

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра економічної кібернетики та інформатики

Козак Олександр Володимирович

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ
НАДАННЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ У ЛІКАРНІ

спеціальність: 124 – Системний аналіз
освітньо-професійна програма – Системний аналіз

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи
САм -21
К.В.Козак

Науковий керівник
доктор економічних наук Л. М.
Буяк

ТЕРНОПІЛЬ – 2024

Тернопіль 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ НАДАННЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ.....	11
1.1 Поняття системного підходу.....	11
1.2 Особливості процесів в медицині в контексті системного моделювання.....	16
1.3 Методологічні підходи до моделювання бізнес-процесів.....	21
Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2. ІНСТРУМЕНТИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МЕДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	29
2.1 Використання спеціалізованих програмних засобів для збору та обробки даних.....	29
2.2 ІТ рішення для моделювання та оптимізації медичних процесів.....	36
2.3 Практичне впровадження ІТ-рішень у медичних закладах.....	43
Висновки до розділу 2.....	50
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ МЕДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛІКАРНЯХ.....	51

3.1 Формалізація та побудова математичної моделі для оптимізації медичних процесів.....	51
3.2 Розробка концепції програмного засобу для управління медичними процесами з інтеграцією оптимізаційної моделі.....	59
Висновки до розділу 3.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

У сучасних реаліях, коли медичні заклади стикаються зі зростаючими викликами ефективного управління потоками пацієнтів, персоналом і ресурсами, інформаційні технології стають невід'ємною частиною оптимізації цих процесів. Використання програмних засобів, заснованих на математичному моделюванні, дозволяє не лише вирішувати поточні організаційні завдання, але й створювати передумови для стратегічного планування в умовах нестабільності та невизначеності.

Тема моделювання та оптимізації медичних процесів у лікарнях здобуває актуальність у світлі зростаючих вимог до якості медичних послуг та обмеженості ресурсів. Ефективне використання інформаційних технологій у цій галузі передбачає розробку інноваційних рішень, які враховують специфіку медичних закладів, динамічність їхніх процесів і різноманітність учасників системи.

У цьому контексті, створення концепції програмного засобу, що інтегрує оптимізаційні моделі, стає стратегічно важливим завданням. Такі рішення дозволяють не лише автоматизувати управління ресурсами, але й підвищити якість медичних послуг, скоротивши час очікування пацієнтів, оптимізуючи завантаження персоналу та мінімізуючи ризики в кризових ситуаціях.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розробка концепції програмного засобу для оптимізації медичних процесів у лікарнях, включаючи інтеграцію математичних моделей для розподілу ресурсів.

Основними завданнями дослідження є:

- визначення функціональних і технічних вимог до програмного забезпечення для оптимізації діяльності медичних процесів;
- аналіз існуючих підходів до оптимізації медичних процесів;
- розробка математичної моделі для управління потоками пацієнтів і ресурсами;
- створення архітектури програмного засобу з урахуванням сучасних технологій;

Об'єктом дослідження є процеси управління ресурсами та потоками пацієнтів у медичних закладах.

Предметом дослідження є методи математичного моделювання та програмні засоби, що використовуються для оптимізації цих процесів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні нової концепції програмного засобу для управління медичними процесами із інтеграцією оптимізаційної моделі. Запропоновано методику автоматизації управління ресурсами на основі динамічного моделювання в умовах реального часу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання математичної моделі для підвищення ефективності роботи лікарень, скорочення часу обслуговування пацієнтів і зниження витрат на організацію медичних процесів.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 72 сторінки. Робота містить 10 рисунків. Список використаних джерел складає 11 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ НАДАННЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ

1.1 Поняття системного підходу

Системний підхід — це методологія дослідження, аналізу та управління складними об'єктами, які складаються з взаємопов'язаних елементів, що функціонують як єдине ціле. Цей підхід дозволяє розглядати проблеми у широкому контексті, враховуючи як внутрішні, так і зовнішні фактори, що впливають на систему.

Системний підхід є ключовою методологією для аналізу та управління складними об'єктами, особливо в умовах багатофакторного середовища. Він базується на розумінні того, що будь-який об'єкт або процес можна представити як систему — сукупність взаємопов'язаних елементів, що функціонують разом для досягнення певних цілей. Застосування цього підходу дозволяє забезпечити узгодженість між окремими компонентами системи, а також врахувати їхній вплив на зовнішнє середовище.

Розглянемо основні принципи системного підходу (рис.1.1):

- Цілісність. Цей принцип означає, що система розглядається як єдине ціле, що перевищує просту суму її частин. Взаємодія між елементами створює нові властивості, які не характерні для кожного окремого елемента.
- Взаємозв'язок і взаємозалежність. Усі елементи системи пов'язані між собою, і зміна одного з них неминуче впливає на інші. Це передбачає необхідність врахування ефекту таких змін для системи загалом.
- Динамічність. Система є динамічною, тобто змінюється з часом під впливом як внутрішніх, так і зовнішніх факторів. Динамічність вимагає врахування змінних, які впливають на поведінку системи.
- Адаптивність. Будь-яка система має здатність адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі.

- Ієрархічність. Система складається з підсистем, які, у свою чергу, можуть бути поділені на менші складові. Аналіз і управління вимагають розгляду кожного рівня ієрархії.
- Цільова орієнтація. Будь-яка система створюється для досягнення певної мети.
- Рівновага (баланс). Система повинна підтримувати стан рівноваги між внутрішніми елементами та зовнішнім середовищем.
- Інформаційна прозорість. Функціонування системи залежить від ефективності інформаційного обміну між її елементами.
- Модульність. Система може бути розділена на окремі модулі, які виконують автономні функції, але водночас є частиною єдиного механізму. Така структура дозволяє здійснювати локальні зміни без серйозного впливу на функціонування системи загалом.
- Орієнтація на зовнішнє середовище. Система не існує у вакуумі, а взаємодіє з зовнішнім середовищем. Цей принцип вимагає врахування впливу зовнішніх факторів, таких як демографічні зміни, економічні умови чи нормативно-правове регулювання.

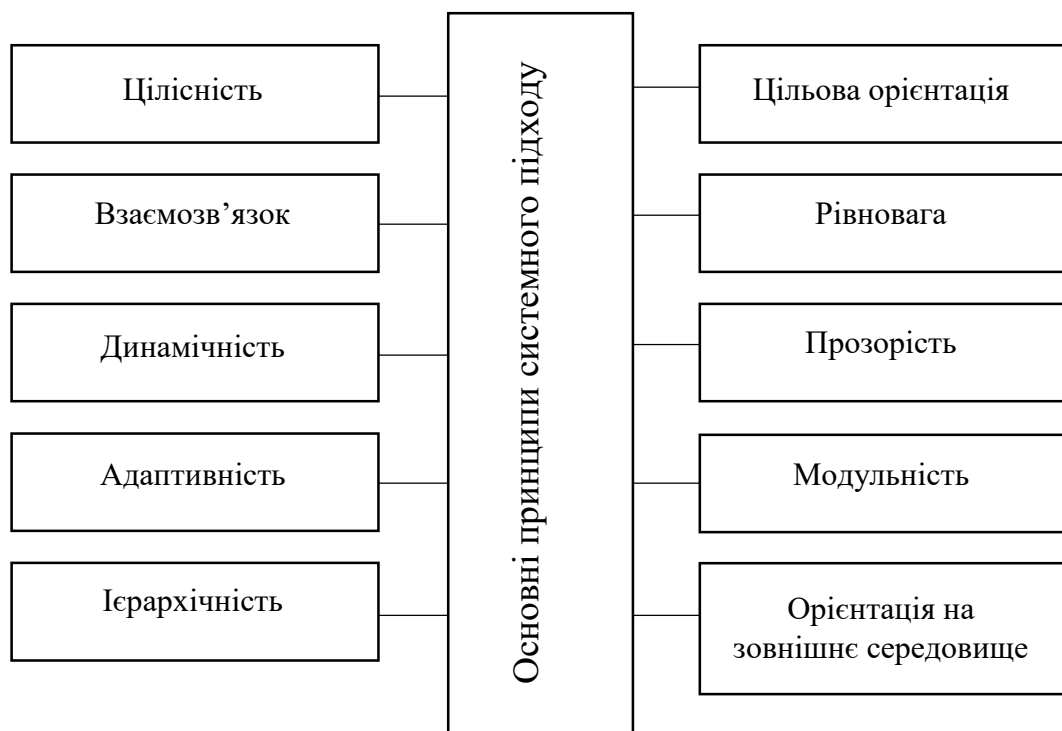


Рис. 1.1. Основні принципи системного підходу

Основоположною характеристикою системного підходу є його здатність забезпечувати цілісний аналіз системи. Це означає, що система не може бути розглянута лише як сума її окремих компонентів, оскільки її функціональні властивості залежать від взаємодії цих компонентів і їхнього інтегрованого функціонування. У контексті медичних закладів система охорони здоров'я включає не лише пацієнтів, медичний персонал і обладнання, але й організаційні процеси, управлінські рішення та інформаційні технології.

Ключовою особливістю системного підходу є його акцент на взаємозв'язках і залежностях між елементами. Ця особливість стає особливо важливою у випадках, коли зміна одного з елементів може суттєво вплинути на загальну поведінку системи. У практиці охорони здоров'я це можна проілюструвати на прикладі оптимізації ресурсів лікарні. Навіть незначні зміни в розподілі робочого часу медичного персоналу або доступності обладнання можуть кардинально змінити ефективність роботи закладу.

Системний підхід передбачає також вивчення динаміки системи, тобто змін, які відбуваються в ній з часом. Таким чином, системний підхід дозволяє не лише розуміти поточний стан системи, але й моделювати її поведінку в майбутньому.

Ще одним важливим аспектом системного підходу є врахування зовнішнього середовища, в якому функціонує система. Взаємодія між системою та її середовищем визначає її адаптивні можливості та здатність реагувати на зовнішні виклики.

Інтегративний характер системного підходу також вимагає врахування багаторівневості системи. Це означає, що будь-яка складна система, як-от лікарня, складається з підсистем (відділень, служб), які, своєю чергою, також є системами. Аналіз на різних рівнях дозволяє визначити, як локальні процеси впливають на загальну ефективність.

Перевага системного підходу полягає і в тому, що він забезпечує гнучкість у процесі прийняття рішень. Використання цього підходу дозволяє формувати

альтернативні сценарії розвитку системи, оцінювати їхні наслідки і вибирати оптимальні рішення з урахуванням обмежень і доступних ресурсів.

Системний підхід також забезпечує міждисциплінарність, оскільки для його реалізації необхідно залучати знання з різних галузей, таких як медицина, інформатика, економіка та управління.

Таким чином, системний підхід є потужним інструментом для аналізу, моделювання та оптимізації складних систем. Він дозволяє виявляти проблеми, оцінювати їхній вплив на загальну ефективність системи, знаходити рішення та адаптуватися до мінливих умов зовнішнього середовища. Його використання в охороні здоров'я є важливим кроком до підвищення якості медичних послуг та ефективного використання ресурсів.

Системний підхід у своїй основі спирається на інтеграцію різних дисциплін і використання широкого спектра інструментів для розуміння, аналізу та управління складними об'єктами. Це методологія, яка виникла на перетині наук, зокрема кібернетики, теорії систем і операційних досліджень, та отримала потужний розвиток у другій половині XX століття. Його цінність полягає в універсальності — він однаково ефективно застосовується у фізичних, біологічних і соціальних системах. У сучасному світі це робить системний підхід незамінним у сферах, де складність і багатовимірність є визначальними характеристиками, зокрема в охороні здоров'я.

Один із найбільш складних аспектів системного підходу — це моделювання. Створення моделі, яка точно відображає структуру, взаємозв'язки і функціонування системи, є складним завданням. Для медичних закладів це може вимагати врахування не лише організаційних процесів, але й таких чинників, як людський фактор, мінливість попиту на послуги або нормативно-правові обмеження. Моделі, що використовуються для оптимізації потоків пацієнтів, повинні враховувати не лише кількість персоналу чи обладнання, а й можливі коливання у швидкості обслуговування залежно від рівня завантаженості системи.

Одним із важливих методологічних аспектів є баланс між спрощенням і складністю. У той час як спрощення дозволяє зосередитися на ключових елементах і зменшує обсяг обчислень, воно також може призвести до втрати критично важливих деталей. У системах охорони здоров'я це може бути особливо проблематичним, оскільки навіть невраховані дрібниці можуть вплинути на кінцеві результати. З іншого боку, надмірна деталізація моделей може зробити їх громіздкими і важкими для аналізу, що вимагає обережного вибору рівня абстракції.

Особливу увагу в межах системного підходу приділяють питанням оптимізації. Це не просто процес пошуку найкращого рішення в межах наявних ресурсів, але й динамічний процес, який враховує змінність зовнішніх умов і появу нових обмежень. У контексті медичних послуг оптимізація може включати не лише управління ліжковим фондом чи розподілом персоналу, але й довгострокове стратегічне планування.

Системний підхід також має значний потенціал у побудові сценаріїв розвитку систем. Зокрема, він дозволяє оцінювати наслідки різних сценаріїв розвитку подій, враховуючи як можливі переваги, так і ризики. У сфері охорони здоров'я це може включати прогнозування впливу інновацій на якість послуг або оцінку економічних наслідків зміни політики фінансування медичних закладів.

