат, схему БД із сутностями для статусів та подій, а також комплекс заходів інформаційної безпеки. Результатом є інтегрований модуль із адаптивним UX/UI-інтерфейсом, що забезпечує наскрізний контроль та аналітику життєвого циклу компонентів крові. Новизна полягає у застосуванні математичних моделей прогнозування, а саме експоненційне згладження, методів управління запасами, а саме FIFO, JIT, EOQ та впровадженні гнучких сценаріїв взаємодії з медичними закладами залежно від обраного методу управління запасами компонентів крові з метою прискорення реагування на потреби та мінімізацією втрат компонентів крові через їх списання.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 108 pages, 27 figures, 8 tables, 3 appendices, 17 sources.

ALGORITHM, DATABASE, BLOOD COMPONENT STOCK, INFORMATION SYSTEM, MODULE, MONITORING, ACCOUNTING, MANAGEMENT, BLOOD SERVICE CENTER.

The object of the qualification work is the process of managing blood component stocks in the blood service center.

The purpose of the work is to develop a module "blood component stock management" to automate accounting, forecasting needs and logistics of blood components with minimizing losses and accelerating response to the needs of medical institutions. Business process analysis methods, mathematical forecasting models (exponential smoothing) and inventory management (FIFO, EOQ, JIT) were used. Algorithms for processing needs with redistribution and assessment of logistics costs, a database scheme with entities for statuses and events, as well as a set of information security measures were developed. The result is an integrated module with an adaptive UX/UI interface that provides end-to-end control and analytics of the life cycle of blood components. The novelty lies in the application of mathematical forecasting models, namely moving exponential smoothing, inventory management methods, namely FIFO, JIT, EOQ, and the implementation of flexible scenarios for interaction with medical institutions depending on the chosen method of managing blood component inventories in order to accelerate the response to needs and minimize losses of blood components due to their write-off.

ЗМІСТ

С.

Скорочення та умовні позначки.....	9
Вступ.....	10
1 Опис та аналіз структурних і функціональних особливостей центру служби крові.....	11
1.1 Опис організаційної структури центру служби крові.....	11
1.2 Опис схеми взаємодії центру служби крові з закладами охорони здоров'я при управлінні запасами компонентів крові	14
2 Огляд та аналіз сучасного стану та методів вирішення проблеми управління запасами компонентів крові	19
2.1 Аналіз методів управління запасами в контексті застосування для управління запасами компонентів крові	19
2.2 Аналіз методів прогнозування в контексті застосування для управління запасами компонентів крові	23
2.3 Аналіз існуючих ІС центру служби крові	25
3 Формування завдання розробки модуля «Управління запасами компонентів крові».....	29
3.1 Опис вимог до розробки модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС центру служби крові.....	29
3.2 Обґрунтування мети і критеріїв ефективності модуля «Управління запасами компонентів крові»	31
4 Опис архітектури розробки модуля «Управління запасами компонентів крові» на рівні функцій.....	35

4.1 Загальний підхід до архітектури модуля «Управління запасами компонентів крові».....	35
4.2 Опис основних функціональних блоків модуля «Управління запасами компонентів крові»	36
4.3 Схема взаємодії функціональних блоків модуля «Управління запасами компонентів крові»	38
4.4 Особливості функціональної архітектури модуля «Управління запасами компонентів крові»	40
5 Розробка й обґрунтування елементів інформаційної забезпечуючої системи	41
5.1 Класифікація інформації та опис об'єктів даних	41
5.2 Структура бази даних модуля «Управління запасами компонентів крові»	43
6 Розробка й обґрунтування елементів математичної забезпечуючої системи	45
6.1 Прогнозування потреби компонентів крові	45
6.2 Визначення критичних залишків компонентів крові.....	46
6.3 Алгоритм перерозподілу компонентів крові	47
6.4 Алгоритм роботи веб-додатку центру служби крові модуля «Управління запасами компонентів крові»	48
7 Розробка User Experience (UX) та User Interface (UI) рішень.....	52
7.1 Формування опису та задач персон цільової аудиторії	52
7.2 Опис вимог до користувацького інтерфейсу	54
7.3 Розробка загальної схеми користувацького інтерфейсу.....	56
8 Синтез і обґрунтування засобів захисту інформації від несанкціонованого доступу	57
8.1 Основні принципи захисту інформації.....	57
Висновки.....	60

Перелік джерел посилання	61
Додаток А Блок схеми роботи модуля «Управління запасами компонентів крові»	63
А.1 Вміст сутностей та характеристика полей схеми бази даних модуля «Управління запасами компонентів крові»	63
А.2 Алгоритм роботи модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС центру служби крові.....	71
Додаток Б Екранні форми модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС центру служби крові.....	80
Б.1 Екранні форми модуля «Управління запасами компонентів крові».....	80
Додаток В Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	91

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ДП – державне підприємство

IAC – інформаційна автоматизована система

IC – інформаційна система

IUC – інформаційних управляючих систем

XHURE – Харківський національний університет радіоелектроніки

ABO – система антигенів A і B

AES – Advanced Encryption Standard

BPMN – Business Process Modeling and Notation

EOQ – Economic Order Quantity

ER – Entity Relationship

FIFO – First In First Out

HTTPS – Hyper Text Transfer Protocol Secure

JIT – Just In Time

ML – Machine Learning

PDF – Portable Document Format

QR – Quick Response

REST – Representational State Transfe

SKU – Stock Keeping Unit

SMS – Short Message Service

TLS – Transport Layer Security

UI – User Interface

UX – User Experience

VPN – Virtual Private Network

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку систем охорони здоров'я особлива увага приділяється ефективності управління життєво важливими медичними ресурсами, а саме компонентами донорської крові [1]. Забезпечення своєчасного постачання компонентів крові до медичних закладів без її дефіциту або перевитрати є складним і критично важливим завданням, яке потребує впровадження сучасних інформаційних рішень.

В Україні потреба в цифровій трансформації служби крові є особливо актуальною в умовах воєнного стану, обмежених ресурсів і динамічної потреби. Більшість центрів служб крові все ще використовують застарілі або частково автоматизовані системи обліку запасів компонентів крові, які не дозволяють ефективно прогнозувати потреби, контролювати терміни придатності або оперативно реагувати на критичні ситуації. У зв'язку з цим постає потреба у створенні сучасного, адаптивного модуля, здатного забезпечити стабільність та точність управління запасами компонентів крові.

Метою роботи є розробка модуля «Управління запасами компонентів крові» в рамках інформаційної системи (ІС) центру служби крові, що дозволяє не тільки автоматизувати процес обліку, поповнення запасів компонентів крові та логістики, а впровадити прогнозування запасів компонентів крові з урахуванням міжнародного досвіду та локальних особливостей.

Галузь застосування розробленого модуля – медичні установи системи крові України, зокрема обласні та міські центри служби крові, які потребують впровадження інструментів для цифрового моніторингу запасів компонентів крові, аналітики потреб і планування постачання.

1 ОПИС ТА АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЦЕНТРУ СЛУЖБИ КРОВІ

1.1 Опис організаційної структури центру служби крові

Центр служби крові є спеціалізованим медичним підприємством, діяльність якого спрямована на забезпечення медичних закладів необхідними компонентами крові. Основною функцією центру є організація донорства, заготівля крові та її компонентів, їх лабораторне дослідження, зберігання та управління запасами компонентів крові.

Управління запасами – це процес, що включає прогнозування, організацію, контроль і регулювання обсягів компонентів крові з метою забезпечення оптимальної кількості компонентів крові внаслідок.

Розуміння факторів, що формують потребу та визначення об'єми заготівлі компонентів крові, що задовольняє цю потребу: оптимальний рівень, що забезпечує можливість запобігання утворенню значної кількості одиниць із терміном придатності, що закінчився [2].

Моніторинг запасів компонентів крові – це безперервний процес спостереження, аналізу та оцінки стану запасів, який дозволяє оперативно реагувати на зміни і запобігати виникненню дефіциту або надлишку компонентів крові.

До основних функцій центру служби крові входять:

- відбір і рекрутинг донорів;
- заготівля, переробка та зберігання компонентів крові;
- лабораторні дослідження та контроль якості компонентів крові;
- забезпечення медичних закладів необхідними компонентами крові за сформованими запитами та планово;
- прогнозування, управління та моніторинг запасів компонентів крові;
- організація транспортної логістики компонентів крові;
- забезпечення якості та відповідності компонентів крові встановленим

стандартам;

– забезпечення захисту даних центру служби крові та безперервний доступ.

Схема організаційної структури центру служби крові відображає чіткий розподіл повноважень і завдань між підрозділами, що забезпечує злагоджене функціонування закладу. Така структуризація дозволяє ефективно координувати всі процеси – від збору крові до лабораторного контролю крові і до логістики та управління запасами компонентів крові. На ілюстрації представлена схема що ілюструє підпорядкованість та взаємодію основних структурних одиниць центру служби крові (рисунок 1.1).

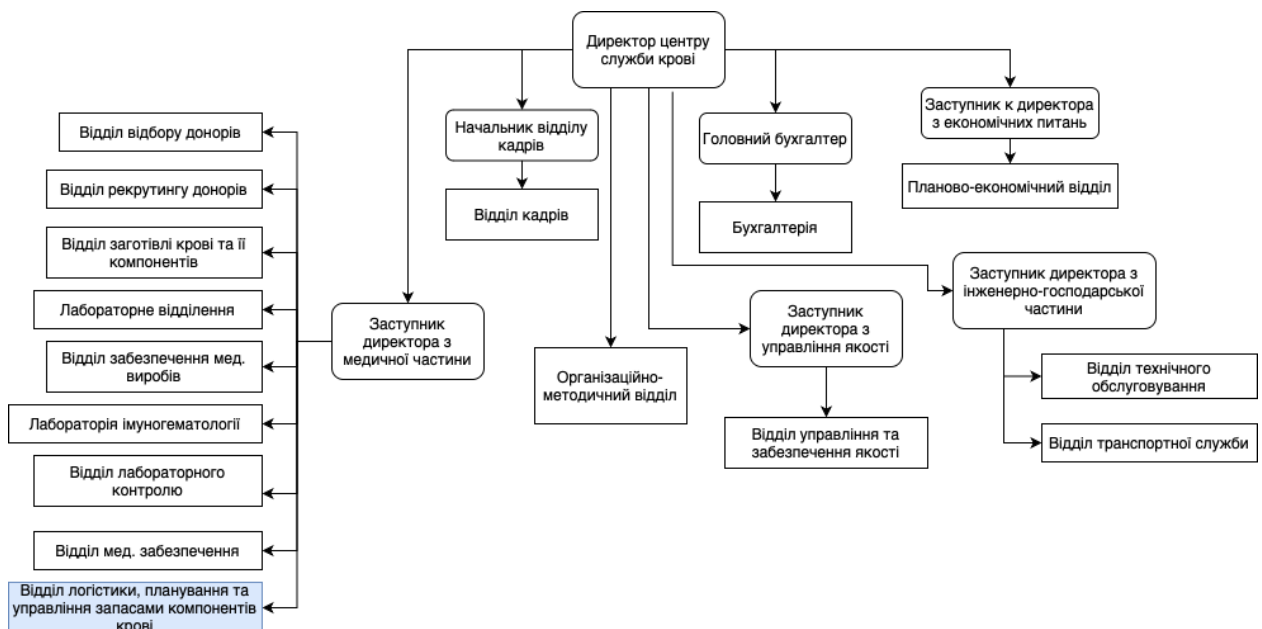


Рисунок 1.1 – Організаційна структура центру служби крові

Організаційна структура центру служби крові включає керівний рівень, представлений директором центру та його заступниками з різних напрямків діяльності, а також чисельні функціональні підрозділи. Директору безпосередньо підпорядковуються заступники з медичної частини, економічних питань, інженерно-господарської частини та управління якістю, а також головний бухгалтер і начальник відділу кадрів.

Заступник директора з економічних питань координує діяльність планово-економічного відділу, заступник з інженерно-господарської частини відповідає за технічне обслуговування і транспортну службу, а заступник з управління якістю керує організаційно-методичним відділом та відділом управління забезпечення якості компонентів крові.

Заступнику директора з медичної частини підпорядковані підрозділи, що займаються відбором і рекрутингом донорів, заготівлею крові та її компонентів, лабораторні підрозділи (зокрема лабораторія імуногематології, лабораторного контролю), відділи забезпечення медичними виробами та медичного забезпечення. Важливим елементом є відділ логістики, планування та управління запасами компонентів крові до медичних установ, підтримання необхідних запасів компонентів крові та управління їх рухом. Функціонал відділу логістики, планування та управління запасами компонентів крові складається з:

- планування та прогнозування потреби в компонентах крові на основі історичних та поточних даних;
- відстеження поточного стану запасів компонентів крові в режимі реального часу;
- контроль рівнів запасів компонентів крові та створення попереджень про критичні значення;
- моніторинг виконання потреб компонентів крові;
- аналіз та оптимізація використання компонентів крові для уникнення дефіциту або надлишку;
- координація процесу заготівлі компонентів крові відповідно до прогнозованих і фактичних потреб;
- формування та надання звітності про стан та рух запасів компонентів крові;
- перенаправлення наявних запасів компонентів крові від одного медичного закладу до іншого з урахуванням логістичних маршрутів, терміновості запитів та оптимізації транспортних витрат;

– забезпечення взаємодії між модулями донорів, заготівлі крові, лабораторних досліджень та рекрутингу для своєчасного поповнення запасів [3].

Компоненти крові, що найчастіше використовуються в медичній практиці, включають еритроцити, плазму та тромбоцити.

Еритроцити (червоні кров'яні тільця) застосовуються при анеміях, значних кровотечах та для підтримки кисневого транспорту в організмі.

Плазма містить білки, антитіла та фактори згортання, тому використовується при опіках, порушеннях згортання крові, масивних кровотечах та в імунній терапії.

Тромбоцити необхідні для зупинки кровотеч і особливо важливі для пацієнтів з онкологічними захворюваннями, які проходять хіміотерапію, або після трансплантацій.

Важливу роль відіграє також групова належність за системою антигенів А і В (ABO) та резус-належність (Rh- фактор) крові, оскільки несумісність за цими показниками може викликати тяжкі імунологічні реакції. Тому підбір компонентів здійснюється з урахуванням сумісності груп крові та резус-фактора між донором і реципієнтом.

1.2 Опис схеми взаємодії центру служби крові з закладами охорони здоров'я при управлінні запасами компонентів крові

Взаємодія центру служби крові із закладами охорони здоров'я при управлінні запасами компонентів крові організована у вигляді структурованого процесу, що охоплює оперативну комунікацію, планування, контроль і ефективну логістику. Такий підхід забезпечує своєчасне реагування на потреби лікарень та підтримує оптимальний рівень запасів для стабільної роботи медичних установ. На ілюстрації схематично зображена робота центру

служби крові (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Схема роботи центру служби крові

Донори здають кров у центрі служби крові, де вона проходить необхідні лабораторні дослідження, обробку та зберігання. Після цього готові компоненти крові транспортуються спеціалізованим медичним транспортом до лікарень для використання в медичних процедурах. Таким чином, центр служби крові забезпечує безперервне постачання компонентів крові для потреб лікування пацієнтів у медичних закладах.

Одним із ключових аспектів ефективного функціонування центру служби крові є налагоджена взаємодія з закладами охорони здоров'я, особливо у процесах замовлення та постачання компонентів крові. Представлена схема взаємодії центру служби крові з закладами охорони здоров'я ілюструє бізнес-процес між медичним закладом та центром служби крові при замовленні компонентів крові (рисунок 1.3).

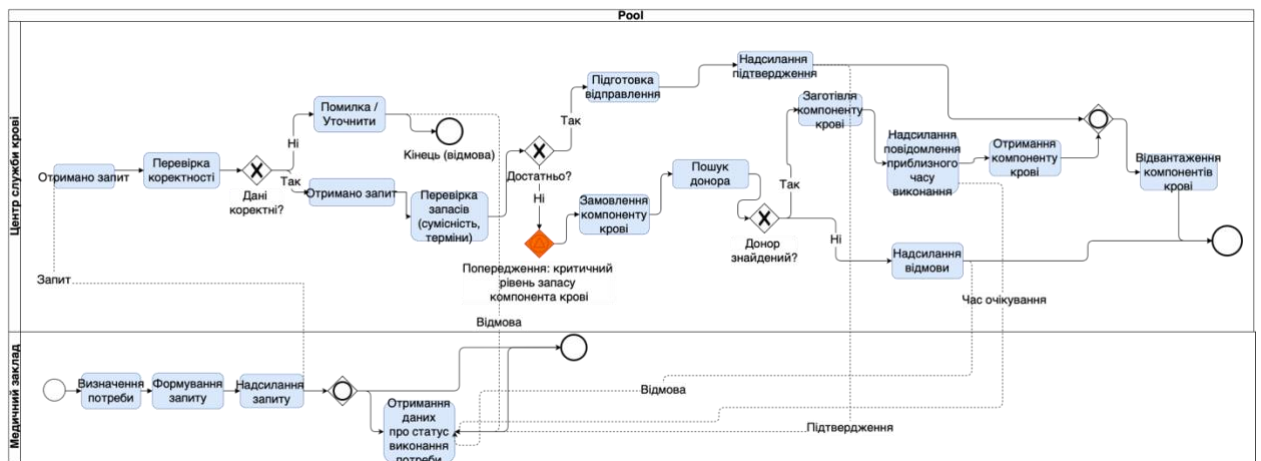


Рисунок 1.3 – Схема взаємодії центру служби крові з медичними закладами

Процес розпочинається в медичному закладі з визначення потреби в певних компонентах крові, після чого формується та надсилається відповідний запит до центру служби крові. В центрі служби крові отриманий запит проходить перевірку на коректність. Якщо дані некоректні, запит повертається на уточнення або відхиляється.

У разі підтвердження коректності даних відбувається перевірка наявності необхідних компонентів крові (перевіряється сумісність, термін придатності та об'єми). Якщо компонентів достатньо, здійснюється підготовка до відправлення та надсилається підтвердження замовнику, після чого компоненти крові або відвантажуються до медичного закладу, або медичний заклад самостійно забирає компоненти крові.

Якщо запасів компонентів крові недостатньо або їх немає, система генерує попередження про критичний рівень запасу. Далі активується процес пошуку донора. Якщо донор знайдений, проводиться заготівля необхідного компоненту крові, а після чого компонент доставляється до медичного закладу. У разі відсутності донора медичного закладу надсилається відмова з повідомленням про неможливість виконання потреби.

Для ефективного управління замовленнями компонентів крові важливо враховувати низку ключових параметрів, які визначають специфіку потреби та умови постачання. У запропонованій моделі передбачено два основних

формати доставки: доставка з боку центру служби крові та самовивіз з боку медичного закладу. Доставка з боку центру служби крові зазвичай використовується у випадках термінової потреби або відсутності транспорту у медичного закладу. Самовивіз з боку медичного закладу може бути доцільний у випадках планового поповнення запасів компонентів крові або використання медичним закладом власної логістичної служби.

У таблиці наведено основні параметри, що супроводжують замовлення компонентів крові від закладів охорони здоров'я, а також їхні приклади та пояснення призначення (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Параметри для формування потреби компонентів крові

Параметри	Приклад (значення)	Опис (призначення)
Тип компонентів	Еритроцити / Тромбоцити / Плазма	Визначає, що саме потрібно: червоні кров'яні тільця, плазма та ін.
Група крові та резус-фактор (Rh)	A(II) / B(III) / AB(IV) / O(I), Rh+ / Rh-	Система АВО для сумісності крові та резус-належність для безпечного переливання
Кількість (об'єм, доза)	2 дози / 500 мл	Точна потреба у кількості чи обсязі
Терміновість	Планово / Терміново	Рівень пріоритету – впливає на розподіл запасів

Кінець таблиці 1.1

Час отримання (дедлайн)	2025-04-15 10:00	Час і дата, коли компоненти мають бути готові і доставлені до медичного закладу
Час замовлення	2025-04-12 12:00	Час і дата замовлення компонентів крові
Отримувач	Хірургія / Онкологія	Локація, де безпосередньо будуть використовувати кров
Клінічний показник	Гостра кровотеча	Ситуація, в якій опинився пацієнт
Умова використання	Переливання крові	Деталі про метод використання компонентів крові
Інструкція до транспортування	-25 С°	Деталі про температурний режим та ін. умови транспортування
Умови доставки	Доставка / Самовивіз	Варіант доставки при великому навантаженні та рівню терміновості

2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ КОМПОНЕНТІВ КРОВІ

2.1 Аналіз методів управління запасами в контексті застосування для управління запасами компонентів крові

З метою підвищення ефективності управління запасами компонентів крові доцільно звернутись до сучасних підходів, що успішно використовуються в міжнародній практиці. У цьому контексті було проаналізовано три основні методи, які можуть бути використані для вирішення задачі формування та утримання оптимального запасу компонентів крові, тобто метод First In, First Out (FIFO), метод Economic Order Quantity (EOQ) і метод Just-in-Time (JIT). Ці моделі впроваджені в провідних ІС управління запасами компонентів крові таких як: eProgesa, HemaSoft, ABO Express та ін. Їх ефективність підтверджена зменшенням втрат компонентів крові, покращенням оперативного реагування на запити та раціональним використанням ресурсів.

Метод FIFO є найбільш традиційним і простим підходом, який передбачає використання найстаріших запасів компонентів крові першими. Його головною перевагою вважається зменшення ризику списання компонентів крові через закінчення терміну придатності. Особливо актуальний метод FIFO для таких компонентів крові, як еритроцити та тромбоцити, що зберігаються лише 42 і 5 днів відповідно. Проте недоліком є те, що метод FIFO не враховує коливання потреби, через що можливий дефіцит компонентів рідкісних груп крові.