Ще однією унікальною особливістю системного підходу є його здатність виявляти приховані зв'язки та закономірності в системах. Завдяки використанню сучасних інформаційних технологій, таких як великі дані, машинне навчання чи штучний інтелект, стало можливим розширити межі системного аналізу, виявляючи навіть найменш очевидні взаємозв'язки між процесами. У лікарні аналіз даних пацієнтів може виявити закономірності, які сприяють ранньому виявленню певних захворювань або дозволяють покращити логістику процесів обслуговування.

Важливо також зазначити, що застосування системного підходу вимагає чіткого визначення меж системи. Під час моделювання важливо не лише

визначити, які елементи входять до складу системи, але й чітко окреслити, що залишатиметься поза її межами.

Системний підхід має не лише прикладне, але й етичне значення. В охороні здоров'я він дозволяє створювати більш гуманні системи, орієнтовані на пацієнта. Замість того, щоб розглядати пацієнта як один із елементів системи, системний підхід забезпечує його центральне місце, оскільки всі процеси в системі підпорядковуються меті покращення здоров'я та якості життя.

Системний підхід — це не лише потужний аналітичний інструмент, але й методологічна основа, яка дозволяє інтегрувати різноманітні аспекти функціонування складних систем для досягнення стратегічних і операційних цілей. Його багатовимірність і адаптивність роблять його надзвичайно актуальним у контексті сучасної медицини.

1.2 Особливості процесів в медицині в контексті системного моделювання

Медичні процеси є об'єктом дослідження численних наукових дисциплін, і їх системне моделювання є складною, але критично важливою задачею. Щоб зрозуміти суть цих процесів, необхідно розглянути їх через призму ключових характеристик, які відрізняють медичну сферу від інших галузей: складність і багаторівневність, динамічність, вплив людського фактора, багатофакторність і варіативність.

Медичні процеси являють собою сукупність взаємопов'язаних дій, що відбуваються на різних рівнях, мікрорівень (пацієнт і медичний персонал), мезорівень (лікарня або клініка) та макрорівень (національна система охорони здоров'я). Кожен із цих рівнів має свої особливості, але не існує ізольовано. На макрорівні можуть прийматися управлінські рішення про фінансування, що безпосередньо впливає на ефективність роботи закладів охорони здоров'я на мезорівні та на якість послуг для пацієнта.

Системне моделювання дозволяє аналізувати ці рівні інтегровано, використовуючи як агреговані моделі для відображення загальних тенденцій, так і детальні моделі для аналізу локальних процесів. У рамках імітаційного

моделювання лікарні можуть бути створені моделі, що враховують розподіл потоків пацієнтів, доступність медичного персоналу, ефективність використання обладнання.

Для відображення складності таких систем доцільно використовувати багатoshарові моделі, де кожен рівень описується окремо, але через чітко визначені взаємозв'язки. Так, у моделі лікарні взаємодія між відділеннями (хірургія, діагностика, реанімація) може бути представлена як потоки ресурсів (пацієнти, медики, обладнання), які коригуються залежно від умов.

Однією з ключових характеристик медичних процесів є їхня постійна динаміка. Раптові епідемії, катастрофи, сезонні коливання захворюваності створюють умови, коли система повинна швидко адаптуватися. Системне моделювання тут відіграє роль не лише інструмента аналізу, а й засобу для побудови прогнозів.

Для динамічних систем, таких як лікарні, часто використовуються диференційні рівняння або дискретно-подійне моделювання. Для прогнозування навантаження на відділення інтенсивної терапії можуть бути розроблені моделі, які враховують ймовірність надходження пацієнтів із певними ускладненнями та середній час їх перебування у відділенні.

Зміна зовнішніх умов вимагає врахування багатьох сценаріїв у моделюванні. У разі пандемії COVID-19 медичні заклади повинні були негайно реорганізувати свої процеси, включаючи перенаправлення ресурсів, збільшення ліжкомісць, впровадження дистанційних консультацій. У моделях такого типу важливо враховувати сценарії «що-якщо» (what-if), які дозволяють оцінити вплив різних управлінських рішень.

Системний підхід до медичних процесів вимагає врахування великої кількості факторів. Якість надання медичної допомоги залежить не лише від кваліфікації персоналу, але й від технологій, організаційних структур, рівня фінансування, а також індивідуальних особливостей пацієнтів.

У системному моделюванні ці фактори інтегруються шляхом створення гібридних моделей. Можна об'єднати стохастичні моделі для врахування

ймовірностей певних подій і агентно-орієнтовані моделі для опису поведінки пацієнтів та персоналу. Агентно-орієнтовані моделі особливо корисні для аналізу поведінкових аспектів, взаємодії пацієнтів із системою охорони здоров'я чи дотримання лікувальних рекомендацій.

Унікальність кожного пацієнта є ключовим викликом для моделювання медичних процесів. Врахування індивідуальних особливостей вимагає розробки персоналізованих моделей. Моделі прогнозування ефективності лікування можуть включати такі змінні, як вік, стать, генетичні фактори, супутні захворювання.

З розвитком штучного інтелекту з'явилася можливість створення більш точних персоналізованих моделей. Наприклад, алгоритми глибокого навчання використовуються для аналізу медичних зображень, прогнозування ризиків серцево-судинних захворювань або розробки індивідуальних планів лікування. Варіативність також стосується організаційних аспектів. У невеликих лікарнях процеси значно відрізняються від тих, що мають місце у великих багатопрофільних закладах. У моделюванні слід враховувати ці особливості, щоб забезпечити точність і адаптивність моделей до різних умов.

Інформаційні технології є важливим компонентом у системному моделюванні медичних процесів. Використання електронних медичних записів, систем підтримки прийняття рішень, великих даних і телемедичних платформ дозволяє збирати, аналізувати й інтегрувати інформацію.

Інструменти аналізу великих даних дозволяють створювати моделі, які враховують мільйони записів пацієнтів, надаючи точні прогнози щодо потреб у ресурсах чи ефективності лікування. Вивчення даних про госпіталізацію може допомогти передбачити пікові періоди навантаження і відповідно організувати роботу закладу.

Унікальною перевагою сучасних ІТ-рішень є можливість реального часу. Моделі розподілу ресурсів можуть оновлюватися на основі даних, що надходять у реальному часі, дозволяючи швидко реагувати на зміни.

Медичні процеси завжди перебувають під впливом обмежень бюджету. Системне моделювання дозволяє враховувати ці обмеження, оцінюючи ефективність витрат і розподіл ресурсів. Моделі оптимізації можуть допомогти визначити найкращі способи розподілу обладнання між відділеннями або вибір пріоритетних напрямків фінансування.

Оптимізація медичних процесів є одним із основних завдань сучасних систем охорони здоров'я. В умовах обмежених ресурсів і високих вимог до якості медичних послуг необхідно точно ідентифікувати параметри, які мають вирішальне значення для ефективності, доступності й безпеки медичної допомоги. Ці параметри охоплюють як операційні, так і стратегічні аспекти, враховуючи динамічність, взаємозалежність і складність медичних систем.

Одним із найважливіших параметрів є ресурси, зокрема людські, матеріальні та технологічні. Людські ресурси включають медичний персонал різного рівня кваліфікації: лікарів, медичних сестер, адміністративний і технічний персонал. У процесі оптимізації слід враховувати рівень навантаження на персонал, їх продуктивність, графіки роботи, що дозволяє мінімізувати вигорання та покращити якість обслуговування пацієнтів.

Оптимізація матеріальних ресурсів передбачає забезпечення достатньої кількості ліжокмісць, обладнання для діагностики й лікування, а також витратних матеріалів. Важливо враховувати баланс між доступністю ресурсів і їх ефективним використанням. Планування розташування обладнання в межах лікарні може значно вплинути на час і якість обслуговування.

Технологічні ресурси охоплюють ІТ-рішення, включаючи електронні медичні записи (EMR), системи підтримки прийняття рішень (CDSS) і телемедичні платформи. Оптимізація цих інструментів полягає у їх інтеграції, налаштуванні для швидкого доступу до інформації та мінімізації витрат часу на адміністративні завдання.

Час є одним із критичних параметрів, який впливає як на пацієнтів, так і на медичний персонал. Оптимізація медичних процесів повинна враховувати такі часові показники:

- Час очікування пацієнтів. Надмірне очікування може призвести до погіршення здоров'я пацієнтів і зниження рівня їх задоволеності. Для цього використовуються математичні моделі черг, що дозволяють передбачити навантаження і ефективно розподіляти потоки.
- Тривалість процедур. Для багатьох діагностичних і лікувальних процедур можна знайти резерви часу через впровадження більш ефективних протоколів або автоматизації рутинних операцій. У рентгенодіагностиці використання алгоритмів штучного інтелекту може значно зменшити час аналізу зображень.
- Реакція на невідкладні стани. У процесах надання екстреної допомоги час є вирішальним. Оптимізація маршрутів швидкої допомоги та впровадження систем раннього сповіщення допомагають зменшити час до початку лікування.

Оптимізація потоків пацієнтів у лікарні є складним завданням через їхню нерівномірність і непередбачуваність. Аналіз потоків охоплює такі аспекти, як маршрути пацієнтів у лікарні, розподіл між відділеннями, взаємодія між рівнями надання медичної допомоги.

Моделювання потоків пацієнтів часто ґрунтується на теорії масового обслуговування або агентно-орієнтованих підходах. Це дозволяє ідентифікувати вузькі місця в процесах і запропонувати варіанти їх усунення. Перенаправлення пацієнтів із менш серйозними станами до амбулаторних клінік може знизити навантаження на стаціонар.

У цьому контексті також варто враховувати соціальні та демографічні особливості пацієнтів, які впливають на інтенсивність і специфіку потоків. У регіонах із високою часткою літнього населення буде більша потреба у послугах кардіологів та ортопедів.

Оптимізація процесів також повинна враховувати якість надання послуг. Якість оцінюється за такими параметрами, як точність діагностики, ефективність лікування, рівень задоволеності пацієнтів і частота ускладнень.

Застосування систем підтримки прийняття рішень (CDSS) є одним із ключових засобів підвищення якості. Ці системи допомагають лікарям приймати рішення на основі аналізу великих обсягів даних, включаючи результати клінічних досліджень, історії хвороби пацієнтів і поточні медичні рекомендації. Оптимізація якості включає впровадження стандартів лікування, таких як протоколи Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) або локальних рекомендацій. Дотримання таких стандартів дозволяє зменшити варіативність у наданні послуг і підвищити їх передбачуваність.

Одним із важливих аспектів є вартість медичних процесів. Оптимізація повинна враховувати як прямі витрати, так і непрямі.

Методи оптимізації витрат можуть включати впровадження економічно ефективних протоколів лікування, скорочення зайвих процедур, впровадження телемедицини для зменшення кількості відвідувань. Заміна звичайних госпіталізацій на амбулаторні процедури може значно зменшити загальні витрати лікарні.

Аналіз великих даних (Big Data) відкриває нові можливості для оптимізації медичних процесів. Використання великих обсягів структурованих і неструктурованих даних дозволяє виявляти приховані залежності, прогнозувати потреби в ресурсах, оцінювати ефективність лікування.

Машинне навчання може бути використане для прогнозування ризику ускладнень після операцій або визначення оптимальних графіків роботи персоналу. Крім того, аналіз даних у реальному часі дозволяє адаптувати процеси до змінних умов, таких як спалахи інфекційних захворювань або зміна кількості пацієнтів.

1.3 Методологічні підходи до моделювання бізнес-процесів

Моделювання в медичних системах є важливим інструментом для аналізу, прогнозування та оптимізації процесів. Основні підходи до моделювання охоплюють різноманітні методології, серед яких виділяються динамічні, дискретно-подійні, агентно-орієнтовані та стохастичні моделі. Кожен з цих типів

має свою унікальну специфіку і відповідає окремим аспектам роботи медичних систем. Поглиблений розгляд цих підходів допомагає зрозуміти їхню роль у покращенні ефективності й надійності надання медичних послуг.

Динамічні моделі відображають зміну параметрів системи у часі, що дозволяє аналізувати довгострокові процеси, такі як поширення інфекцій або завантаженість медичних установ. Ці моделі базуються на описі безперервних змін за допомогою диференціальних рівнянь, де кожен параметр впливає на інші елементи системи. Епідеміологічні моделі, зокрема SIR, деталізують динаміку інфекційних захворювань, описуючи взаємодію між здоровими, інфікованими та вилікованими індивідами. Цей підхід виявляється корисним для оцінки ефективності профілактичних заходів, таких як вакцинація, а також для прогнозування поширення хвороб в різних сценаріях.

Іншим методом є дискретно-подійне моделювання, яке фокусується на процесах, що розглядаються як послідовність подій. Замість опису безперервних змін тут аналізуються події, що виникають у конкретні моменти часу, прихід пацієнтів до приймального відділення чи початок медичної процедури. Такі моделі дозволяють детально аналізувати функціонування лікарень, включно з оптимізацією потоків пацієнтів, управлінням чергами або прогнозуванням завантаженості обладнання. Завдяки цьому підходу можливо оцінювати вплив різних стратегій розподілу ресурсів, що дозволяє мінімізувати час очікування та підвищити загальну ефективність.

Агентно-орієнтоване моделювання в свою чергу акцентує увагу на поведінці окремих компонентів системи, які діють автономно, але водночас взаємодіють між собою. Кожен агент має власні характеристики і правила поведінки, що дозволяє враховувати специфіку різних учасників процесу – від пацієнтів до медичного персоналу. За допомогою таких моделей можна аналізувати, як соціальні або економічні фактори впливають на рішення людей звертатися за медичною допомогою. Цей підхід дозволяє враховувати адаптивну поведінку системи у відповідь на зовнішні зміни, що робить його надзвичайно корисним для довгострокового прогнозування.