Метод EOQ дозволяє розрахувати оптимальний розмір потреби компонентів крові, який мінімізує витрати на зберігання та заготівлю тих самих компонентів крові. Метод EOQ базується на попередньо відомій потребі, витратах на зберігання та логістику компонентів крові. У контексті

медичних установ цей підхід може використовуватися для довгострокового планування постачання компонентів крові із довшим строком придатності. Але сам по собі метод не враховує обмежений строк придатності компонентів крові і не підходить для екстрених ситуацій.

Метод ЛІТ передбачає поповнення запасів компонентів крові лише в момент виникнення потреби. Це значно зменшує витрати на зберігання і ідеально підходить для компонентів крові із надзвичайно коротким строком зберігання, а саме тромбоцитовмісних компонентів крові. Втім, ЛІТ вимагає чіткої, швидкої логістики та дуже тісної взаємодії між службами крові та медичними установами. У разі збоїв або надзвичайної ситуації існує ризик, що необхідні компоненти не будуть в наявності.

Наведена таблиця з порівняльною характеристикою методів управління запасами компонентів крові (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняння методів управління запасами компонентів крові

Методи	Переваги	Недоліки	Застосування
FIFO	Простота впровадження; Мінімізація утилізації через термін придатності	Не враховує коливання потреби; Ризик нестачі рідкісних груп крові	Управління видачі компонентів із середній/короткий терміном зберігання (тромбоцити, еритроцити)
EOQ	Зниження витрат; Планування на основі історичних даних	Не враховує терміни придатності; Слабка реакція на екстрену потребу	Упр. видачі комп-ів із тривалим терміном придатності (еритроцити, плазма)

Кінець таблиці 2.1

ЛІТ	Мінімальні витрати на зберігання; Гнучкість	Високі логістичні вимоги; Ризик дефіциту в надзвичайних ситуаціях	Управління видачі компонентів із середнім терміном придатності (тромбоцити, плазма)
-----	--	--	---

Метод FIFO підходить в якості базової логіки ротації запасів компонентів крові. Усі компоненти крові повинні використовуватись у порядку їх надходження, щоб уникнути утилізації компонентів крові. Це легко впроваджується через систему штрих-кодів і автоматизований облік терміну придатності.

Метод EOQ підходить для попереднього планування заготівлі компонентів крові на основі історичних даних. Наприклад, можна проаналізувати статистику за минулий рік і сформувані базовий рівень резерву для кожної групи крові та компоненту крові. Це дозволяє уникати як надлишку, так і дефіциту компонентів крові в стандартних умовах.

Метод ЛІТ підходить для швидкого реагування на непередбачувані ситуації: масові події, операції, аварії та сезонні коливання. Метод варто використовувати для тих компонентів крові, які мають невеликий термін придатності, або можуть бути оперативно отримані від локальної донорської бази. Наприклад, за допомогою електронної платформи виклику донорів, яка дозволяє швидко реагувати на потребу.

Формат логістики може визначатися в залежності від використаного методу управління запасами компонентів крові.

Метод EOQ передбачає самовивіз медичним закладом. Такий підхід дозволяє знизити логістичні витрати, оскільки поставки здійснюються в

заплановані дати і в оптимальних об'ємах.

Метод JIT передбачає доставку центром служби крові, оскільки він орієнтований на критичну потребу компонентів крові у найкоротші терміни. У цьому випадку важлива швидкість, а не мінімізація витрат.

Метод FIFO може застосовуватися для обох форматів – доставка або самовивіз – залежно від медичної ситуації та доступності транспорту.

Жоден із методів не є універсальним. Найбільш ефективним є поєднання всіх трьох у рамках гнучкої, адаптивної системи. Підсумовуючи опис методів управління запасами компонентів крові вище, робимо висновок, що тромбоцитовмісні компоненти крові (термін зберігання 5 днів) краще включити до JIT-моделі управління запасами компонентів крові з використанням швидкої взаємодії з донорами. Відповідно еритроцитовмісні компоненти крові (термін зберігання до 42 днів) краще включити до EOQ-розрахунку й підтримувати їх ротацію через метод FIFO [4-5].

Для впровадження комбінації методів на практиці рекомендовано застосувати:

- ІС обліку, що забезпечить цифровий контроль запасів компонентів крові, термінів придатності, автоматичне сповіщення про критичні рівні. Основа такої системи обліку слугуватиме метод FIFO;
- аналітику потреби, на базі минулих даних формуються рекомендації щодо обсягів заготівлі для метода EOQ;
- мережу швидкого доступу до донорів: платформи, Short Message Service (SMS), співпраця з донорськими організаціями для реалізації метода JIT.

2.2 Аналіз методів прогнозування в контексті застосування для управління запасами компонентів крові

Успішне впровадження всіх вищезгаданих методів (див. 2.1) базується на точному прогнозуванні потреби компонентів і груп крові. Прогнозування дозволяє не лише орієнтуватися в минулих трендах, а й реагувати на сезонні, регіональні та епідеміологічні зміни.

Прогнозування дає змогу своєчасно збільшити або зменшити заготовлення компонентів крові, скоригувати графік донорства, перенаправити запаси компонентів крові між регіонами.

Для успішного здійснення прогнозування рекомендовано використовувати статистичний аналіз (вивчення історичних даних з видачі компонентів крові), сезонне моделювання (наприклад, зростання потреби перед святами) та зовнішні чинники (врахування надзвичайних ситуацій, епідемій, воєнного стану).

Найпоширенішим підходом в управлінні запасами компонентів крові є підхід Stock Keeping Unit (SKU) для кожної унікальної комбінації. Такий підхід дозволяє деталізовано відслідковувати динаміку використання кожного типу компоненту з урахуванням групи крові та резус-фактора, що є критично важливим для точного прогнозування. Саме на рівні окремих SKU здійснюється розрахунок потреб за історичними даними, що забезпечує більшу точність моделей і можливість оперативного реагування на зміну попиту. У випадку управління запасами компонентів крові маємо такі параметри:

- компонент (еритроцити, плазма, тромбоцити);
- група (O(I), A(II), B(III), AB(IV));
- rh-фактор (Rh+ або Rh-).

Наприклад, «Еритроцити, A(II), Rh+» – це один SKU, «Тромбоцити, AB(IV), Rh-» – інший, і так далі. Кожна така комбінація має власну історію

використання.

Застосовується будь-який один із методів до кожного SKU:

- просте (зважене) ковзне середнє;
- експоненційне згладжування;
- регресійні / моделі Machine Learning (ML) з урахуванням зовнішніх чинників (операцій, ДТП, сезонності тощо).

Усі методи прогнозування мають свої переваги та обмеження, проте в умовах медичних установ, де поєднується потреба в точності та простоті реалізації, найбільш доцільним є застосування методу експоненційного згладжування [6].

Цей метод базується на використанні попереднього прогнозу та останнього фактичного значення з різною вагою, що задається коефіцієнтом згладжування $\alpha \in [0; 1]$. Головною перевагою експоненційного згладжування є його здатність оперативно реагувати на зміни в динаміці попиту, при цьому зберігаючи стабільність прогнозу завдяки приглушенню випадкових коливань.

На відміну від простого ковзного середнього, експоненційне згладжування не вимагає зберігання великого обсягу історичних даних – достатньо лише останнього фактичного значення та попереднього прогнозу. Це особливо зручно при впровадженні в ІС служби крові, де важлива оптимізація обчислювальних ресурсів. У порівнянні з машинним навчанням, метод не потребує складної підготовки даних та гіперпараметрів, що робить його доступним для впровадження навіть у закладах з обмеженою ІТ-інфраструктурою.

Таким чином, експоненційне згладжування є збалансованим рішенням між точністю, чутливістю до змін і простотою впровадження. Воно дає змогу формувати оперативні прогнози для кожної SKU-комбінації компонентів крові, враховуючи динаміку попиту та сезонні коливання.

Прогноз на наступний період \widehat{Q}_{t+1} визначається за формулою:

$$\widehat{Q}_{(c,g,r,t+1)} = \alpha \cdot Q_{(c,g,r,t)} + (1 - \alpha) \widehat{Q}_{(c,g,r,t)} \quad (2.1)$$

де $Q_{(c,g,r,t)}$ – фактична потреба у період t (наприклад, використано 100 доз «Еритроцити, А(II), Rh+»);

t – період;

$\widehat{Q}_{(c,g,r,t+1)}$ – прогноз на період $t+1$;

c, g, r – ознаки SKU (компонент, група крові, Rh-фактор);

$\alpha \in [0; 1]$ – коефіцієнт згладжування.

Кожна комбінація «компонент + група крові + Rh» розглядається як окрема одиниця прогнозування.

2.3 Аналіз існуючих ІС центру служби крові

З метою поглиблення аналізу ефективного управління запасами компонентів крові доцільно розглянути ІС, що використовуються у міжнародній та національній практиці. Такі системи забезпечують автоматизацію ключових процесів: моніторинг запасів компонентів крові, прогнозування потреб, логістичний супровід, аналітику та інтеграцію з іншими модулями охорони здоров'я. У цьому розділі наведено таблицю з порівняльною характеристикою обраних міжнародних та українських систем управління запасами компонентів крові, зосереджену на функціоналі відповідного модуля та застосуванні методів управління (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Порівняння існуючих ІС центру служби крові

ІС	Функціонал модуля	Можливість прогнозування	Застосування методів управління
eProgesa (Іспанія)	Моніторинг у реальному часі, прогнозування, система попереджень	Так	FIFO, EOQ, JIT
HemaSoft (Іспанія)	Аналітичний модуль, автомат. оновлення запасів, вбудовані алгоритми прогнозування, відображення критичних рівнів	Так	EOQ, JIT – використовується для оптимізації заготівлі та розподілу
ABO Express (Америка)	Оперативне оновлення даних, контроль обігу	Обмежена	Переважно FIFO, частково EOQ
BloodControl (Україна)	Базовий облік, ручне оновлення запасів, звітність про використання	Ні	Тільки FIFO, решта – вручну
MedData Кров (Україна)	Статистичний аналіз, планування потреб, інтегр. з реєстром донорів	Так	FIFO та прості алгоритми прогнозування, EOQ частково впроваджено

Кінець таблиці 2.2

Smart (Україна)	Модуль прогнозування та моніторингу, інтеграція з електронною системою охорони здоров'я, контроль термінів придатності	Так	FIFO та базові інструменти ЛТ; модулі прогнозування впроваджуються поступово
--------------------	--	-----	--

Міжнародні системи, такі як eProgesa, HemaSoft та ABO Express, відзначаються високим рівнем автоматизації, наявністю модулів прогнозування та активним використанням сучасних методів управління запасами компонентів крові – зокрема FIFO, EOQ та ЛТ. Системи інтегруються із модулем обліку донорів, медичними закладами й логістичними ланцюгами.

Українські системи BloodControl і MedData Кров здебільшого мають обмежений функціонал: ручне введення даних, базове планування потреб, часткова підтримка методу FIFO. Прогнозування або відсутнє, або реалізоване на елементарному рівні.

Система Smart є одним із найперспективніших прикладів цифрової трансформації української медичної галузі. Вона впроваджується з 2022 року в межах національної реформи охорони здоров'я, підтримує інтеграцію з eHealth, містить модуль моніторингу та контроль термінів придатності компонентів крові. Згідно з інформацією Державного Підприємства (ДП) «Медичні закупівлі України» та презентацій Міністерства охорони здоров'я [7], система передбачає також розширення функціоналу прогнозування потреб компонентів крові, логістичного супроводу та централізованої аналітики.

Аналіз показує, що для підвищення ефективності управління запасами

компонентів крові в Україні необхідне вдосконалення існуючих ІС. Насамперед, варто впровадити сучасні методи управління запасами компонентів крові, такі як FIFO, EOQ та ЛТ, адаптовані під кожну унікальну SKU-комбінацію компонентів крові. Це дозволить точніше планувати потреби, уникати дефіциту та надлишків компонентів крові, а також зменшити кількість утилізації через закінчення терміну придатності [8-11].

3 ФОРМУВАННЯ ЗАВДАННЯ РОЗРОБКИ МОДУЛЯ «УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ КОМПОНЕНТІВ КРОВІ»

3.1 Опис вимог до розробки модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС центру служби крові

Метою створення модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС служби крові є автоматизація процесів обліку, прогнозування, контролю та оптимізації запасів крові з метою забезпечення безперебійного та безпечного постачання компонентів крові до закладів охорони здоров'я. Впровадження модуля має зменшити втрати компонентів, скоротити час реагування на запити та покращити логістику.

Для досягнення поставленої мети модуль «Управління запасами компонентів крові» має взаємодіяти з іншими модулями ІС центру служби крові, що відображено у його функціональній структурі. Схема представлена на наступній ілюстрації (рисунок 3.1).

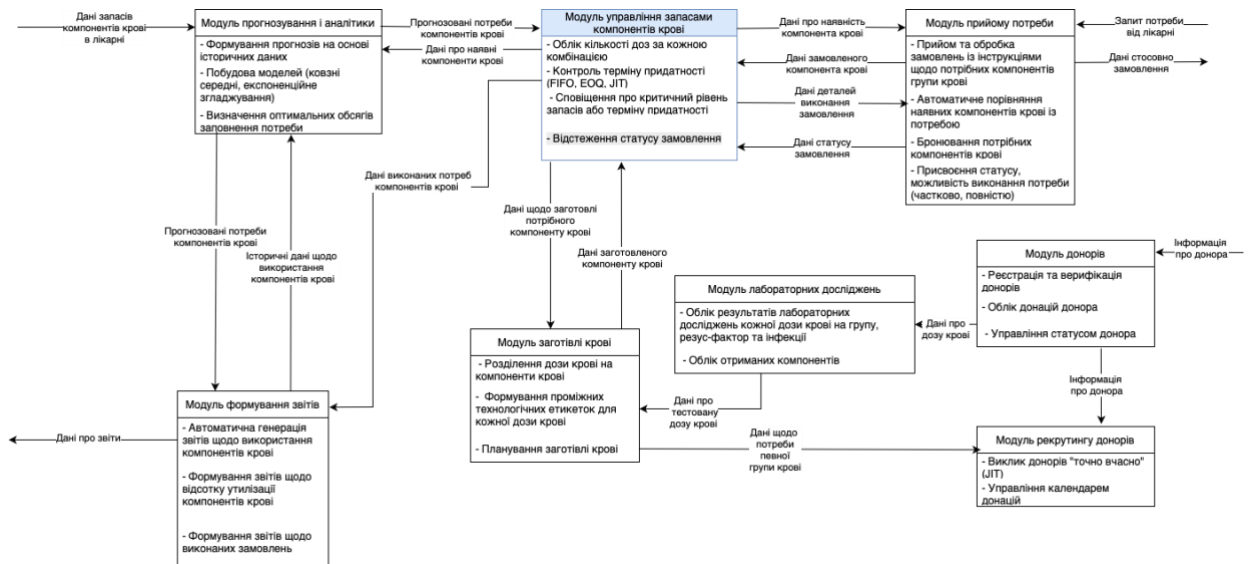


Рисунок 3.1 – Функціональна структура взаємодії ІС центру служби крові

Схема функціональної взаємодії представлена у вигляді блок-схеми, де

модуль «Управління запасами компонентів крові» виступає центральною ланкою. Вона ілюструє потік інформації між ключовими модулями: модуль прийому потреб отримує запити від лікарень, модуль прогнозування формує очікувану потребу на основі історичних і сезонних даних, модуль лабораторних досліджень підтверджує якість та готовність доз, а модуль заготовки крові забезпечує виконання запиту. Усі ці дані синхронізуються в модулі управління запасами, де здійснюється облік, виявлення критичних залишків та ініціація потреб. Завершальною ланкою є модуль звітності, який агрегує дані для подальшого аналізу. Такий підхід забезпечує наскрізний контроль, оптимізацію ресурсів та прозорість операцій.

Виходячи з функціонального призначення модуля, можна виокремити перелік ключових завдань, які він має вирішувати у процесі щоденної роботи відділу логістики, планування та управління запасами компонентів крові центру служби крові:

- автоматичне оновлення даних про запаси після видачі та надходження;
- прогнозування потреб за допомогою аналітичних методів (ES, ковзне середнє);
- визначення критичних залишків і формування попереджень;
- генерація автоматичних замовлень та маршрутів доставки;
- візуалізація динаміки використання компонентів крові;
- інтеграція з іншими модулями: прийом потреби, лабораторні дослідження, заготовка крові, донорський реєстр;
- формування звітів для аналітики та контролю.

Для забезпечення ефективної реалізації завдань модуль повинен відповідати низці функціональних вимог, які визначають його поведінку, логіку роботи та набір доступних дій. Функціональні вимоги містять:

- облік компонентів крові за типом, групою, Rh-фактором;
- прогнозування потреб з урахуванням історичних, сезонних та зовнішніх даних;

- сигналізація про критичні рівні залишків компонентів крові;
- контроль замовлень і доставки;
- візуалізація даних у вигляді графіків, таблиць, попереджень;
- ведення журналу змін і доступу.

Окремі функції модуля повинні реалізовуватись із дотриманням конкретних вимог, що регламентують їхню точність, швидкодію та узгодженість з іншими модулями ІС центру служби крові.

3.2 Обґрунтування мети і критеріїв ефективності модуля «Управління запасами компонентів крові»

Актуальність розробки модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС центру служби крові обумовлена постійною потребою в підвищенні ефективності роботи медичних установ, скороченні часу на забезпечення компонентами крові, а також зниження витрат на лабораторні дослідження та зберігання шляхом оптимізації запасів компонентів крові та уникнення їх утилізації. Модуль «Управління запасами компонентів крові» виконує ключову роль у підтримці стабільної роботи всієї системи. Він забезпечує безперервність постачання компонентів крові, автоматизує облік, прогнозування, аналітику та логістику. В умовах надзвичайних ситуацій, таких як воєнний стан чи епідемії, наявність такого модуля дозволяє швидко адаптуватися до змін у попиті, мінімізувати втрати та забезпечити надійність постачання. Його інтеграція з іншими модулями створює єдиний інформаційний простір, який підтримує прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

У результаті впровадження модуля очікується низка переваг, які сприятимуть підвищенню ефективності, точності й надійності обліку та забезпечення компонентами крові. Очікувані результати модуля виглядають

наступним чином:

- підвищення точності планування та поповнення запасів компонентів крові;
- своєчасне реагування на зміну потреби;
- оптимізація логістики та зменшення витрат;
- забезпечення безперервного постачання компонентів крові навіть у кризових умовах.

В структурі модуля також повинна бути реалізована оцінка витрат на логістику з урахуванням наступних факторів:

- відстань до медичного закладу;
- тип транспорту (власний або лікарняний);
- умови транспортування (контейнери, термобокси);
- тип контейнерів (подвійний, потрійний, четверенний);
- кількість доставлених доз компонентів крові;
- критичність потреби (планово або терміново).

До функцій модуля відносяться:

а) облік запасів;

- зберігання інформації про кожен компонент крові за параметрами: тип, група, Rh-фактор, дата заготовки, термін придатності, кількість доз;

- автоматичне оновлення залишків компонентів крові після видачі та надходження;

- пошук, фільтрація та сортування компонентів крові;

б) прогнозування потреб;

- реалізація принаймні одного методу прогнозування (наприклад, експоненційне згладжування);

- окремий прогноз для кожної SKU;

- автоматичне оновлення прогнозу на основі нових даних;

в) сповіщення про критичні запаси;

- визначення мінімального рівня запасів для кожного компоненту

крові;

- формування автоматичних повідомлень про досягнення критичного рівня;

г) контроль замовлень;

- контроль замовлень на заготівлю або перерозподіл запасів компонентів крові;

- формування маршрутів транспортування;

- можливість створення друкованої форми замовлення з QR-кодом;

г) контроль логістики;

- облік часу відправлення, доставки, підтвердження отримання;

- відстеження статусу замовлення (в дорозі, доставлено, затримано);

д) звітність;

- генерація періодичних звітів за кількістю, типом, групою, Rh-фактором, медичним закладом;

- експорт у Portable Document Export (PDF), Excel;

- графіки використання, списання компонентів крові, прогнозу;

е) аудит і безпека;

- ведення журналу дій користувачів;

- розмежування прав доступу за ролями (адміністратор, медик, логіст);

- зберігання історії змін.

Крім основної функціональності, модуль повинен відповідати загальним вимогам до стабільності, безпеки, масштабованості та надійності медичних ІС.

До нефункціональних вимог відносяться:

- система має забезпечувати безперебійну роботу, зберігання даних у захищеній формі;

- використання шифрування (наприклад, Transport Layer Security (TLS) 1.2/1.3), аутентифікації користувачів, ведення журналу доступу;

- захищений обмін між медичними закладами та центрами служби крові через Virtual Private Network (VPN) або Hyper Text Transfer Protocol Secure (HTTPS) з сертифікатами;
- дані зберігаються на сервері центру служби крові з регулярним резервним копіюванням (локально та в хмарі);
- модуль повинен мати локальну кешовану версію даних з можливістю синхронізації при відновленні з'єднання;
- підтримка підключення нових медичних закладів і центрів без зміни структури системи.

4 ОПИС АРХІТЕКТУРИ РОЗРОБКИ МОДУЛЯ «УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ КОМПОНЕНТІВ КРОВІ» НА РІВНІ ФУНКЦІЙ

4.1 Загальний підхід до архітектури модуля «Управління запасами компонентів крові»

Функціональна архітектура модуля «Управління запасами компонентів крові» визначає його логічну побудову, структуру окремих функцій та взаємозв'язки між ними. Такий підхід дозволяє не лише зрозуміти загальну логіку модуля, а й забезпечує можливість його поетапної розробки, тестування та інтеграції в існуючу ІС.