Окремо варто виділити стохастичні моделі, які враховують випадковість подій, що виникають у медичних системах. Цей підхід є ключовим для аналізу ризиків, прогнозування ресурсів або оцінки ймовірності виникнення певних подій. У випадку епідемій стохастичні моделі дозволяють враховувати ймовірнісну природу інфікування та різні сценарії поширення хвороб залежно від специфічних умов. Вони також корисні для оцінки рідкісних, але критичних подій, таких як збої у системах забезпечення медичних послуг під час надзвичайних ситуацій.

Моделювання у медичних системах рідко базується на одному підході. Найчастіше використовуються комбіновані моделі, які інтегрують елементи різних методів, дозволяючи враховувати одночасно і глобальні тенденції, і локальні особливості. Моделювання епідемій може включати як динамічний підхід для аналізу загальної ситуації, так і агентно-орієнтований для оцінки індивідуальної поведінки пацієнтів та медичного персоналу. Таке поєднання підвищує точність прогнозів і забезпечує гнучкість у створенні ефективних рішень для реальних ситуацій.

Кожен із підходів до моделювання має свої переваги і обмеження, що вимагає ретельного вибору методології залежно від завдань дослідження. Якщо необхідно оцінити довгострокову ефективність профілактичних заходів, то перевагу варто надати динамічним моделям. Якщо ж завдання полягає у мінімізації часу очікування пацієнтів у чергах, то доцільним буде дискретно-подійний підхід. Використання комплексних моделей, які об'єднують переваги різних методів, є найбільш перспективним напрямком у сучасному моделюванні медичних систем.

Вибір моделі для оптимізації медичних процесів є багатофакторним завданням, яке вимагає врахування як загальних принципів моделювання, так і особливостей конкретної медичної установи. Це завдання є основоположним етапом у створенні системи підтримки прийняття рішень, оскільки від адекватності вибору залежить точність отриманих результатів і ефективність запропонованих рішень. Процес вибору моделі базується на аналізі мети

дослідження, характеристик об'єкта моделювання та обмежень, пов'язаних із доступністю даних і технологій.

Ключовим фактором у виборі моделі є розуміння цілей моделювання. Для планування ресурсів лікарні, таких як кількість ліжок-місць, медичного персоналу чи запасів медикаментів, доречним буде застосування динамічних моделей. Вони дозволяють враховувати зміну параметрів у часі і забезпечують глибоке розуміння того, як різні рішення впливають на довгострокову стабільність системи. Наприклад, планування у періоди сезонного зростання захворюваності може бути ефективно реалізоване за допомогою таких моделей. У свою чергу, для задач прогнозування, таких як передбачення попиту на медичні послуги чи оцінка ймовірності епідемічних спалахів, корисними є стохастичні підходи. Вони дозволяють враховувати невизначеність та варіативність подій, які є характерними для медичних процесів.

Оптимізація потоків пацієнтів, яка часто є критичною для великих лікарень та клінік, потребує використання дискретно-подійного моделювання. Цей підхід надає можливість деталізувати динаміку черг у приймальних відділеннях, взаємодію між різними службами лікарні та використання обладнання. Моделі такого типу дозволяють оцінити, як зміни в організації процесів – наприклад, впровадження нових графіків роботи медичного персоналу чи модернізація систем реєстрації – можуть впливати на швидкість обслуговування пацієнтів. Водночас у випадках, коли важливо врахувати поведінку окремих суб'єктів системи, таких як пацієнти чи лікарі, більш доцільним є застосування агентно-орієнтованих моделей. Ці моделі дозволяють змодельовати індивідуальні рішення, які зумовлюють загальну динаміку медичних процесів.

Специфіка медичних установ також відіграє важливу роль у виборі підходу до моделювання. Розміри лікарні, тип наданих послуг, рівень технологічної забезпеченості та навіть географічне розташування можуть значно впливати на вибір методології. Великі багатопрофільні лікарні потребують використання складних багаторівневих моделей, які враховують взаємодію між численними підрозділами. У таких випадках інтегровані підходи, що поєднують динамічні та

дискретно-подійні методи, можуть забезпечити найбільш точний аналіз. Натомість для невеликих клінік, де організаційна структура є значно простішою, доцільніше використовувати більш спрощені моделі, які зосереджуються на ключових процесах, таких як розподіл ресурсів або організація запису на прийом.

Тип наданих послуг також визначає підхід до моделювання. Для лікарень, що спеціалізуються на невідкладній допомозі, критично важливо оптимізувати процеси реєстрації та транспортування пацієнтів. Це може бути реалізовано за допомогою дискретно-подійних моделей, які дозволяють оцінити ефективність різних схем розподілу пацієнтів між відділеннями. У той же час, лікарні з акцентом на планові процедури, такі як хірургічні операції, можуть потребувати моделей, орієнтованих на довгострокове планування ресурсів і прогнозування. Ще одним важливим фактором є рівень технологічної забезпеченості медичної установи. У лікарнях, які вже впровадили електронні медичні записи та системи моніторингу пацієнтів, доступ до даних значно полегшує процес моделювання. Це відкриває можливість використання більш складних методів, таких як машинне навчання, для аналізу даних і побудови прогнозів. У лікарнях з низьким рівнем автоматизації підхід до моделювання обмежується доступними ресурсами, тому моделі мають бути адаптовані до обмеженого обсягу даних та необхідності інтеграції результатів у традиційні процеси управління.

Процес вибору моделі також включає оцінку доступності даних, необхідних для її побудови. У разі недостатності даних для створення детальних моделей, доцільно використовувати методи, які дозволяють працювати з неповною інформацією, наприклад, стохастичне моделювання. У випадках, коли лікарня має широкий масив даних, зокрема про історію лікування пацієнтів, рівень завантаженості відділень чи тривалість процедур, можна застосовувати більш точні методи, включаючи математичні та статистичні моделі.

Таким чином, вибір моделі для оптимізації медичних процесів є багатогранним завданням, яке залежить від мети аналізу, особливостей медичної установи та обмежень, пов'язаних із ресурсами. Ретельне врахування цих

факторів дозволяє забезпечити ефективне моделювання, яке враховує специфіку об'єкта дослідження і сприяє прийняттю оптимальних рішень для покращення якості медичних послуг.

Математичні та системні підходи є фундаментальними інструментами для аналізу та оптимізації медичних процесів, які за своєю природою є складними, багатфакторними та взаємозалежними. Застосування цих підходів дозволяє розглядати медичну установу як єдину систему, що складається з окремих елементів — підрозділів, персоналу, пацієнтів, ресурсів і технологій. Взаємозв'язки між цими елементами можуть бути формалізовані за допомогою математичних моделей, які забезпечують кількісну оцінку динаміки процесів, прогнозування їх розвитку та оптимізацію управлінських рішень.

Теорія систем займає ключове місце у моделюванні медичних процесів, оскільки надає універсальні принципи аналізу та організації складних об'єктів. У межах системного підходу медична установа розглядається як відкрита система, яка взаємодіє із зовнішнім середовищем — пацієнтами, регуляторними органами, постачальниками ресурсів. Застосування теорії систем дозволяє ідентифікувати критичні елементи медичної системи, виявити їхні слабкі місця та оцінити ефект зовнішніх впливів, таких як зміна нормативно-правового середовища чи виникнення епідемій. Системний підхід дозволяє інтегрувати в моделі фактори, що важко формалізуються, наприклад, поведінкові аспекти пацієнтів або якісні показники послуг.

Одним із найбільш практично значущих математичних підходів є теорія черг, яка застосовується для моделювання потоків пацієнтів у лікарнях і клініках. Цей метод дозволяє аналізувати процеси, пов'язані з наданням послуг у реальному часі, такі як реєстрація пацієнтів, розподіл операційних залів або робота діагностичних відділень. Теорія черг дозволяє формалізувати взаємозв'язки між обсягом надходжень пацієнтів, доступними ресурсами й часом очікування, що є особливо важливим для зменшення черг у відділеннях невідкладної допомоги. Завдяки цьому підходу можливо розробити ефективні стратегії розподілу

медичного персоналу, які забезпечують мінімізацію часу простою обладнання та зменшення затримок у наданні допомоги.

Операційний аналіз є ще одним важливим математичним інструментом, який широко використовується у сфері управління медичними установами. Цей підхід спрямований на пошук оптимальних рішень для розподілу обмежених ресурсів, таких як ліжко-місця, обладнання чи медикаменти. За допомогою лінійного програмування можна визначити оптимальний план використання операційних залів, який забезпечить максимальну пропускну здатність за мінімальних витрат. У свою чергу, методи нелінійного програмування дозволяють враховувати складніші залежності між змінними, такі як взаємозв'язок між якістю обслуговування та витратами на персонал.

Теорія прийняття рішень є невід'ємною складовою системного підходу, оскільки забезпечує формалізацію процесу вибору з-поміж альтернативних варіантів дій. У контексті медичних установ цей підхід використовується для підтримки стратегічного та оперативного управління. При плануванні відкриття нових відділень або закупівлі дорогого обладнання важливо оцінити ризики та можливі вигоди, що пов'язані з цими рішеннями. Теорія прийняття рішень надає методи, які дозволяють враховувати невизначеність, багатокритеріальність і ймовірнісну природу багатьох факторів, що впливають на результати. Важливою складовою цього підходу є використання експертних оцінок, які дозволяють інтегрувати в модель знання та досвід фахівців.

Математичні моделі в медицині часто поєднують кілька підходів для вирішення комплексних завдань. Динамічні моделі, засновані на системах диференціальних рівнянь, можуть бути інтегровані з методами операційного аналізу для прогнозування впливу стратегічних рішень на довгострокову стабільність системи. Аналогічно, стохастичні моделі, які використовуються для оцінки ризиків, можуть бути адаптовані для врахування результатів аналізу черг.

Таким чином, математичні та системні підходи забезпечують потужний інструментарій для вирішення завдань, пов'язаних з аналізом, оптимізацією та прогнозуванням медичних процесів. Їхнє застосування дозволяє значно

підвищити ефективність управління медичними установами, забезпечити раціональний розподіл ресурсів і підвищити якість послуг, що надаються пацієнтам. Усе це робить їх невід'ємною складовою сучасного медичного менеджменту.

Висновки до розділу 1

У розділі було проведено аналіз сучасних інформаційних технологій, що спрямовані на оптимізацію процесів у медичних закладах. Основний висновок полягає в тому, що зростання обсягів даних, які обробляються в медичних установах, висуває нові вимоги до систем обробки, зберігання та управління інформацією.

Сучасні інформаційні технології забезпечують широкий спектр можливостей для підвищення ефективності роботи медичних установ. Зокрема, вони сприяють автоматизації рутинних процесів, зниженню часу на обробку інформації, підвищенню точності аналізу даних та оптимізації ресурсів. Незалежно від технологічної платформи, ці рішення орієнтовані на зручність, швидкість доступу та адаптивність до змін потреб установи.

Особливу увагу варто приділити підходам до організації роботи з інформацією, які забезпечують надійність зберігання, швидкість доступу та можливість інтеграції з існуючими системами. Ефективне управління інформаційними потоками сприяє прийняттю обґрунтованих рішень, зменшенню адміністративного навантаження на персонал і покращенню якості обслуговування пацієнтів.

Впровадження сучасних інформаційних технологій є стратегічно важливим для медичних закладів, адже воно дозволяє відповідати викликам сучасності, підвищувати ефективність управління та забезпечувати високий рівень обслуговування пацієнтів.

РОЗДІЛ 2. ІНСТРУМЕНТИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МЕДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

2.1 Використання спеціалізованих програмних засобів для збору та обробки даних

Електронні медичні записи є одним із ключових інструментів сучасного управління медичними процесами. Вони представляють собою цифрову форму традиційної медичної документації, що зберігає дані про стан здоров'я пацієнтів, історію захворювань, діагностику, лікування та інші медичні процедури. Основна мета EMR полягає у забезпеченні оперативного доступу до інформації, яка дозволяє медикам приймати обґрунтовані рішення та ефективніше управляти ресурсами закладу охорони здоров'я.

Системи EMR оптимізують процес збору даних, значно скорочуючи час на внесення інформації в порівнянні з паперовими записами. Стандартизація введення даних дозволяє уникнути помилок, пов'язаних із рукописним оформленням документів. Автоматизовані алгоритми можуть виявляти потенційні помилки чи невідповідності у введених даних, сприяючи підвищенню точності медичних рішень.

Обробка даних у системах EMR ґрунтується на використанні інтегрованих алгоритмів аналізу, що дозволяють ідентифікувати тенденції, прогнозувати можливі ускладнення та оцінювати ефективність наданого лікування. Дані про частоту відвідувань, діагнози та використання медичних ресурсів можуть бути використані для визначення пріоритетів у розподілі персоналу або медичних матеріалів. Аналіз цих даних також сприяє розробці індивідуальних підходів до лікування пацієнтів, що особливо важливо в умовах персоналізованої медицини. Однією з важливих функцій EMR є підтримка прийняття клінічних рішень. Вбудовані модулі CDS можуть автоматично аналізувати дані пацієнтів, пропонуючи лікарю рекомендації щодо діагностики або лікування, ґрунтуючись на доказовій базі. Це сприяє зниженню ризиків лікарських помилок і підвищенню якості надання медичних послуг. Система може автоматично виявляти несумісності між призначеними ліками чи протипоказаннями.

Ефективність EMR також залежить від інтеграції з іншими інформаційними системами. Використання стандартів обміну даними, таких як HL7 або FHIR, дозволяє об'єднувати різні джерела інформації: лабораторні аналізи, дані з моніторів пацієнтів, результати діагностичних тестів. Ця інтеграція створює цілісну картину стану пацієнта, яка доступна у реальному часі для всіх учасників медичного процесу.