У процесі розробки модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС центру служби крові було обрано блочну архітектуру, яка передбачає поділ системи на окремі функціональні блоки. Кожен блок відповідає за конкретну частину процесу: від обліку запасів компонентів крові до виконання потреб компонентів крові і звітності. Така структура дає змогу досягти високої модульності, що спрощує масштабування системи, оновлення окремих елементів, адаптацію під потреби конкретного центру служби крові. В основі архітектури лежить принцип взаємодії автономних функціональних компонентів через узгоджені інформаційні потоки, що забезпечує гнучкість, надійність, та адаптивність рішення. Кожна функція реалізується як окремий логічний блок із визначеними вхідними та вихідними даними, що дозволяє ефективно управляти потоками інформації та інтегрувати систему в ширший контекст цифрової трансформації служби крові [12].

4.2 Опис основних функціональних блоків модуля «Управління запасами компонентів крові»

Функціональна структура модуля «Управління запасами компонентів крові» передбачає його поділ на окремі логічні блоки, кожен з яких виконує чітко визначені функції. Такий підхід дозволяє забезпечити структурованість, модульність і можливість поетапної розробки та вдосконалення системи. Взаємодія між блоками здійснюється за допомогою внутрішніх інформаційних потоків, що дозволяє досягти узгодженості роботи всього модуля. До складу модуля «Управління запасами компонентів крові» входять функціональні блоки, що представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Функціональні блоки модуля «Управління запасами компонентів крові»

Назва функціонального блоку	Призначення	Вхідні дані	Вихідні дані
Облік запасів компонентів крові	Ведення обліку наявних компонентів крові	Дані про надходження та видачу компонентів	Оновлений стан наявних запасів
Прогнозування потреб	Формування прогнозів на основі іст. даних з урахуванням сезонності	Історія видачі, сезонні коефіцієнти	Прогнозована потреба
Сповіщення про критичні запаси	Моніторинг залишків і генерація	Поточні залишки	Повідомлення для персоналу

Кінець таблиці 4.1

	сповіщень при досягненні порогу		
Формування та перерозподіл замовлень	Автоматичне створення замовлень на заготівлю або перерозподіл компонентів крові між закладами	Прогноз, залишки, критичні рівні в інших закладах охорони здоров'я	Замовлення або запит на перерозподіл
Контроль логістики	Облік і контроль транспортування доз до медичних закладів	Інформація про замовлення, маршрут	Статус доставки
Аналітика та звітність	Побудова графіків, звітів, аналіз ефективності	Дані обліку та дій	Звіти, дашборди
Безпека та аудит	Розмежування прав, журнал змін	Події, доступи	Журнали, звіти про активність

4.3 Схема взаємодії функціональних блоків модуля «Управління запасами компонентів крові»

Для візуалізації логіки роботи модуля «Управління запасами компонентів крові» побудовано схему взаємодії його основних функціональних блоків. Така схема дозволяє зрозуміти послідовність обробки інформації, внутрішні зв'язки між компонентами системи та роль кожного блоку в загальному циклі управління запасами компонентів крові. Схема представлена на рисунку 4.1.

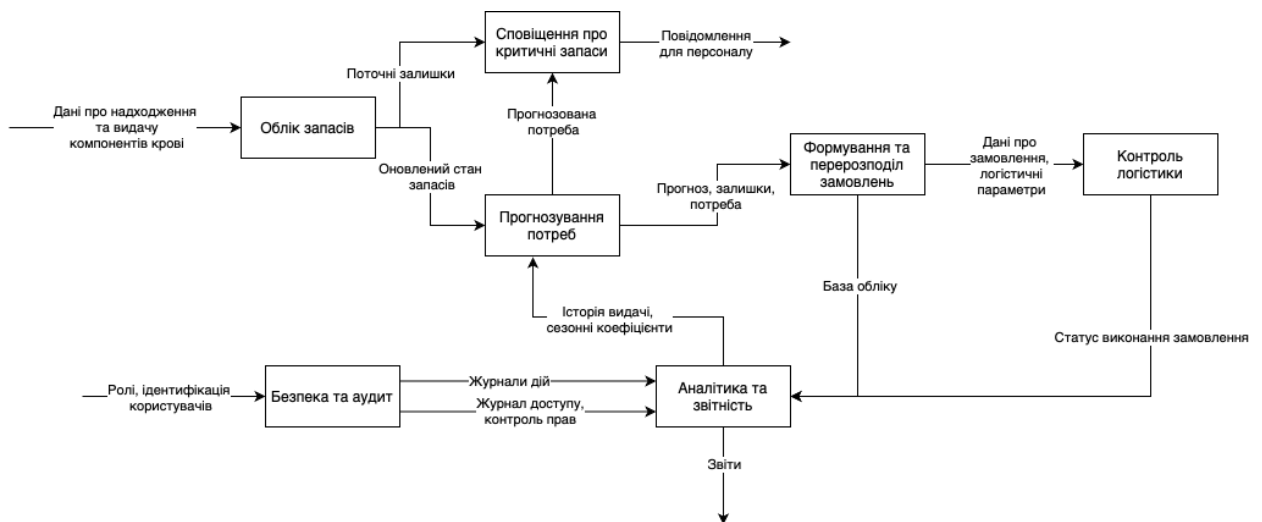


Рисунок 4.1 – Схема взаємодії функціональних блоків модуля «Управління запасами компонентів крові»

Схема відображає ключові функціональні блоки модуля та потоки інформації між ними. Центральним елементом є обліку запасів компонентів крові, що отримує дані про надходження та видачу компонентів крові. Ці дані оновлюють актуальний стан запасів та передаються до блоку прогнозування потреб, який формує оцінку майбутньої потреби з урахуванням історичних даних і сезонних факторів коливання потреби компонентів крові.

Блок оповіщення про критичні запаси аналізує поточні залишки

компонентів крові та генерує повідомлення у випадку перевищення порогів ризику. У свою чергу, блок формування та перерозподілу замовлень об'єднує прогнозовану потребу та критичні показники, формуючи відповідні запити на заготівлю або перерозподіл компонентів крові між медичними закладами. Ці замовлення надходять до блоку контролю логістики, який відповідає за виконання доставки (або самовивозу), фіксує її статус і взаємодіє з транспортним відділом. Усі дії, пов'язані з обробкою замовлень, оновленням наявних запасів компонентів крові та доступом до модуля управління фіксуються у блоці безпеки та аудиту, де ведеться журнал користувацьких дій та контролюються права доступу.

Загальна база обліку постійно оновлюється та передається до модуля аналітики та звітності, який формує звіти, графіки використання компонентів крові і забезпечує інформаційну підтримку для подальших рішень в управлінні запасами компонентів крові. Схема процесу обміну даними між центром крові та медичними закладами про замовлення зображена на рисунку 4.2.

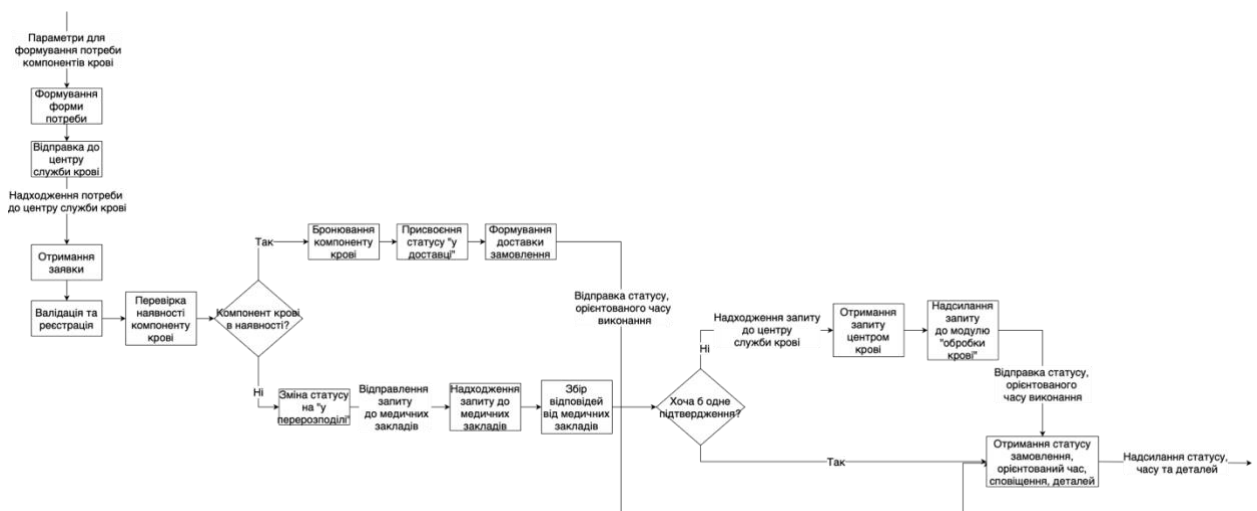


Рисунок 4.2 – Схема процесу обміну даними між центром крові та медичними закладами про замовлення

4.4 Особливості функціональної архітектури модуля «Управління запасами компонентів крові»

Однією з ключових особливостей є модульність: кожен функціональний блок виконує автономну роль, з чіткими вхідними та вихідними даними, що дає змогу легко оновлювати або розширювати систему без порушення загальної структури.

Другою важливою властивістю є наскрізна взаємодія між блоками, що забезпечує постійний обмін інформацією, оновлення залишків у реальному часі, а також безперервний цикл прогнозування, аналізу й реагування. Наприклад, результати прогнозу автоматично впливають на формування замовлень та контроль логістики, а зміна стану запасів – на запуск оповіщення про критичний рівень запасів компонентів крові.

Важливою особливістю архітектури є підтримка функції міжзакладного перерозподілу компонентів крові. У разі виявлення дефіциту у конкретному закладі, система може ініціювати запит на переведення доз компонентів крові з іншого медичного закладу, де наявний надлишок. Такий підхід знижує ймовірність втрат, пришвидшує реагування та оптимізує логістичні витрати.

Архітектура також передбачає гнучку логістичну модель. Наприклад, при використанні EOQ (планове поповнення) доставка може відбуватися у форматі самовивозу, тоді як при JIT (термінова потреба) – із залученням транспорту центру служби крові. Це дозволяє динамічно адаптувати логістику до типу потреби та наявних ресурсів.

5 РОЗРОБКА Й ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЗАБЕЗПЕЧУЮЧОЇ СИСТЕМИ

5.1 Класифікація інформації та опис об'єктів даних

Інформаційне забезпечення модуля «Управління запасами компонентів крові» охоплює сукупність даних, які використовуються для обліку, прогнозування, контролю та логістики компонентів крові. До нього належать вхідні, проміжні та вихідні інформаційні потоки, а також структура бази даних, яка забезпечує збереження та обробку цієї інформації. У контексті функціонування модуля виділяють такі основні групи даних: вхідна інформація, проміжна інформація та вихідна інформація. До вхідної інформації входять:

- дані про надходження та видачу компонентів крові;
- запити медичних закладів на отримання компонентів;
- дані про запаси компонентів в інших медичних закладах (для перерозподілу);
- історичні дані для прогнозування (використання компонентів крові за певні проміжки часу).