Важливим аспектом використання EMR є забезпечення конфіденційності та безпеки даних. Цифровий характер інформації підвищує ризик її втрати чи несанкціонованого доступу, тому захист системи за допомогою шифрування, багаторівневої автентифікації та регулярних аудитів є критичним. З іншого боку, цифрові засоби дозволяють краще відстежувати доступ до даних та виявляти порушення.

Системи EMR мають значний економічний вплив. Зниження витрат на зберігання паперових документів, оптимізація робочих процесів і підвищення точності діагностики сприяють загальній економічній ефективності медичних установ. Впровадження EMR може також позитивно впливати на взаємодію з пацієнтами, наприклад, через портали самостійного доступу до медичної інформації або планування візитів.

В Україні електронні медичні записи (EMR) активно впроваджуються в рамках реформи системи охорони здоров'я, зокрема через інтеграцію з електронною системою охорони здоров'я. Розглянемо основні приклади EMR-систем, що використовуються в Україні:

- Helsi.me (рис.2.1). Ця система є одним із провідних сервісів для запису до лікаря та управління медичними записами в Україні. Helsi дозволяє пацієнтам реєструватися на прийом, переглядати свої медичні записи, зокрема результати аналізів, призначення лікаря тощо. Для медичних працівників система забезпечує доступ до електронних карток пацієнтів, автоматизує облік візитів та управління графіком.

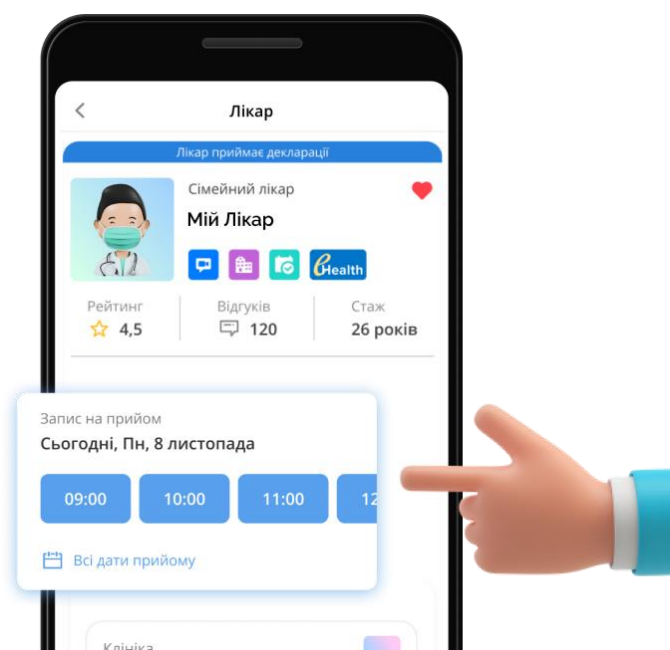


Рис.2.1. Вікно програми Helsi.me

- Medics (рис.2.2) – це програмне забезпечення, розроблене для автоматизації роботи лікарів і медичних закладів. Система інтегрована з eHealth та дозволяє вести електронні медичні записи, формувати електронні направлення та рецепти, а також управляти чергами пацієнтів. Її використовують як у державних, так і в приватних медичних установах.

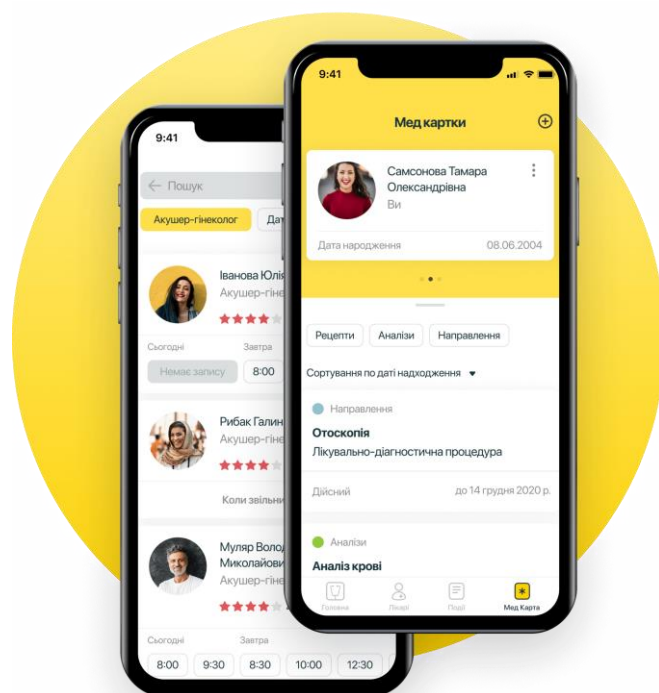


Рис.2.2. Вікно програми Medics.ua

- Askep.net (Рис.2.3). Ця платформа є комплексним рішенням для управління медичними закладами, яке включає ведення EMR, організацію роботи медичного персоналу, фінансовий облік та управління ресурсами. Система також інтегрується з eHealth і забезпечує автоматизацію взаємодії з пацієнтами через SMS-нагадування та електронні кабінети.

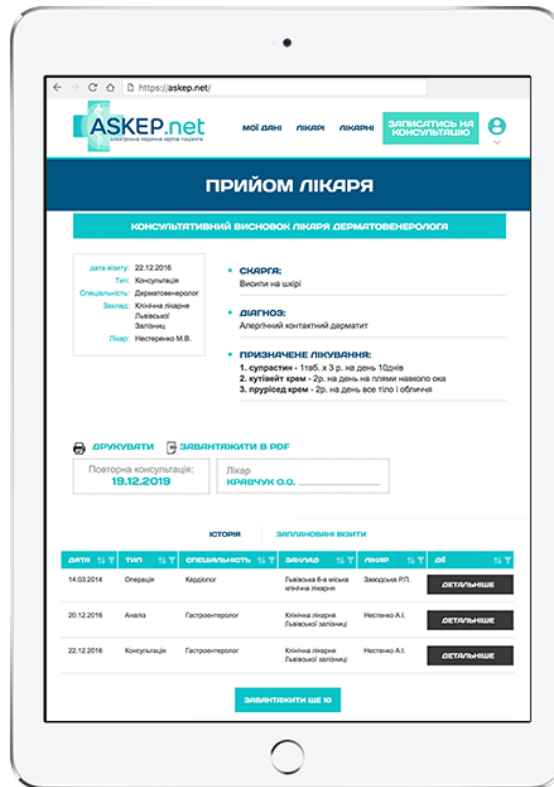


Рис.2.3. Вікно програми Askep.net

- Emed спеціалізується на електронній медичній документації для сімейних лікарів, терапевтів та педіатрів. Вона надає зручні інструменти для створення медичних карток, ведення історії хвороб та підготовки звітів для Національної служби здоров'я України (НСЗУ). Ця система сприяє швидкому обміну інформацією між медичними установами.
- Поліклініка без черг (рис.2.4). Система зосереджена на оптимізації процесу запису пацієнтів на прийом. Вона дозволяє лікарям вести електронні медичні записи, а пацієнтам – отримувати доступ до своїх даних через особистий кабінет. Завдяки інтеграції з eHealth забезпечується безперервність медичних послуг.

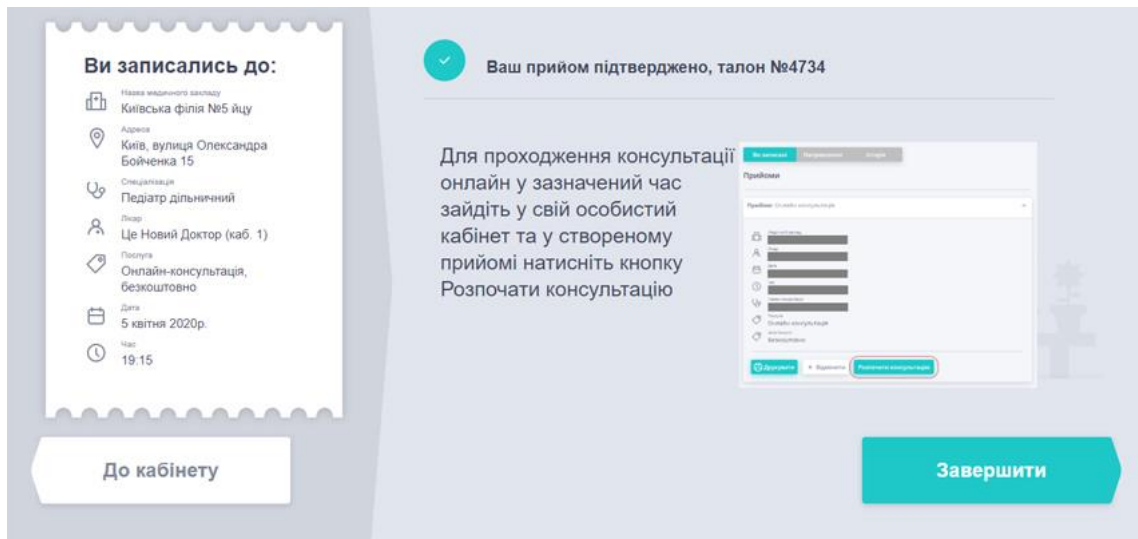


Рис.2.4. Поліклініка без черг

- Health24 (рис.2.5). Це багатофункціональна платформа для медичних закладів, яка пропонує інструменти для ведення електронних медичних записів, управління розкладом лікарів, створення електронних направлень і рецептів. Health24 також інтегрується з іншими системами, що забезпечує зручний доступ до інформації для пацієнтів і медиків.

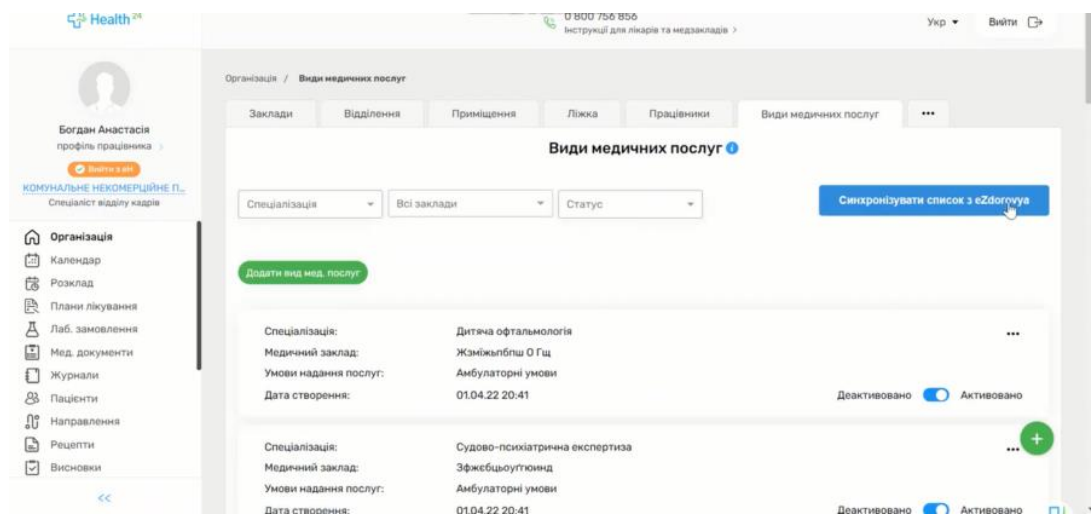


Рис.2.5. Health 24

Попри значні переваги, існують і проблеми, пов'язані з впровадженням EMR. Для забезпечення ефективного використання таких систем необхідно навчити персонал, адаптувати організаційні процеси та виділити фінансові ресурси на придбання та підтримку системи. Більше того, у разі несправності чи технічних проблем медичний заклад може тимчасово втратити доступ до критично важливої інформації, що потребує створення резервних механізмів.

У контексті системного моделювання EMR стають основним джерелом даних для розробки моделей медичних процесів. Дані з таких систем дозволяють проводити аналіз поточного стану системи охорони здоров'я, імітувати сценарії оптимізації ресурсів і оцінювати вплив нових політик чи інновацій. Це підкреслює їхню центральну роль у розвитку сучасної медицини.

Телемедицина стала ключовим інструментом у модернізації медичних послуг, особливо у контексті доступності медичної допомоги для віддалених регіонів та пацієнтів із обмеженою мобільністю. Вона охоплює широкий спектр технологій для дистанційного надання медичних послуг, включаючи відеоконсультації, віддалений моніторинг, телехірургію та дистанційне навчання лікарів.

Основна перевага телемедицини полягає у її здатності скоротити час очікування на консультації та знизити навантаження на стаціонарні медичні заклади. Лікарі можуть здійснювати консультації за допомогою відеозв'язку, що особливо актуально в умовах пандемій, воєнних конфліктів чи інших надзвичайних ситуацій. Водночас пацієнти отримують доступ до спеціалістів без необхідності тривалих подорожей до великих міст.

Технології телемедицини також дозволяють проводити діагностику в режимі реального часу завдяки підключенню діагностичних пристроїв, таких як електрокардіографи, цифрові термометри або пульсоксиметри, до централізованих систем. Дані від цих пристроїв передаються до медичних закладів, де вони можуть бути аналізовані спеціалістами.

Значним викликом у впровадженні телемедицини є забезпечення захисту персональних даних пацієнтів. У цьому контексті важливу роль відіграє впровадження сучасних стандартів шифрування та сертифікованих платформ для передачі інформації.

Інтернет речей (IoT) відкриває нові можливості у медичному обслуговуванні завдяки впровадженню інтелектуальних пристроїв, здатних збирати, аналізувати та передавати дані про стан пацієнтів у реальному часі. IoT-

рішення дозволяють лікарям отримувати комплексну картину здоров'я пацієнта без його фізичної присутності.

Одним із найпоширеніших прикладів використання IoT є "розумні" медичні пристрої, такі як фітнес-трекери, датчики для моніторингу рівня цукру в крові чи артеріального тиску. Ці пристрої інтегруються з мобільними додатками та хмарними сервісами, де накопичуються дані для подальшого аналізу. Система може автоматично надсилати попередження лікарю або пацієнту у випадку виявлення аномальних показників.

IoT-рішення також активно застосовуються в стаціонарних медичних установах. Інтелектуальні системи моніторингу можуть фіксувати життєво важливі показники пацієнтів у відділеннях інтенсивної терапії, автоматизуючи процеси контролю та зменшуючи ймовірність людської помилки. Додатково IoT використовується для оптимізації логістики: наприклад, трекери для моніторингу транспортування ліків або медичного обладнання.

Широке впровадження IoT у медичній сфері також супроводжується певними проблемами, зокрема питаннями кібербезпеки та необхідністю створення стійкої IT-інфраструктури для забезпечення безперебійної передачі даних.

Хмарні технології стали основою сучасної медичної інфраструктури завдяки своїй здатності забезпечувати масштабоване зберігання великих обсягів даних та надавати інструменти для їхнього аналізу. У медичній сфері хмарні платформи використовуються для обробки електронних медичних записів, обміну даними між лікарями, а також для впровадження технологій штучного інтелекту.

Використання хмарних сервісів дозволяє лікарям і пацієнтам мати доступ до необхідної інформації у будь-який час та з будь-якого місця. Це особливо важливо в умовах, коли потрібна швидка реакція, наприклад, під час надзвичайних медичних ситуацій. Хмарні системи також спрощують співпрацю між медичними закладами, забезпечуючи швидкий обмін даними для консилиумів або переведення пацієнтів.

З точки зору аналізу даних, хмарні платформи пропонують потужні інструменти для машинного навчання, що дозволяють виявляти приховані закономірності у великих масивах медичної інформації. Це сприяє розробці персоналізованих стратегій лікування, прогнозуванню ризиків і навіть виявленню нових взаємозв'язків між симптомами та захворюваннями.

Застосування хмарних технологій у медицині також має економічні переваги. Використання масштабованих рішень дозволяє зменшити витрати на створення та підтримку локальних серверів. У той же час це забезпечує швидке оновлення інструментів, що підвищує ефективність роботи медичних установ. Як і в інших аспектах цифровізації медицини, хмарні технології стикаються з проблемами конфіденційності та безпеки даних. Тому особливе значення має впровадження таких стандартів, як ISO/IEC 27001, які гарантують відповідність систем найвищим вимогам безпеки.

Поєднання телемедицини, IoT-рішень та хмарних платформ значно підвищує ефективність управління медичними процесами. Вони не тільки покращують якість послуг для пацієнтів, але й сприяють оптимізації операційних витрат медичних закладів, роблячи їх більш стійкими до викликів сучасного світу.

2.2 IT рішення для моделювання та оптимізації медичних процесів

Сучасні виклики у сфері охорони здоров'я вимагають використання передових підходів до управління процесами, зокрема за допомогою програмного забезпечення для моделювання. Ці інструменти дозволяють ефективно аналізувати складні системи, оптимізувати потоки пацієнтів, розподіляти ресурси та прогнозувати наслідки управлінських рішень. У цьому контексті значну увагу привертають такі інструменти, як AnyLogic, Simul8 та Arena, кожен із яких має свої особливості, сильні сторони та специфіку використання. Їхній аналіз дозволить не лише зрозуміти можливості, які вони пропонують, але й оцінити їхній внесок у розвиток медичних систем.

AnyLogic є унікальним інструментом, що поєднує три підходи до моделювання: динамічне, дискретно-подійне та агентно-орієнтоване. Його універсальність забезпечує можливість розробки моделей для систем різного масштабу, від окремих медичних процесів до всієї лікарняної мережі.

Динамічні моделі у AnyLogic базуються на системах диференціальних рівнянь, що дозволяє аналізувати тривалі процеси, такі як поширення захворювань, динаміка вакцинації або управління ресурсами лікарні. Наприклад, під час пандемії COVID-19 за допомогою AnyLogic створювали моделі, які прогнозували вплив карантинних заходів на поширення вірусу. Інструмент дозволяє візуалізувати результати у вигляді графіків, карт чи інтерактивних звітів, що значно полегшує процес прийняття рішень.

Дискретно-подійний підхід AnyLogic ідеально підходить для моделювання черг у приймальних відділеннях, організації роботи лабораторій чи операційних. У моделі лікарні можна визначити, як кількість прийомних місць впливає на час очікування пацієнтів або як оптимізувати використання діагностичного обладнання. Інструмент дозволяє тестувати різні сценарії без ризику для реальних процесів, що є критично важливим у медичній сфері.

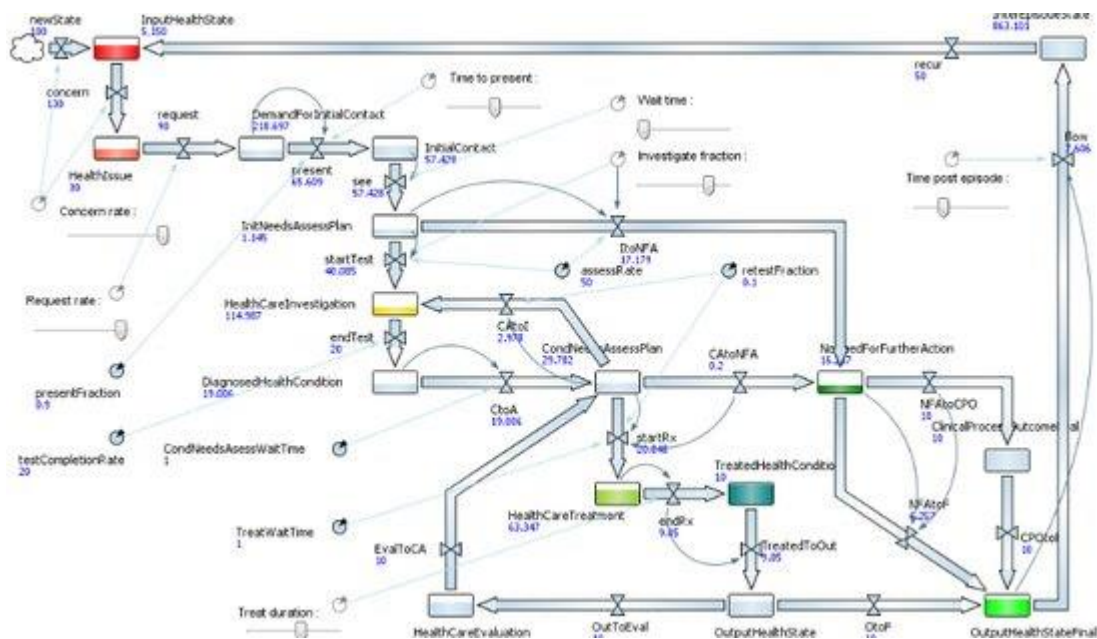


Рис.2.6. Симуляційна модель на AnyLogic

Особливістю AnyLogic є підтримка агентно-орієнтованих моделей, які дозволяють аналізувати взаємодію між окремими учасниками процесу:

пацієнтами, медичним персоналом, обладнанням. У моделі великої лікарні можна симулювати поведінку пацієнтів із різними симптомами та потребами, що дозволяє оптимізувати розподіл лікарів.

Серед реальних прикладів застосування AnyLogic у медицині можна навести моделювання роботи хірургічного відділення однієї з лікарень Німеччини. За допомогою програмного забезпечення вдалося скоротити середній час перебування пацієнтів у відділенні на 20%, оптимізувавши графіки операцій.

Simul8 є спеціалізованим інструментом для дискретно-подійного моделювання, що робить його популярним вибором для оптимізації медичних процесів. Головними перевагами цього інструмента є простота використання, швидкість створення моделей та широкий набір функцій для аналізу даних.

Simul8 дозволяє моделювати потоки пацієнтів, використання ресурсів та продуктивність відділень. Програмне забезпечення забезпечує гнучке налаштування параметрів моделей, таких як час обслуговування, кількість персоналу та доступність обладнання. Вбудовані інструменти для аналізу даних дозволяють оцінювати продуктивність системи та шукати способи її покращення.

У Великій Британії Simul8 використовували для моделювання роботи приймальних відділень лікарень, щоб скоротити час очікування пацієнтів. За результатами дослідження було розроблено нову систему сортування пацієнтів, яка зменшила середній час очікування на 15%.

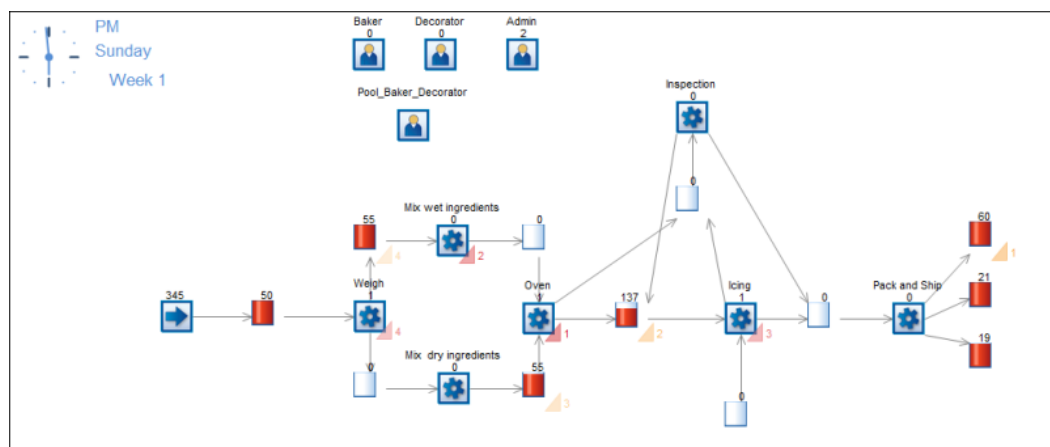


Рис.2.7. Simul 8

Simul8 підтримує інтеграцію з базами даних і таблицями Excel, що дозволяє оперативно оновлювати параметри моделей на основі реальних даних. Наприклад, під час моделювання роботи лабораторії можна автоматично оновлювати дані про кількість доступних тестів або завантаженість персоналу.

Arena є потужним інструментом для дискретно-подійного моделювання, який дозволяє створювати високоточні моделі навіть для найскладніших систем. Особливістю Arena є модульний підхід, що дозволяє адаптувати модель до змін у середовищі.

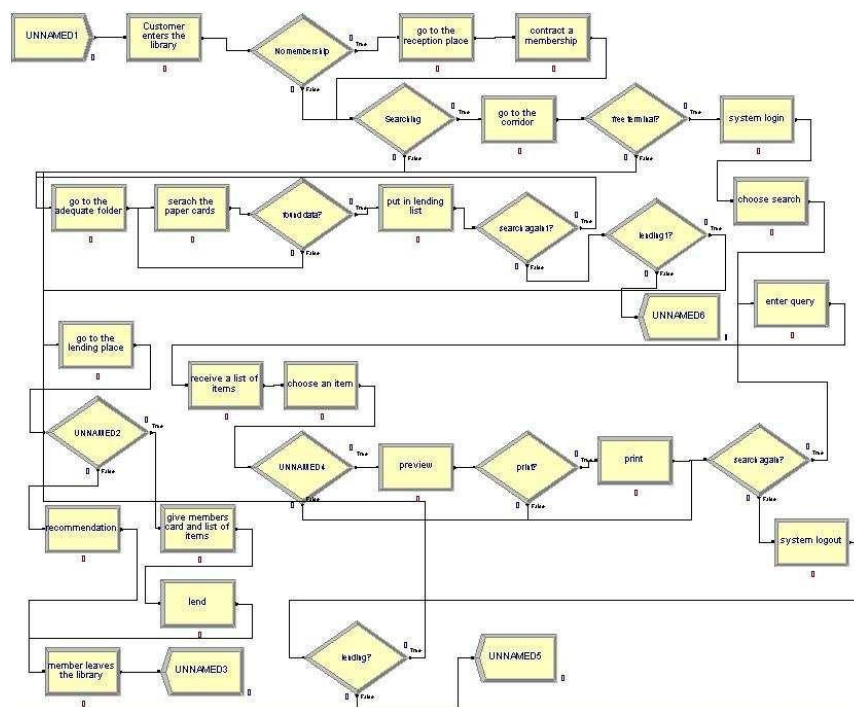


Рис.2.8. Симуляційна модель ARENA

Arena дозволяє моделювати великі системи, такі як мережі лікарень або національні програми охорони здоров'я. У медичній сфері Arena часто використовується для оптимізації розподілу ресурсів, прогнозування потреб у персоналі та аналізу сценаріїв розвитку системи.

У США Arena застосовували для моделювання системи транспортування пацієнтів у великих лікарнях. Завдяки моделі вдалося визначити оптимальну кількість карет швидкої допомоги та скоротити час доставки пацієнтів на 12%.

Кожна з платформ має свої сильні сторони. AnyLogic забезпечує універсальність і підтримує кілька підходів, що робить його ідеальним для складних задач. Simul8 пропонує простоту і швидкість, підходячи для

оперативних рішень. Arena виділяється високою точністю та деталізацією, що є важливим для великих систем.