До проміжної інформації входять:

- поточний стан запасів компонентів крові;
- прогнозовані потреби компонентів крові;
- статуси замовлень і доставки компонентів крові;
- дані про досягнення критичних порогів запасів.

До вихідної інформації входять:

- автоматично сформовані замовлення компонентів крові;
- повідомлення про критичні запаси;
- аналітичні звіти для управління;
- журнали доступу та змін.

У межах функціонування модуля «Управління запасами компонентів

крові» використовується набір структурованих об'єктів даних, що забезпечують повноцінну роботу з формуванням, зберіганням, обліком і прогнозуванням запасів компонентів крові. Основними з них є:

- компонент крові;
- запит медичного закладу;
- замовлення та його виконання;
- донор і донація;
- прогнозована потреба;
- аналітика та звітність;
- користувачі системи.

Об'єкт даних компонент крові містить інформацію про тип компоненту, його групу крові, Rh-фактор, дозу, дату заготівлі, термін придатності та статус.

Об'єкт даних запит медичного закладу описує потребу конкретного медичного закладу в компонентах крові. Він складається з таких параметрів: об'єкта даних компоненту крові, терміновості, орієнтованого часу виконання, отримувача, клінічного показника, умови використання, інструкції до транспортування та умови доставки.

Об'єкт даних замовлення та його виконання фіксує не лише замовлення, а й реалізацію логістичних процесів та містить наступну інформацію: статус виконання, дата створення та оновлення, прив'язка до компонентів та донорів та інформацію про відвантаження.

Об'єкт донор і донація містить ідентифікаційні дані про донора, історію здачі крові, результати лабораторних досліджень.

Об'єкт прогнозована потреба містить дані згенеровані на основі статистичної оцінки майбутнього попиту компонентів крові і складається з: компоненту, кількості компонентів крові, прогнозованого періоду, метод обчислення та фактори впливу.

Об'єкт аналітика та звітність містить окрему групу даних, які формуються на основі агрегованої інформації: кількість використаних доз компонентів крові за певний період, запаси та втрати, закриття потреб, частота

термінових запитів, звіти у різних форматах.

Останнім об'єктом є користувач системи, що забезпечує доступ до модуля за ролями та зберігає історію змін в журналі дій.

5.2 Структура бази даних модуля «Управління запасами компонентів крові»

Модуль «Управління запасами компонентів крові» базується на структурованій реляційній базі даних, яка забезпечує збереження, оновлення та обробку даних, необхідних для роботи системи. Архітектура бази побудована з урахуванням принципів нормалізації, логічного поділу об'єктів на функціональні блоки та забезпечення цілісності зв'язків між таблицями. На рисунку 5.1 представлена ER-діаграма бази даних. Перелік усіх сутностей та їх полями, типами й коротким описом у вигляді єдиної зведеної таблиці наведено у Додатку А (таблиця А.1).

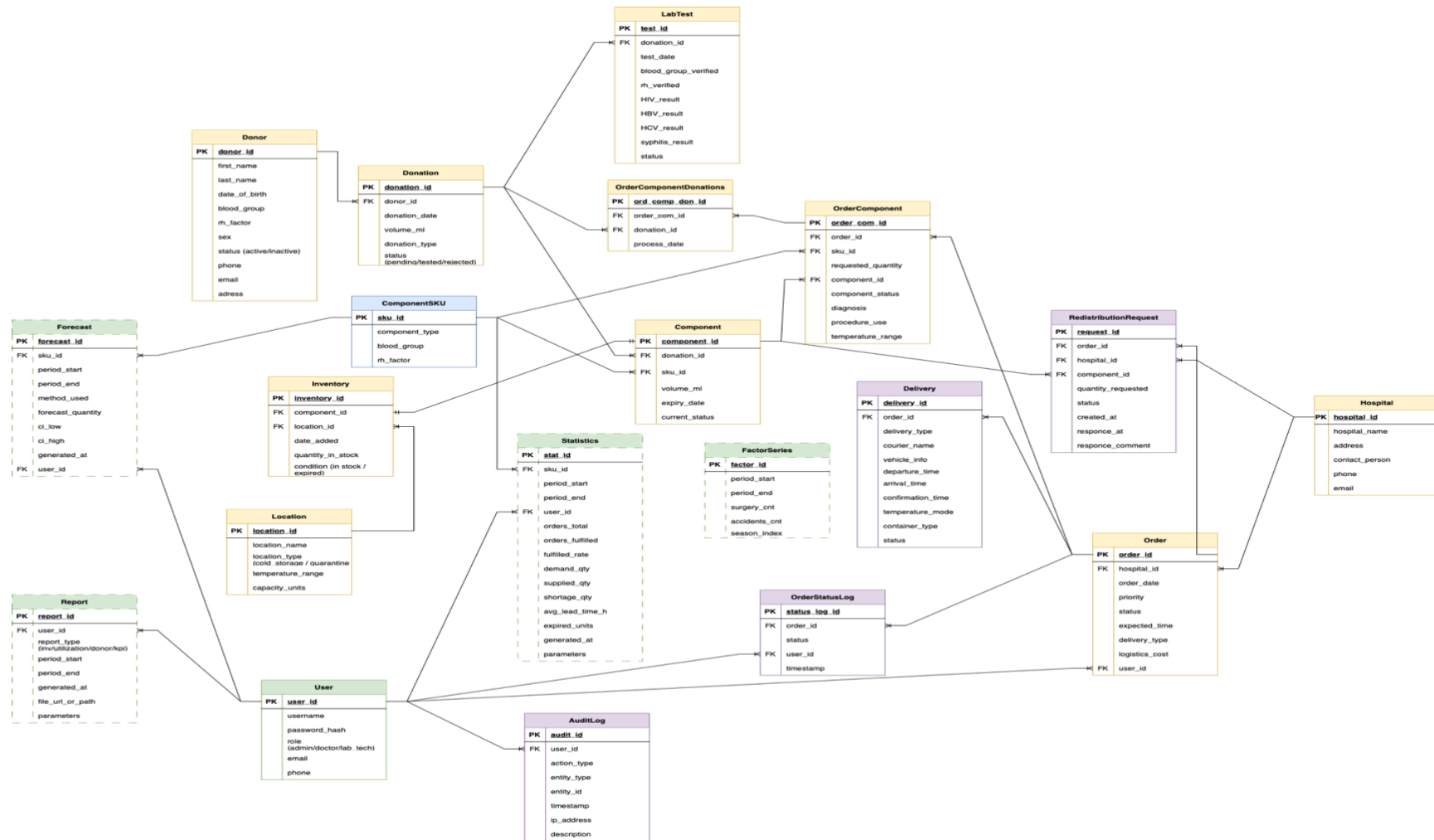


Рисунок 5.1 – Схема бази даних модуля «Управління запасами компонентів крові»

6 РОЗРОБКА Й ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАТЕМАТИЧНОЇ ЗАБЕЗПЕЧУЮЧОЇ СИСТЕМИ

6.1 Прогнозування потреби компонентів крові

Одним із ключових завдань модуля «Управління запасами компонентів крові» є формування обґрунтованого прогнозу потреби компонентів крові. Для цього використовується принцип обліку по SKU, де кожна комбінація типу компоненту, групи крові та ресурс-фактора розглядається як окрема одиниця з власною історією використання.

Застосовується будь-який один із методів до кожного SKU:

- просте (зважене) ковзне середнє;
- експоненційне згладжування;
- регресійні / ML-моделі з урахуванням зовнішніх чинників (операцій, ДТП, сезонності тощо).

Усі методи прогнозування мають свої переваги та обмеження, проте в умовах медичних установ, де поєднується потреба в точності та простоті реалізації, найбільш доцільним є застосування формули методу експоненційного згладжування (2.1).

Припустимо, маємо історію використання для SKU «Тромбоцити, A(II), Rh+» за останні 6 тижні (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 – Історія використання компонентів крові

t	Кількість доз
1	20
2	22
3	18
4	25
5	23
6	27

Відомо, що: коефіцієнт згладжування $\alpha = 0,3$, початковий прогноз $\widehat{Q}_1 = 20$. Проводимо наступні обчислення:

$$\begin{aligned}\widehat{Q}_2 &= \alpha Q_1 + (1 - \alpha)\widehat{Q}_1 = 0,3 \cdot 20 + 0,7 \cdot 20 = 20 \\ \widehat{Q}_3 &= 0,3 \cdot 22 + 0,7 \cdot 20 \approx 20,6 \\ \widehat{Q}_4 &= 0,3 \cdot 18 + 0,7 \cdot 20,6 \approx 19,62 \\ \widehat{Q}_5 &= 0,3 \cdot 25 + 0,7 \cdot 19,62 \approx 21,53 \\ \widehat{Q}_6 &= 0,3 \cdot 23 + 0,7 \cdot 21,53 \approx 21,87 \\ \widehat{Q}_7 &= 0,3 \cdot Q_6 + 0,7 \cdot \widehat{Q}_6 = 0,3 \cdot 27 + 0,7 \cdot 21,87 \approx 23,4\end{aligned}$$

Отже, прогнозована потреба на сьомий тиждень становить приблизно 23 дози компонентів крові для SKU «Тромбоцити, А(II), Rh+».

Кожна прогнозована потреба компонентів крові фіксується в сутності Forecast та є основою для подальших управлінських дій.

6.2 Визначення критичних залишків компонентів крові

Для забезпечення безперервного забезпечення медичних закладів система повинна своєчасно реагувати на досягнення критичних рівнів запасів.

Відповідна логіка реалізується за допомогою наступного критерію, описаного наступним чином:

$$I_{\text{current}} < R_{\text{min}}$$

де I_{current} – фактичний залишок одиниць компонентів крові;

R_{min} – розрахований мінімальний запас, необхідний для задоволення

середньоденного попиту з урахуванням термінів логістики.

Коли залишок опускається нижче порогового значення, система автоматично формує попередження та активує механізм запиту на поповнення.

Значення R_{\min} обчислюється наступним чином:

$$R_{\min} = D_{\text{avg}} \cdot L + R$$

де D_{avg} – середньоденне споживання даного компонента крові, розраховується на основі історичних даних із сутностей Statistics та Report;

L – логістичне запізнення (днів), тобто час між замовленнями і постачанням компонентів крові, значення можуть бути встановлені самостійно (наприклад, доставка – 1-2 дні, самовивіз – 0-1 день);

R – резервний запас компонентів крові, наприклад на 1-2 дні, визначається адміністративно.

6.3 Алгоритм перерозподілу компонентів крові

У випадках, коли центр служби крові не може покрити запит потреби медичного закладу із власних запасів компонентів крові, система запускає процедуру перерозподілу запасів між медичними закладами. Логіка цього процесу ґрунтується на математичному відборі потенційних джерел компонентів крові, які здатні покрити дефіцит в потребі:

$$A_h \geq D \text{ та } C_h \leq C_{\text{max}}$$

де A_h – доступна кількість у медичному закладі h ;

D – кількість доз компонентів крові;

C_h – оцінені логістичні витрати на транспортування;

C_{max} – максимально допустимі витрати, визначені за політикою центру служби крові.

Крім того, система враховує географічний радіус (встановлений 30-50 км), пріоритетність відповіді та час, який медичні заклади мають для підтвердження готовності заповнити потребу компонентів крові.

Оцінка вартості транспортування має суттєве значення при виборі між кількома варіантами закриття потреби компонентів крові. Модель логістичних витрат визначається наступним чином:

$$C = \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot v + \beta_3 \cdot t$$

де d – відстань до мед.закладу-отримувача;

v – об'єм доставки (у дозах);

t – тип доставки (доставка = 1, самовивіз = 0);

β_1 , β_2 , β_3 – вагові коефіцієнти, що можуть бути налаштовані користувачем (β_1 – ціна пального, β_2 – ціна контейнеру, β_3 – ціна доставки).

6.4 Алгоритм роботи веб-додатку центру служби крові модуля «Управління запасами компонентів крові»

Для ефективного функціонування модуля «Управління запасами компонентів крові» постає потреба у чіткості визначеної логіки дій, яка реалізується у вигляді алгоритмічної послідовності процесів. Такий алгоритм охоплює повний життєвий цикл запиту потреби компонентів крові: від моменту надходження потреби від медичного закладу до її фактичного забезпечення, включаючи перевірку наявності потрібних компонентів крові, формування рішень щодо логістики або перерозподілу, моніторинг виконання,

підтвердження отримання компонентів крові та аудит дій користувачів.

Запропонований алгоритм побудований з урахуванням багатьох факторів – зокрема, терміновості потреби, типу транспортування, наявності потрібних компонентів крові, критичності ситуації, часу реагування з боку інших медичних закладів та параметрів безпеки.

Викладений алгоритм (Додаток А) детально відображає всі основні етапи обробки потреби, реалізовані в системі, а також демонструє взаємозв'язок між її модулями, користувачами, базами даних та зовнішніми умовами. Саме ця алгоритмічна логіка є основою програмної реалізації модуля, що дозволяє забезпечити його надійність, узгодженість та масштабованість.

Першим кроком роботи із модулем «Управління запасами компонентів крові» є авторизація користувача. Після запуску системи користувач проходить етап авторизації, ввівши свої облікові дані (логін та пароль). Система перевіряє правильність введення даних і, у разі успішної валідації, надає доступ до головного меню. У головному меню користувач обирає одну з доступних опцій відповідно до своїх функцій:

- прогнозування (обмежений доступ за роллю користувача);
- облік компонентів крові;
- замовлення (відслідковування всіх етапів замовлення (потреби компонентів крові) від отримання, обробки, перерозподілу і до доставки);
- звітність;
- журнал дій (обмежений доступ за роллю користувача).

Користувач (за наявності доступу) може спрогнозувати потреби потрібних компонентів крові на будь-який проміжок часу, може скасувати спрогнозований результат або зберігти для подальшої обробки.

В пункті меню «Облік» користувач може самостійно продивитися наявну кількість компонентів крові та відсортувати компоненти необхідними фільтрами, наприклад, за датою знаходження, типом компоненту, групою крові, місцем зберігання тощо. Також користувач може здійснити списування

компонентів крові із простроченим терміном придатності.

Містким пунктом меню є розділ під назвою «Замовлення». Він містить в собі декілька підпунктів назвою різних статусів обробки потреби, такі як: «Очікування», «У перерозподілі», «У доставці», «Виконано». В підрозділі статусу «Очікування» містяться всі нові потреби, що потребують розгляду. Потреби можна переглянути більш детально просто натиснувши на неї. Далі, система здійснює порівняння наявних запасів компонентів крові із тими, що вказані у потребі.

Якщо компоненти крові наявні, то система пропонує перейти до формування їх доставки. Важливо зазначити, що спосіб доставки залежить від терміновості потреби (медичний заклад вказує терміновість при формуванні потреби), проте, система дозволяє все ж таки оцінити логістичні витрати, обрати та підтвердити спосіб доставки компонентів крові (в разі непередбачуваних ситуацій). Система дозволяє бронювати потрібні компоненти крові при обробці потреби. Далі відбувається процес присвоєння замовленню (потребі) статусу «У доставці», в залежності від типу доставки відбувається різний сценарій: при виборі «Доставка від центру служби крові» користувач має можливість сформулювати маршрут, час відправки, транспорт та тип контейнерів. На виході формується документ, що містить інформацію про доставку потрібних компонентів крові. При виборі «Самовивіз» користувач має обрати часовий інтервал для самовивозу потрібних компонентів, користувач надсилає медичному закладу обраний інтервал часу, і потім, підтверджує вручення.

Якщо потрібних компонентів крові немає в наявності, то замовлення (потреба) переходить до підрозділу «У перерозподілі». Обравши потрібну заявку (потребу), надсилається запит до медичних закладів встановленого радіусу (30-50 км) на заповнення потреби із обмеженим часом на відповідь (10 хвилин). Якщо хоча б один мед. заклад відповів (і перший за чергою), то потрібні компоненти будуть відправлені мед. закладом і замовлення, в свою чергу, має присвоєний статус «Знайдено». У випадку статусу заявки «Не

знайдено», замовлення відправляється до відділу заготівлі компонентів крові. В цей самий час, медичний заклад отримає повідомлення про перенаправлення замовлення на заготівлю.

Підрозділ із статусом «У доставці» дає можливість переглянути перебіг доставки компонентів крові, відслідковувати статус в режимі реального часу. Також є можливість завершення доставки компонентів крові, після чого замовлення переходить до підрозділу «Виконано».

Підрозділ із статусом «Виконано» містить всі виконані потреби компонентів крові, які можна переглянути більш детально та відфільтрувати за потрібним параметром. Наступним чином, можна сформувавши звіт або аналітичний звіт за бажаними параметрами та переглянути його у форматі PDF або роздрукувати.

Пункт меню «Звітність» містить функціонал для формування та перегляду звітів різного призначення за заданим діапазоном дат.

Останнім пунктом меню є розділ «Журнал дій», доступ до якого має лише користувач певної ролі. «Журнал дій» дозволяє відстежувати всі зміни в розділах, зміну статусів та ін., фіксує дату та час, ід користувача, тип дії та ід об'єкту зміни.

7 РОЗРОБКА USER EXPERIENCE (UX) ТА USER INTERFACE (UI) РІШЕНЬ

7.1 Формування опису та задач персон цільової аудиторії

Розробка користувацького інтерфейсу модуля «Управління запасами компонентів крові» передбачає чітке визначення та розмежування типів користувачів, які взаємодіють із системою напряду. Цільову аудиторію модуля складають працівники центру служби крові, кожен із яких має окремий набір функціональних завдань та сценаріїв використання інтерфейсу. Крім того, існують зовнішні учасники процесу, які ініціюють взаємодію, але не мають прямого доступу до модуля. Нижче наведено персоніфікований опис ролей, що використовувалися під час розробки UX/UI-рішень.

Першою персоною цільової аудиторії є медичний працівник медичного закладу (зовнішній користувач). Хоча цей користувач не має доступу до інтерфейсу модуля, саме він ініціює події, на які система повинна оперативно реагувати. Медичний працівник медичного закладу створює запит на компоненти крові у власній медичній ІС, яка інтегрована з центром служби крові. Запити надходять у модуль автоматично та стають основою для подальших дій операторів центру. Вимоги до системи: надійний прийом і обробка запитів, перевірка на повноту, логічну коректність та пріоритизація за ступенем терміновості.

Другою персоною цільової аудиторії є медична сестра центру служби крові, що є основним користувачем системи. Отримує нові запити від медичних закладів, формує замовлення, оцінює наявність запасів, ініціює процеси виділення компонентів крові або перерозподілу з інших закладів. Працює в інтерфейсі, де має доступ до списку запитів, запасів, календаря доставок, журналу дій. Його задача – швидко обробити запит, обрати оптимальний шлях закриття потреби та контролювати виконання. Важлива простота навігації, фокус на задачах, автоматичні підказки щодо найбільш

ефективного сценарію дій.

Третьою персоною цільової аудиторії є керівник відділу управління або медичний статистик. Персона використовує систему для перегляду статистики, формування звітів, оцінки ефективності розподілу запасів. Користувач має обмежену взаємодію із запитами, але повний доступ до даних про замовлення, перерозподіли, запаси та логістику. Вимоги до інтерфейсу: наявність зручного фільтрування, графіків, аналітики в реальному часі, можливість експорту звітів.

Після визначення ключових персон, що взаємодіють із модулем «Управління запасами компонентів крові», було сформовано перелік типових задач, які виконуються кожним типом користувача (таблиця 7.1). Це дозволило чітко розмежувати функціональність інтерфейсу, забезпечити інтуїтивну навігацію, мінімізувати помилки та підвищити ефективність роботи системи.

Таблиця 7.1 – Перелік задач кожної персони

Персона	Основні задачі
Медична сестра центру служби крові	Перегляд вхідних запитів від лікарень; оцінка наявності компонентів крові; прийняття рішень про видачу або перерозподіл; контроль статусу виконання запитів
Керівник або медичний статистик	Формування звітів за період; оцінка статистики викор. запасів; контроль відповідності запитів та виконання; експорт даних для аналітики
Мед. працівник медичного закладу	Ініціація запиту у внутр. мед. ІС (не напряму в модулі); очікування відповіді або доставки; отримання компонентів крові

7.2 Опис вимог до користувацького інтерфейсу

Проектування інтерфейсу модуля «Управління запасами компонентів крові» ґрунтується на принципах медичного UI/UX-дизайну, з урахуванням стандартів безпеки, зручності та точності для роботи з критичною інформацією. Інтерфейс має бути простим у навігації, зрозумілим для користувачів з різним рівнем цифрової компетентності та орієнтованим на швидке ухвалення рішень. До основних вимог користувацького інтерфейсу відносять:

- інтуїтивність та зрозумілість: усі елементи інтерфейсу мають чітко відображати свою функцію, візуальні підказки, повідомлення про помилки та інструкції допомагають уникати помилкових дій;

- розподіл ролей: інтерфейс повинен змінюватися відповідно до рівня доступу користувача (медична сестра, керівник, медичний статистик тощо);

- мінімалізм: кількість одночасно видимих функцій обмежена – лише найнеобхідніше для конкретного етапу роботи, знижує когнітивне навантаження на користувача;

- швидкий доступ до критичної інформації: важливі показники (наприклад, наявність компонентів крові, терміновість запитів, статус виконання доставки) мають бути видимі на першому екрані або легко доступні за одне натискання;

- відповідність стандартам доступності: контрастність, шрифт, ієрархія елементів повинні бути адаптовані до потреб людей із порушеннями зору чи моторики;

- безпека: після автентифікації доступ надається лише до функцій, що відповідають ролі користувача, кожна дія фіксується у журналі подій;

- адаптивність: інтерфейс повинен бути придатним для роботи на стаціонарних та мобільних пристроях (принаймні планшетах).