Хоча AnyLogic, Simul8 і Arena є потужними інструментами, їхнє використання у медичній сфері може бути ускладнене відсутністю достатніх даних або необхідністю адаптації до специфіки конкретної країни. У майбутньому можна очікувати вдосконалення цих систем, зокрема шляхом інтеграції штучного інтелекту, що дозволить автоматизувати процеси моделювання та аналізу.

Моделювання за допомогою AnyLogic, Simul8 та Arena надає можливість ефективно оптимізувати медичні процеси, скорочуючи час очікування, підвищуючи продуктивність та покращуючи якість послуг. Вибір конкретного інструменту залежить від цілей дослідження, складності завдання та доступних ресурсів. Однак їх інтеграція у систему охорони здоров'я є ключем до підвищення ефективності управління та задоволення потреб пацієнтів.

Сучасні виклики у сфері управління медичними процесами потребують гнучких, економічно вигідних та адаптивних підходів. Використання відкритих платформ, таких як Python, у поєднанні з потужними бібліотеками SimPy та NumPy, відкриває широкі можливості для створення кастомних рішень, які точно відповідають потребам конкретної медичної установи. На відміну від комерційного програмного забезпечення, ці інструменти надають користувачам необмежену свободу в налаштуванні моделей, що робить їх надзвичайно привабливими для індивідуальних і дослідницьких проєктів.

Python є одним із найбільш популярних мов програмування завдяки своїй простоті, універсальності та великій спільноті користувачів. У контексті моделювання медичних процесів він має низку ключових переваг:

- Широкий набір бібліотек. Python пропонує багатий вибір бібліотек для різних типів моделювання. Наприклад, SimPy дозволяє створювати дискретно-подійні моделі, NumPy забезпечує потужні інструменти для роботи з масивами даних, а Pandas спрощує обробку та аналіз медичної інформації.

- Інтеграція з іншими технологіями. Python легко інтегрується з базами даних, візуалізаційними інструментами та навіть медичними пристроями, що дозволяє створювати комплексні рішення.
- Відкритість і безкоштовність. У порівнянні з комерційним програмним забезпеченням, Python не вимагає значних фінансових витрат, що є особливо важливим для невеликих медичних закладів чи дослідницьких проєктів.

Бібліотека SimPy є потужним інструментом для створення дискретно-подійних моделей, що дозволяють симулювати медичні процеси, які мають чітку послідовність подій. Вона може бути використана для моделювання роботи приймального відділення лікарні, щоб визначити час очікування пацієнтів, використання ресурсів або ефективність персоналу.

SimPy базується на концепції генераторів Python, які дозволяють визначати поведінку "процесів" (наприклад, пацієнтів, лікарів чи обладнання). Ці процеси можуть чекати, виконувати завдання чи взаємодіяти одне з одним. Модель приймального відділення може включати пацієнтів, які чекають у черзі, лікарів, які надають послуги, і обмежений набір медичних кабінетів.

SimPy використовували для моделювання черг у лабораторії, яка проводить тестування крові. Модель дозволила оптимізувати графік роботи лаборантів, що призвело до скорочення часу очікування пацієнтів на 25% без необхідності залучення додаткових ресурсів.

Бібліотека NumPy є основним інструментом для роботи з числовими даними у Python. У контексті медичних процесів вона забезпечує високу продуктивність при обробці великих обсягів даних, що є критично важливим для моделювання. Вона дозволяє швидко обчислювати ймовірності подій у стохастичних моделях, виконувати складні операції над матрицями або створювати симуляції для агентно-орієнтованих систем.

NumPy дозволяє працювати з багатовимірними масивами даних, що робить її незамінною для моделювання складних систем. У моделі, яка враховує рух

пацієнтів у лікарні, можна використовувати NumPy для розрахунку оптимальних маршрутів або оцінки завантаженості окремих відділень.

Однією з головних переваг використання Python є можливість інтеграції різних бібліотек. У моделі лікарні SimPy може використовуватись для моделювання дискретних подій, таких як прибуття пацієнтів чи проведення процедур, тоді як NumPy забезпечує обробку статистичних даних, необхідних для прийняття рішень.

У рамках дослідження роботи хірургічного відділення була створена модель, яка поєднувала SimPy для моделювання роботи операційних залів і NumPy для аналізу завантаженості персоналу. Модель дозволила визначити оптимальну кількість операцій, які можна проводити одночасно, щоб мінімізувати час очікування і максимізувати використання ресурсів.

Однією з головних переваг використання Python із бібліотеками SimPy та NumPy є можливість створення кастомних рішень, які точно відповідають потребам користувача. Це робить їх ідеальним вибором для невеликих проєктів, досліджень або ситуацій, коли стандартне програмне забезпечення не надає необхідної гнучкості.

Однак такі рішення вимагають значних знань у програмуванні та більше часу на створення моделі. Крім того, відкриті платформи зазвичай не забезпечують вбудованих засобів візуалізації, таких як AnyLogic чи Simul8, що може бути важливим для медичних установ.

З розвитком штучного інтелекту та машинного навчання Python поступово інтегрує передові алгоритми у моделювання медичних процесів. Це дозволяє створювати адаптивні моделі, які навчаються на реальних даних і постійно вдосконалюють свої прогнози. Наприклад, комбінація Python, бібліотеки TensorFlow та NumPy дозволяє створювати системи для прогнозування завантаженості лікарень або потреб у медичних ресурсах.

Використання Python із бібліотеками SimPy та NumPy для моделювання медичних процесів відкриває широкі можливості для створення кастомних рішень. Ці інструменти забезпечують гнучкість, продуктивність і економічну

ефективність, що робить їх привабливими для дослідників і практиків. Хоча створення таких моделей може бути більш трудомістким, їхні переваги у точності та адаптивності значно перевищують витрати часу та ресурсів.

2.3 Практичне впровадження IT-рішень у медичних закладах

Інформаційні технології поступово стали невід’ємною складовою медичної галузі, пропонуючи потужні інструменти для вирішення складних управлінських завдань. Зокрема, оптимізація ресурсів і потоків пацієнтів стала одним із ключових напрямів застосування IT-технологій, який дозволяє підвищити ефективність медичних установ, скоротити час очікування пацієнтів та зменшити витрати.

В одній із європейських університетських лікарень було впроваджено автоматизовану систему управління, яка базувалася на платформі Cerner Millennium. Ця система інтегрувала електронні медичні записи пацієнтів із реєстрацією ресурсів (кабінетів, обладнання, персоналу). Основною проблемою, яку вирішувала ця технологія, було перевантаження відділень швидкої допомоги, яке спричиняло довгий час очікування та дублювання обстежень. Впровадження системи дозволило створити динамічні графіки роботи медичного персоналу, які адаптувалися залежно від прогнозованої кількості пацієнтів. Крім того, було впроваджено алгоритм розподілу обладнання для проведення обстежень, що скоротило час очікування на процедури на 30%. У результаті лікарня змогла обслуговувати на 20% більше пацієнтів у пікові періоди, не збільшуючи кількість персоналу.

Американська лікарня в Чикаго зіткнулася з проблемою нераціонального використання ресурсів приймального відділення, де середній час очікування становив понад 4 години. Для вирішення цієї проблеми було розроблено та впроваджено інтелектуальну систему маршрутизації на основі штучного інтелекту. Система, створена з використанням технологій машинного навчання, аналізувала потік пацієнтів у реальному часі, враховуючи такі параметри, як

тяжкість стану, тип необхідного обстеження, наявність медперсоналу та обладнання.

Впровадження цього рішення дозволило скоротити середній час очікування до 1,5 години. Окрім того, система зменшила кількість випадків перевантаження окремих кабінетів, перенаправляючи пацієнтів у менш завантажені відділення. У довгостроковій перспективі це сприяло підвищенню рівня задоволеності пацієнтів і зниженню рівня стресу серед персоналу.

У Канаді був реалізований проект із застосування симуляційного моделювання на платформі Arena для оптимізації роботи хірургічного відділення однієї з провідних лікарень. До впровадження рішення відділення стикалося з регулярними затримками операцій через неефективне планування графіків роботи операційних залів і персоналу.

Завдяки моделюванню вдалося виявити вузькі місця в роботі відділення, зокрема часи пікової завантаженості. Змоделювавши різні сценарії, включаючи збільшення кількості операційних залів, зміни у графіку персоналу та впровадження нових процедур, лікарня оптимізувала свій графік. Це дозволило скоротити кількість відкладених операцій на 40% та підвищити завантаженість операційних залів на 25%.

Індійський медичний центр із понад 1000 пацієнтів на день впровадив хмарну систему управління потоками пацієнтів. Використовуючи платформу Microsoft Azure, система інтегрувала дані з електронних медичних записів, інформацію про поточне завантаження відділень і прогнози на основі аналізу даних за попередні періоди. Алгоритм, що працював у хмарі, автоматично розподіляв пацієнтів між відділеннями, враховуючи як їхній стан, так і поточну завантаженість відділень.

У результаті цього впровадження середній час очікування пацієнтів на консультацію знизився на 50%, а лікарня змогла раціональніше використовувати свої ресурси. Крім того, хмарна система дозволила персоналу отримувати доступ до інформації з будь-якого пристрою, що прискорило прийняття рішень у критичних ситуаціях.

Лікарня у Фінляндії впровадила IoT-рішення для моніторингу стану пацієнтів із хронічними захворюваннями. Використовуючи пристрої для віддаленого збору даних (тонометри, пульсометри, глюкометри), система збирала інформацію в реальному часі та передавала її до центральної бази даних, де вона аналізувалася з використанням алгоритмів машинного навчання.

Ця система дозволила лікарям оперативно реагувати на зміни в стані пацієнтів, що значно зменшило кількість екстрених госпіталізацій. Крім того, віддалений моніторинг знизив навантаження на медичний персонал, дозволяючи їм більше часу приділяти пацієнтам із тяжкими випадками.

Машинне навчання (ML) стрімко розвивається як ключовий інструмент для вирішення складних завдань у медицині, зокрема для прогнозування попиту на медичні послуги. Сучасні медичні установи працюють у динамічному середовищі, де необхідність швидкої адаптації до змінних умов є критичною. Прогнозування попиту за допомогою ML дозволяє підвищити точність планування ресурсів, уникнути перевантаження системи охорони здоров'я та забезпечити рівномірний розподіл пацієнтів між відділеннями.

Попит на медичні послуги залежить від багатьох факторів, таких як демографічні дані населення, сезонні епідемії, зміни у структурі захворювань та соціально-економічні чинники. Традиційні підходи до прогнозування, засновані на статистичному аналізі, мають суттєві обмеження. Вони часто ігнорують складні взаємозв'язки між змінними, що призводить до низької точності моделей. Машинне навчання, зокрема методи регресії, класифікації та нейронних мереж, дозволяє враховувати широкий спектр параметрів і виявляти приховані закономірності.

Головною метою застосування ML для прогнозування попиту є не лише передбачення кількості пацієнтів у майбутньому, але й деталізація цієї інформації за типами послуг, днями тижня, годинами доби та іншими важливими аспектами. Це допомагає створювати динамічні моделі розподілу ресурсів, які можна легко адаптувати до поточних умов.

Одним із найефективніших підходів є застосування градієнтного бустингу (наприклад, алгоритми XGBoost або LightGBM), який добре працює з великими наборами даних і враховує нелінійні взаємозв'язки між змінними. Інший перспективний напрям — використання рекурентних нейронних мереж (RNN), які можуть аналізувати часові ряди та враховувати залежність попиту від попередніх періодів. Моделі типу LSTM (Long Short-Term Memory) дозволяють прогнозувати не лише середньодобовий попит, а й пікові навантаження у певні години.

У поєднанні з методами кластеризації, такими як K-means або DBSCAN, ML дозволяє сегментувати пацієнтів за демографічними, географічними чи іншими характеристиками. Це особливо корисно для прогнозування специфічного попиту в різних регіонах чи навіть у межах одного міста.

Одним із кейсів використання ML для прогнозування попиту є система, впроваджена в лікарнях Великобританії. На основі даних про історію звернень пацієнтів, епідеміологічну ситуацію та погодні умови, нейронна мережа передбачала кількість пацієнтів, які звертатимуться до приймального відділення протягом наступних семи днів. Модель враховувала також вплив на попит таких факторів, як спортивні заходи, локальні свята чи карантинні обмеження. Завдяки цьому вдалося на 25% зменшити кількість днів із перевантаженням приймальних відділень.

Інший приклад — використання ML у Канаді для прогнозування потреби у хірургічних процедурах. Алгоритм аналізував демографічні дані, захворюваність населення, тенденції до старіння, а також показники відмов від хірургічних втручань через нестачу ресурсів. Ця модель дала можливість медичним установам завчасно планувати закупівлі обладнання, наймати персонал та оптимізувати графіки роботи.

Серед ключових переваг використання ML для прогнозування попиту виділяють можливість роботи з великими обсягами даних та врахування багатовимірних залежностей. Це особливо важливо в умовах сучасної медицини, де точність передбачень може безпосередньо впливати на якість послуг.

Прогнозування дефіциту ресурсів дозволяє вчасно реагувати на потенційні кризи, такі як раптові епідемії чи масові госпіталізації.

Проте впровадження таких технологій також має свої виклики. Основними проблемами залишаються якість даних і складність їх інтеграції з існуючими системами. Дані про пацієнтів часто є розрізненими або неповними, що може знижувати точність моделей. Ще одним аспектом є необхідність навчання персоналу для роботи з такими системами, адже навіть найкраща модель не приносить користі, якщо її результати неправильно інтерпретуються.