Під час розробки візуального оформлення модуля «Управління запасами

компонентів крові» було прийнято рішення дотримуватись принципів сучасного UI-дизайну з акцентом на мінімалізм, функціональність та емоційну нейтральність, що особливо важливо у сфері охорони здоров'я.

Основою дизайну є світла тема з поєднанням відтінків синього, сірого та білого кольору. Синій символізує довіру, стабільність і безпеку, а також асоціюється з медичною сферою. Акцентні елементи (наприклад, термінові запити) виділяються червоним або помаранчевим кольором для привернення уваги.

Використано шрифт Inter або Roboto, як такий, що забезпечує зручне читання на екрані. Заголовки мають велику кегльність і жирність для чіткого розділення візуальної ієрархії, тоді як текстові блоки використовують стандартний розмір (14-24 px).

Ключова інформація, як-от статус запиту, терміновість або залишок компонентів, розміщена у верхній частині екрана або в центрі блоків. Це дозволяє миттєво зчитувати дані. Кнопки дій розташовані праворуч (згідно з напрямом зору користувача), мають виразний колір і достатній відступ.

Усі блоки (запити, звіти, форми) виконані за єдиною сіткою з модульною структурою. Це спрощує навігацію, пришвидшує роботу користувача та забезпечує візуальну єдність.

На кожній сторінці є баланс між текстовою, графічною і функціональною частинами: не перевантажено і водночас не занадто спрощено. Порожні простори (white space) використовуються для зменшення візуального шуму та кращого зосередження уваги на головному.

Всі іконки, повідомлення, стилі кнопок – уніфіковані. Це дозволяє зменшити час адаптації користувача та формує звичну логіку взаємодії.

7.3 Розробка загальної схеми користувацького інтерфейсу

З метою формування інтуїтивно зрозумілого та функціонально повного користувацького досвіду було створено набір схем інтерфейсу, які відображають логіку взаємодії з модулем «Управління запасами компонентів крові». Схеми були реалізовані у середовищі Figma з урахуванням попередньо розроблених сценаріїв використання.

На основі алгоритмів та задач, які виконує модуль, було побудовано такі основні інтерфейсні сторінки:

- головна панель управління: має коротке зведення про надходження нових потреб, важливі сповіщення та переліком всіх розділів модуля;
- сторінка замовлень (потреб): містить перелік усіх активних, завершених або перенаправлених замовлень, фільтрами та деталізацією;
- розділ прогнозування: має вибір методу прогнозування та візуалізацією розрахованого рівня запасів компонентів крові;
- розділ журналу дій: зберігає історію змін у системі (хто, коли, що змінював);
- розділ звітності: містить інформацію різного типу для аналітики та моніторингу;
- розділ обліку: відображає наявні запаси компонентів крові, їх розташування, терміни тривалості із можливістю фільтрування компонентів крові за різними параметрами;
- розділ налаштувань: інформація користувача, системні налаштування та налаштування безпеки.

Кожна схема містить логічне групування функціональних блоків, зрозумілі підписи та уніфікований візуальний стиль. Прототип був адаптований для десктопної версії з можливістю масштабування під планшети. Приклади розроблених схем інтерфейсу у Figma подано у Додатку Б.

8 СИНТЕЗ І ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ

8.1 Основні принципи захисту інформації

Розробка модуля «Управління запасами компонентів крові» вимагає особливої уваги до захисту даних, зважаючи на чутливий характер інформації, яка зберігається та обробляється в медичних ІС. Йдеться як про результати тестувань та типи компонентів крові, так і про особисті дані користувачів, логістичну аналітику та бізнес-процеси центру служби крові. Для забезпечення належного рівня безпеки реалізується комплекс заходів відповідно до сучасних стандартів інформаційного захисту, з урахуванням вимог до стабільності, безперервності роботи, масштабованості та надійності [13].

До ключових принципів, які лежать в основі захисту інформації в модулі, відносяться:

- конфіденційність – забезпечення доступу до інформації виключно для авторизованих користувачів;
- цілісність – захист даних від несанкціонованої або випадкової зміни;
- доступність – забезпечення безперервного функціонування системи навіть у разі часткових відмов або перебоїв у зв'язку;
- контроль доступу – регламентація прав і ролей користувачів, журналювання дій.

З метою наочного узагальнення реалізованих заходів безпеки в системі, представлено таблицю відповідності між заявленими нефункціональними вимогами до модуля та способами їхньої технічної реалізації (таблиця 8.1).

Таблиця 8.1 – Нефункціональні вимоги до системи

Вимога	Реалізація у системі
Безперебійна робота	Локальне кешування та резервне копіювання
Захищене зберігання даних	Сервер центру служби крові та шифрування Advanced Encryption Standard (AES)
Захищена передача	HTTPS / TLS 1.3, VPN
Аутентифікація користувачів	Рольова система
Журнал доступу	AuditLog та логування IP-адреси, дій користувача
Відновлення з'єднання	Автоматична синхронізація після офлайн-режиму
Маштабованість	Representational State Transfer (REST) архітектура, модульна структура

В ІС центру служби крові передбачено захищене зберігання даних, що реалізується шляхом зберігання інформації на окремому сервері центру служби крові з впровадженими механізмами шифрування. Додатково система забезпечує регулярне резервне копіювання даних як локально, так і у хмарному середовищі. Такий підхід дає змогу відновити інформацію у разі технічного збою або кібератаки.

Щоб унеможливити перехоплення чи спотворення даних під час передачі, система використовує захищені канали обміну інформацією між медичними закладами. Комунікація здійснюється за допомогою протоколів HTTPS або через VPN, що забезпечує додатковий рівень шифрування та аутентифікації.

Кожен користувач має персональний обліковий запис, доступ до якого захищено за допомогою механізму аутентифікації (логін, пароль, можливе

розширення до двофакторної аутентифікації). Права доступу до функцій модуля розмежовані залежно від ролі користувача: медичної сестри, керівника, медика статистика тощо. Це дозволяє контролювати, які саме дії дозволені конкретному працівникові в системі.

Для забезпечення аудиту та виявлення потенційних загроз у модулі ведеться журнал дій користувачів, де фіксуються всі запити, зміни даних, час доступу та використані функції. Це дозволяє швидко виявити підозрілу активність та відреагувати відповідно до політики безпеки.

У випадку тимчасової втрати зв'язку з мережею реалізована локальна кешована версія даних, що дозволяє користувачу продовжувати роботу з останніми синхронізованими даними. Після відновлення підключення система автоматично здійснює синхронізацію з сервером, оновлюючи базу без втрати даних.

Важливо зазначити, архітектура системи підтримує масштабування та підключення нових медичних закладів без зміни основної структури, що дозволяє зберігати єдиний простір безпеки навіть при розширенні системи.

ВИСНОВКИ

У ході кваліфікаційної роботи було виконано комплексний аналіз та практичну реалізацію модуля «Управління запасами компонентів крові» ІС центру служби крові. Була розглянута організаційна модель центру служби крові із чітко визначеними відділами. Досліджено та обґрунтовано застосування різних методів «Управління запасами компонентів крові» і прогнозування. Проведено детальний огляд вже існуючих ІС центру крові, сформульовано рекомендації щодо інтеграції найкращих практик, впровадження всіх трьох методів управління запасами компонентів крові та прогнозування. На основі функціональної структури центру служби крові було визначено цілі, завдання, мету, функції та вимоги до модуля «Управління запасами компонентів крові», а також було обґрунтовано актуальність даної розробки. Було розроблено моделі прогнозування потреб компонентів крові, описано структуру бази даних, сформовано вимоги до розробки користувацького інтерфейсу із самою розробкою прототипу веб-додатку.

Дана розробка забезпечує комплексну реалізацію модуля, який сприятиме підвищенню оперативності реагування на потреби медичних закладів, зменшення відсотку утилізації компонентів крові через закінчення терміну придатності та оптимізації логістики. Запропоновані рішення відповідають вимогам сучасних медичних ІС і можуть бути легко масштабовані під розширення мережі центрів служб крові.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Blood safety and availability. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blood-safety-and-availability#:~:text=WHO%20recommends%20that%20all%20blood,according%20to%20quality%20system%20requirements> (дата звернення: 05.06.2025).
2. Організація трансфузіологічної допомоги в закладах охорони здоров'я. Керівництво для лікарів : навч. посіб. 2-ге вид. Київ, 2019. С. 36–37. URL: <https://www.aiha.com/wp-content/uploads/2019/05/Ukraine-Hospital-Blood-Transfusion-System-Manual-2019.pdf> (дата звернення: 06.06.2025).
3. Міхнова А.В., Міхнов Д.К., Чиркова К.С. Метод управління запасами компонентів донорської крові. АСУ і прилади автоматики. 2025. №184. С. 39–51.
4. Guidelines on management of blood and blood components as essential medicines. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/publications/m/item/blood-and-blood-components-as-essential-medicines-annex-3-trs-no-1004> (дата звернення: 07.06.2025).
5. Fitra Lestari. Forecasting demand in blood supply chain. Proceedings of the world congress on engineering, London. 2017.
6. Smith J., Lee K. Just-in-Time inventory control in healthcare supply chains // Health Systems. 2019. Vol. 8, No 1. P. 78–92.
7. ДП «Медичні закупівлі України». Цифровізація: Медична система Smart. URL: <https://mpu.gov.ua/uk> (дата звернення: 01.05.2025).
8. eProgesa. URL: <https://www.eprogesa.com> (дата звернення: 05.05.2025).
9. HemaSoft. URL: <https://www.hemasoft.com> (дата звернення: 05.05.2025).
10. ABO Express. URL: <https://www.aboexpress.com> (дата звернення: 06.05.2025).

11. Smart Medical System. Розділ «Цифровізація». URL: <https://medzakupivli.com.ua> (дата звернення: 07.05.2025).

12. Міхнова А.В., Міхнов Д.К., Чиркова К.С. Модернізація спеціалізованих інформаційних систем служби крові. АСУ і прилади автоматики. 2023. № 179. С. 25–31.

13. ISO/IEC 27001:2013. Information technology security techniques. Information security management systems. Requirements. Geneva. ISO, 2013. 52 p.

14. Лисенко Д.Б. Аналіз методів управління запасами компонентів крові // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 29-го Міжнар. молодіж. форуму, 16–19 квіт. 2025 р. Харків, 2025. Т. 6. С. 160–161.

15. Доля О.Є. Методичні вказівки до передатестаційної практики для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» освітньої програми «Інформаційні технології управління» / Доля О.Є. – Харків : ХНУРЕ, 2023.

16. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Чинний від 2017-07-01. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.

17. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01. – Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с.