Автоматизація управління персоналом та чергами у великих лікарнях є важливим аспектом оптимізації медичних процесів. У сучасних медичних установах, які обслуговують сотні чи навіть тисячі пацієнтів щодня, традиційні підходи до управління потоками пацієнтів і графіками роботи медичного персоналу виявляються неефективними. Застосування автоматизованих систем дозволяє забезпечити ефективний розподіл ресурсів, скоротити час очікування та покращити якість обслуговування пацієнтів.

Управління чергами та персоналом має на меті вирішення кількох ключових завдань. По-перше, необхідно забезпечити оптимальний розподіл пацієнтів між лікарями та відділеннями залежно від типу медичних послуг, які вони потребують. Це включає ідентифікацію пріоритетних випадків, наприклад, невідкладних станів. По-друге, автоматизація має враховувати робочі графіки персоналу, зокрема їхню зайнятість, рівень завантаженості та спеціалізацію. По-третє, важливим завданням є контроль і моніторинг тривалості очікування пацієнтів, що дозволяє зменшити кількість скарг і підвищити рівень задоволеності пацієнтів.

Автоматизовані рішення інтегруються із системами електронних медичних записів (EMR), що дозволяє швидко отримувати актуальну інформацію про історію хвороби пацієнта, стан його здоров'я, а також зберігати дані про кожне відвідування лікарні. У поєднанні з технологіями аналізу даних це створює можливість для прогнозування навантаження на лікарню.

Серед інструментів для автоматизації черг найчастіше використовуються електронні системи керування чергами (Queue Management Systems, QMS). Ці системи дають змогу пацієнтам реєструватися онлайн, вибирати зручний час для прийому та отримувати інформацію про приблизний час очікування. Наприклад, у великих міських лікарнях Європи та США вже впроваджені системи, які аналізують не тільки поточне завантаження відділень, але й історичні дані для прогнозування часу очікування у майбутньому.

Щодо управління персоналом, широко використовуються спеціалізовані програми, такі як Kronos Workforce Ready або Workday, які дозволяють автоматизувати створення графіків роботи, враховуючи такі параметри, як кваліфікація лікаря, його зайнятість, відпустки чи лікарняні. У деяких медичних центрах автоматизація дозволяє також оцінювати продуктивність персоналу, що допомагає визначити, які лікарі чи медичні сестри потребують додаткового навчання чи перенаправлення до іншого відділення.

Штучний інтелект (AI) грає дедалі важливішу роль у підвищенні ефективності управління лікарнями. Завдяки машинному навчанню автоматизовані системи можуть не лише розподіляти пацієнтів між лікарями залежно від типу послуг, але й прогнозувати пікові навантаження у певні періоди часу. Наприклад, у лікарнях із високим потоком пацієнтів штучний інтелект використовується для оптимізації розподілу медсестер залежно від кількості госпіталізованих пацієнтів. Це допомагає уникнути ситуацій, коли в одному відділенні персонал перевантажений, а в іншому має менше роботи.

Також AI може автоматизувати управління чергами через системи розпізнавання пріоритетних випадків. Наприклад, програми можуть аналізувати текстові чи голосові звернення пацієнтів для швидкої ідентифікації тих, кому потрібна негайна допомога, та перенаправляти їх до відповідного лікаря. Такі системи впроваджені у клініках США, де AI аналізує звернення пацієнтів через мобільні додатки й автоматично формує черги на основі критичності стану.

Великі медичні центри, які використовують системи автоматизації, також інтегрують ці рішення із системами управління ресурсами, такими як лікарняні

інформаційні системи (HIS). Це дозволяє не тільки автоматично створювати графіки персоналу чи оптимізувати черги, але й координувати роботу діагностичних відділень, лабораторій та аптек. Наприклад, якщо пацієнт потребує лабораторного аналізу, система автоматично визначає найменш завантажену лабораторію, розраховує час очікування результатів і планує подальші дії пацієнта.

У деяких сучасних лікарнях застосовуються також RFID-технології для моніторингу розташування пацієнтів і персоналу. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни ситуації, наприклад, у разі термінової необхідності знайти медсестру чи лікаря у певному відділенні.

Серед основних переваг автоматизації управління чергами та персоналом — значне скорочення часу очікування пацієнтів, покращення розподілу персоналу, а також підвищення рівня задоволеності пацієнтів і зменшення стресового навантаження на медичний персонал. Завдяки автоматизації лікарні можуть більш ефективно працювати навіть за умов зростання кількості пацієнтів чи дефіциту персоналу.

Однак процес автоматизації має і свої виклики. Одним із них є висока вартість впровадження таких систем, особливо для великих лікарень із численними відділеннями. Також інтеграція нових технологій може потребувати значного навчання персоналу, що займає час і ресурси. Ще однією проблемою є забезпечення конфіденційності даних пацієнтів і захисту їх від кіберзагроз.

Автоматизація управління персоналом та чергами у великих лікарнях є важливим етапом на шляху до створення ефективних і сучасних медичних установ. Використання інноваційних технологій дозволяє оптимізувати роботу лікарень, зменшити час очікування для пацієнтів і підвищити продуктивність медичного персоналу. У майбутньому такі системи стануть невід'ємною частиною роботи медичних установ, забезпечуючи ще вищу якість послуг і ефективність управління.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було досліджено сучасні підходи до математичного моделювання та оптимізації медичних процесів. Проведений аналіз підтвердив, що математичне моделювання є ключовим інструментом для підвищення ефективності роботи медичних установ, оскільки воно дозволяє врахувати складні взаємозв'язки між пацієнтами, персоналом, ресурсами та часовими обмеженнями.

Математичні моделі відіграють важливу роль у раціоналізації використання наявних ресурсів та зменшенні часу очікування пацієнтів. Завдяки розробленим алгоритмам та оптимізаційним підходам можливо досягти рівномірного розподілу навантаження між медичним персоналом, підвищити ефективність використання обладнання та покращити якість медичних послуг.

Особливу увагу було приділено інтеграції сучасних інформаційних технологій, зокрема інструментів Python, які забезпечують простоту та зручність у створенні моделей. Такий підхід дозволяє отримувати практичні результати, що сприяють вдосконаленню управлінських процесів у медичних закладах, а також їх адаптації до змінних умов.

Дослідження також показало, що впровадження математичних моделей у практику не лише дозволяє підвищити операційну ефективність лікарень, але й закладає основу для стратегічного розвитку системи охорони здоров'я, орієнтованої на стійкість та адаптивність до нових викликів.

3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ МЕДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛІКАРНЯХ

3.1 Формалізація та побудова математичної моделі для оптимізації медичних процесів.

Математичні моделі є невіддільною складовою сучасних підходів до аналізу та оптимізації складних систем, особливо в медичній сфері, де кожне рішення може впливати на життя пацієнтів та ефективність роботи закладу. Їх застосування обумовлене складністю медичних процесів, які охоплюють значний обсяг змінних, взаємопов'язаних між собою елементів і параметрів. Природа цих процесів передбачає як передбачувані, так і випадкові фактори, які необхідно враховувати для забезпечення високого рівня послуг.

Одним із ключових аспектів застосування математичних моделей у медицині є можливість об'єктивного аналізу. У багатьох випадках інтуїтивний підхід медичного персоналу до управління ресурсами та організації роботи не дозволяє досягти оптимального балансу між потребами пацієнтів і доступними ресурсами. Наприклад, у лікарнях часто виникають ситуації перевантаження через нерівномірний потік пацієнтів або нераціональне використання обладнання. Математичні моделі дають змогу уникнути цих проблем, забезпечуючи точний прогноз завантаженості, оцінку потреб і визначення слабких місць у системі.

Ще одним важливим аспектом є можливість тестування різних сценаріїв у віртуальному середовищі. Без ризику для реальних пацієнтів моделі дозволяють перевірити, як зміниться робота лікарні при зміні графіку роботи персоналу, перерозподілі ресурсів або впровадженні нових технологій. Це дає змогу оцінити ефективність управлінських рішень до їх фактичного впровадження.

Крім того, математичні моделі стають незамінним інструментом для довгострокового планування. Зокрема, вони дозволяють передбачати наслідки демографічних змін, поширення інфекційних захворювань, появу нових методів лікування та технологій. Наприклад, моделі, які враховують вікову структуру

населення та рівень захворюваності, допомагають визначити майбутні потреби у медичному персоналі, обладнанні та фінансах.

Особливістю медичних процесів є їхня неперервність у часі та різноманітність. Пацієнт може одночасно перебувати на різних етапах лікування, кожен із яких має свої параметри та потребує ресурсів. Наприклад, госпіталізація включає прийом пацієнта, діагностику, лікування, реабілітацію, виписку та подальший моніторинг. Математичні моделі дозволяють інтегрувати ці процеси у єдину систему, оптимізуючи їхнє виконання за рахунок синхронізації дій персоналу та ефективного використання обладнання.

Іншим важливим напрямком є прогнозування ризиків і невизначеностей. У системі охорони здоров'я завжди існують фактори, які важко передбачити, наприклад, раптові спалахи інфекційних захворювань або технічні збої. Стохастичні моделі дозволяють враховувати ці ризики та розробляти стратегії реагування. Наприклад, вони можуть допомогти оцінити, скільки додаткових ресурсів потрібно під час епідемії грипу чи іншої надзвичайної ситуації.

Застосування математичних моделей також сприяє розвитку персоналізованої медицини. Зокрема, аналіз великих обсягів даних пацієнтів дозволяє створювати індивідуальні плани лікування, враховуючи не лише загальну статистику, але й унікальні особливості кожної людини. Наприклад, використання моделей у кардіології дозволяє прогнозувати ризик інфаркту залежно від способу життя пацієнта, спадковості та інших чинників.

Невід'ємним елементом математичного підходу є взаємодія з іншими дисциплінами, такими як інформаційні технології, економіка та менеджмент. У медичній сфері впровадження моделей часто пов'язане з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє автоматизувати процеси збору та обробки даних. Інтеграція таких систем із медичними базами даних забезпечує актуальність та точність вхідних параметрів моделей.

Наукове обґрунтування оптимізації через моделі також включає аналіз економічної ефективності. Наприклад, завдяки моделюванню можна виявити можливості для зниження витрат на утримання персоналу або раціонального

використання енергоресурсів у лікарні. Це дозволяє не лише покращити якість послуг, але й забезпечити фінансову стійкість медичних закладів у довгостроковій перспективі.

Математичні моделі є не лише інструментом аналізу, а й основою для побудови стратегії управління у медичних закладах. Вони поєднують науковий підхід із практичним застосуванням, забезпечуючи інноваційний розвиток систем охорони здоров'я. У майбутньому їхнє значення буде лише зростати, враховуючи швидкий розвиток технологій і збільшення складності медичних процесів.

Постановка задачі моделювання є фундаментальним етапом у процесі створення ефективної системи управління медичними процесами. На цьому етапі відбувається ідентифікація основних елементів системи, їхня взаємодія, а також визначення цілей моделювання. Медична система зазвичай складається із взаємопов'язаних підсистем, таких як пацієнти, медичний персонал, ресурси лікарні, процеси обслуговування та часові обмеження, які необхідно враховувати для створення адекватної моделі.

Пацієнти є основним об'єктом у системі охорони здоров'я, тому в моделюванні їхня роль має визначальний характер. У рамках системи пацієнти можуть бути поділені на категорії залежно від типу надання медичної допомоги (наприклад, невідкладна, планова чи реабілітаційна допомога), ступеня тяжкості стану та очікуваних потреб. Такий поділ дозволяє точно визначати їхній вплив на завантаженість ресурсів лікарні. Модель повинна враховувати як характеристики кожної окремої групи пацієнтів, так і їхні потоки протягом часу. Зокрема, моделювання включає вхідні параметри, такі як частота прибуття пацієнтів, середній час обслуговування, частота госпіталізацій, повторні звернення та потреба у спеціалізованому лікуванні. Також враховуються випадкові фактори, наприклад, сезонні коливання (наплив пацієнтів під час спалахів вірусних захворювань).

Медичний персонал виступає не лише активним виконавцем медичних процедур, але й одним із ключових ресурсів системи. Рівень завантаженості

персоналу впливає на ефективність надання медичних послуг, якість обслуговування та навіть здоров'я самих лікарів і медсестер. У рамках моделювання персонал класифікується за спеціалізацією (наприклад, хірурги, терапевти, медсестри, адміністративний персонал) та їхніми робочими змінами.

Постановка задачі має включати параметри, що характеризують персонал: кількість працівників кожної спеціалізації, їхній графік роботи, продуктивність, час, необхідний для виконання конкретних завдань, та можливості заміни у разі відсутності працівника.

Ресурси лікарні є одним із найбільш критичних аспектів моделювання, оскільки вони визначають можливості обслуговування пацієнтів. Ресурси включають як матеріальні (ліжка, обладнання, медикаменти), так і нематеріальні (наприклад, доступність висококваліфікованих спеціалістів). У моделюванні важливо визначити наявний обсяг ресурсів, їхню пропускну здатність та час, протягом якого вони використовуються.

У разі моделювання операційного блоку необхідно враховувати кількість операційних столів, час підготовки та проведення кожної операції, а також період відновлення обладнання між процедурами. Ресурси можуть мати певні обмеження, наприклад, термін придатності медикаментів або час роботи апаратури без технічного обслуговування.

Черги у медичних закладах виникають через перевищення попиту на послуги над доступними ресурсами. У моделі черги можуть бути описані як об'єкти, що зберігають інформацію про пацієнтів, які очікують обслуговування, їхню тривалість очікування та пріоритетність. Для аналізу черг використовуються методи теорії масового обслуговування, які дозволяють оцінити середній час очікування, ймовірність відмови у наданні послуги та пропускну здатність системи.

Черги часто є індикатором ефективності роботи лікарні. Наприклад, якщо черги на консультації до спеціалістів стають надто тривалими, це може свідчити про недостатню кількість лікарів відповідної спеціалізації або нерівномірний розподіл графіків роботи.

Час є критичним фактором у системі охорони здоров'я, оскільки багато процесів мають жорсткі часові обмеження. Це стосується як тривалості обслуговування пацієнтів, так і часу реагування на екстрені ситуації. Моделювання має враховувати часові рамки для кожного етапу надання допомоги, а також допустимі інтервали очікування для різних категорій пацієнтів.

У випадку екстреної медичної допомоги час транспортування пацієнта до лікарні, час на діагностику та початок лікування є критично важливими параметрами. Для планових процедур часові рамки можуть бути більш гнучкими, але все одно мають враховувати розклад роботи персоналу та доступність ресурсів.

На основі ідентифікації елементів системи формується чітка постановка задачі моделювання. Наприклад, задача може полягати в оптимізації використання ресурсів для зниження часу очікування у відділенні невідкладної допомоги. Для цього модель має враховувати взаємозв'язки між усіма елементами системи, включаючи потоки пацієнтів, завантаженість персоналу, доступність обладнання та часові обмеження.

Ідентифікація основних елементів системи дозволяє перейти до наступного етапу — розробки концептуальної моделі, яка буде використовуватися для тестування різних управлінських рішень та пошуку оптимальних сценаріїв роботи медичного закладу.

Процес створення математичної моделі для медичного закладу починається з формалізації ключових аспектів його діяльності. У моделі враховуються пацієнти, персонал, ресурси, черги, часові обмеження, а також різноманітні фактори, що впливають на функціонування системи. Завданням моделі є забезпечення можливості аналізу, прогнозування та оптимізації процесів у лікарні. Розглянемо основні етапи створення математичної моделі.

На початковому етапі ідентифікуються змінні та параметри, що впливають на функціонування лікарні. Ці елементи можна поділити на декілька категорій:

- 1) Змінні, що описують пацієнтів:

- $N_p(t)$ - кількість пацієнтів у лікарні на момент часу t .
- $T_{\text{обслуговування}}$ - час, необхідний для обслуговування одного пацієнта.
- $\lambda(t)$ - інтенсивність прибуття пацієнтів (кількість пацієнтів, які надходять до лікарні за одиницю часу).
- μ - середня швидкість обслуговування одного пацієнта.

2) Параметри медичного персоналу:

- $N_{\text{персоналу}}$ - кількість доступних лікарів та медсестер.
- $T_{\text{зміни}}$ - тривалість робочої зміни персоналу.
- $R_{\text{ефективність}}$ - ефективність роботи персоналу залежно від рівня завантаженості.

3) Ресурси лікарні:

- $N_{\text{ліжка}}$ - кількість вільних ліжко-місць.
- $R_{\text{обладнання}}$ - кількість доступного обладнання (МРТ, апарати УЗД тощо).
- $T_{\text{обслуговування_обладнання}}$ - час використання обладнання для одного пацієнта.

4) Черги та потоки пацієнтів:

- $Q(t)$ - довжина черги у певний момент часу.
- $T_{\text{очікування}}$ - середній час очікування у черзі.

5) Часові параметри:

- $T_{\text{реакції}}$ - час реагування на надзвичайні ситуації.
- $T_{\text{цикл}}$ - середній цикл обслуговування пацієнта (від прибуття до виписки).

Основною метою математичної моделі є розробка функції оптимізації, яка дозволяє знайти найкращі управлінські рішення. Функція оптимізації зазвичай залежить від цілей медичного закладу.

- Мінімізація часу очікування

$$\text{Minimize } Ch = \sum_{i=1}^n T_{\text{очікування}}^i \quad (3.1)$$

Де $T_{\text{очікування}}^i$ — час очікування i -го пацієнта.

- Максимізація пропускної здатності

$$\text{Maximize } PZ = \sum_{t=1}^T \mu(t) * N_{\text{персоналу}}(t) \quad (3.2)$$

- Оптимізація використання ресурсів

$$Optimize R = \frac{\text{Невикористані ресурси}}{\text{Загальна кількість ресурсів}} \quad (3.3)$$

Крім цього, у моделі враховуються обмеження:

- 1) Обмеження на кількість ліжко-місць:

$$N_p(t) \leq N_{\text{ліжка}}$$

- 2) Обмеження доступності персоналу:

$$N_{\text{пацієнтів_обслуговування}} \leq N_{\text{персоналу}} * T_{\text{зміни}}$$

- 3) Часові обмеження:

$$T_{\text{обслуговування}} \leq T_{\text{цикл}}$$

У моделюванні потоків пацієнтів та розподілу ресурсів часто застосовуються наступні математичні підходи:

- Для опису змін кількості пацієнтів у часі використовують рівняння:

$$\frac{dN_p(t)}{dt} = \sigma(t) - \mu * N_p(t) \quad (3.4)$$

- Для аналізу черг у лікарнях часто застосовують модель М/М/1:

$$T_{\text{очікування}} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \quad (3.5)$$

У складних системах використовуються агентно-орієнтовані моделі, які симулюють поведінку кожного пацієнта як окремого агента. У цьому підході враховуються індивідуальні характеристики пацієнтів та їхній вплив на загальний потік.

Для розв'язання задач оптимізації застосовуються методи, такі як лінійне програмування або генетичні алгоритми. Задача раціонального розподілу ресурсів може бути сформульована як задача лінійного програмування:

$$Minimize Ch = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (3.6)$$

Де, c_i – витрати на обслуговування i -го ресурсу;

x_i – кількість задіяних ресурсів.

Математичну модель можна реалізувати у вигляді програмного засобу. Для цього використовують спеціалізоване програмне забезпечення (AnyLogic, Arena) або відкриті платформи (Python з бібліотеками NumPy, SimPy). Це

дозволяє провести ітеративний аналіз різних сценаріїв, тестувати альтернативні стратегії та визначати оптимальні управлінські рішення для лікарень.

Створення математичної моделі є критичним етапом у процесі аналізу та оптимізації медичних процесів. Модель дозволяє врахувати широкий спектр факторів, ефективно розподілити ресурси та покращити якість обслуговування пацієнтів.

Інтерпретація результатів математичного моделювання є важливим етапом, що пов'язує теоретичну роботу над моделями з реальним застосуванням у практиці управління лікарнями. На цьому етапі абстрактні числа, рівняння та результати симуляцій перетворюються на конкретні рекомендації, які можуть оптимізувати роботу медичного закладу.

Математичні моделі дозволяють виявити неефективність у розподілі ресурсів, таких як персонал, обладнання, медикаменти та ліжко-місця. Результати аналізу можуть показати, які відділення потребують додаткового персоналу, де є надлишок обладнання або чи вистачає місць у реанімації.

Моделі можуть ідентифікувати пікові періоди завантаження (наприклад, ранок або період грипу) та запропонувати перерозподіл персоналу для рівномірного навантаження.

Якщо моделювання показує, що апарати МРТ простоюють понад 30% часу, це може свідчити про можливість перерозподілу цього ресурсу в інший підрозділ або про необхідність додаткових маркетингових зусиль для залучення пацієнтів.

Математичні моделі допомагають виявити вузькі місця в обслуговуванні пацієнтів, такі як тривале очікування в чергах або нерівномірність потоків пацієнтів. Завдяки аналізу результатів можна покращити процеси таким чином, щоб пацієнти отримували швидке та якісне обслуговування.

Результати моделювання дозволяють приймати обґрунтовані стратегічні рішення, які враховують як короткострокові, так і довгострокові перспективи. На основі аналізу можна визначити необхідність у будівництві нових корпусів лікарні, впровадженні телемедицини або відкритті нових спеціалізованих відділень.

Якщо моделювання показує, що певні відділення завантажені на 90% і більше, тоді варто розглянути розширення цих відділень або побудову нових корпусів.

Математичні моделі є незамінними у кризових ситуаціях, коли необхідно швидко реагувати на зміни. Наприклад, під час пандемії COVID-19 результати моделювання дозволяли прогнозувати кількість необхідних реанімаційних місць або апаратів ШВЛ.

Розрахунок необхідної кількості ліжко-місць у реанімації. За допомогою динамічних моделей можна передбачити, скільки місць знадобиться у випадку загострення пандемії.

Одним із ключових елементів моделювання є можливість тестування різних сценаріїв розвитку подій. Це дозволяє лікарням підготуватися до будь-яких змін у зовнішньому середовищі.

Сценарій зростання кількості пацієнтів на 20%. Моделі можуть показати, чи вистачить ресурсів у лікарні за таких умов, і запропонувати заходи для попередження дефіциту.

Інтерпретація результатів математичних моделей — це взаємозв'язок між теорією та практикою. Завдяки аналізу даних, отриманих з моделей, керівництво лікарні отримує конкретні рекомендації, які дозволяють підвищити ефективність управління, знизити витрати та забезпечити якісне обслуговування пацієнтів. Інтеграція таких рішень у повсякденну діяльність лікарень сприяє побудові сучасної, ефективної та гнучкої системи охорони здоров'я.

3.2 Розробка концепції програмного засобу для управління медичними процесами з інтеграцією оптимізаційної моделі

Ефективне управління медичними процесами у сучасних лікарнях вимагає інтеграції інформаційних технологій для збору, обробки та аналізу даних. Розробка програмного засобу, що поєднує функціональні можливості управління пацієнтопотоками, ресурсами та персоналом із можливістю використання математичних моделей для оптимізації процесів, стає не лише технологічною, а

й управлінською необхідністю. Такий програмний засіб повинен враховувати особливості медичних установ, забезпечувати автоматизацію рутинних завдань, підтримувати прийняття рішень у реальному часі та інтегруватися з існуючими інформаційними системами лікарень.

Опишемо концепцію програмного засобу, що дозволяє не лише управляти процесами, але й здійснювати їх оптимізацію завдяки інтеграції математичної моделі. Цей підхід надасть лікарням змогу досягти балансу між швидкістю обслуговування пацієнтів, ефективним використанням ресурсів та зменшенням операційних витрат.

Розробка програмного забезпечення для управління медичними процесами вимагає ретельного аналізу потреб лікарень, що зумовлені складністю їхніх операційних процесів та багатофункціональністю організацій. Успішне створення такого програмного засобу передбачає чітке розуміння функціональних, технічних і користувацьких вимог, які мають бути адаптовані до умов конкретного медичного закладу.

Першим кроком є вивчення основних задач, які стоять перед медичними установами. Вони включають управління пацієнтотоками, планування розкладу персоналу, контроль використання ресурсів (ліжок, обладнання, медичних матеріалів) та забезпечення своєчасного надання послуг. Програмне забезпечення має допомагати мінімізувати час очікування пацієнтів, оптимізувати розподіл медичного персоналу залежно від завантаження, а також автоматизувати облік витратних матеріалів. Особливе значення мають задачі моніторингу, що дозволяють керівництву лікарні отримувати актуальні дані про стан кожного підрозділу у режимі реального часу.

Важливим аспектом є інтеграція функцій підтримки прийняття рішень. Модуль прогнозування дозволяє аналізувати потоки пацієнтів та оцінювати потреби в ресурсах залежно від сезонних коливань, епідеміологічної ситуації або інших факторів. Також програмне забезпечення має сприяти оптимізації процесів госпіталізації та виписки пацієнтів, щоб уникнути перевантаження лікарні.

Друга складова вимог — це визначення основних груп користувачів програмного засобу та їхніх потреб. У медичних установах програмне забезпечення має бути орієнтоване на три основні категорії користувачів: адміністрацію лікарні, медичний персонал та пацієнтів.

Адміністрація лікарні потребує модулів для стратегічного управління. Інформаційні панелі з аналітикою щодо завантаженості лікарні, прогнозування ресурсів та фінансових звітів. Керівництво також зацікавлене у звітності, яка дозволяє відслідковувати показники ефективності кожного відділення та приймати управлінські рішення.

Медичний персонал використовує програму для планування своєї роботи, доступу до даних пацієнтів (електронних медичних карток), моніторингу стану хворих у відділеннях, а також для комунікації між відділеннями чи лікарями.

Пацієнти можуть отримувати доступ до власних записів, планувати візити, спілкуватися з лікарями через телемедичні платформи, переглядати результати аналізів або тестів. Це підвищує рівень зручності та дозволяє пацієнтам активніше брати участь у процесі лікування.

Функціонал програмного забезпечення має охоплювати широкий спектр завдань. Його основними можливостями є:

- Управління потоками пацієнтів. Система має реєструвати кожного пацієнта, відстежувати його рух між відділеннями, контролювати час очікування на прийом або госпіталізацію. Модуль керування записами дозволяє ефективно організовувати візити та госпіталізації.
- Управління персоналом. Інструменти для розподілу завдань між лікарями та середнім медичним персоналом мають враховувати робочий графік, навантаження, кваліфікацію та спеціалізацію співробітників. Це також включає автоматизоване планування змін і контроль за дотриманням нормативів навантаження.
- Управління ресурсами. Важливо забезпечити можливість моніторингу використання ліжок, обладнання та інших медичних ресурсів. Система має

інтегрувати інструменти для обліку витрат матеріалів, своєчасного поповнення запасів та планування їх використання.

- Підтримка прийняття рішень. Програмний засіб повинен надавати аналітичні звіти, які дозволяють оцінювати ефективність роботи лікарні, прогнозувати її потреби та оптимізувати ключові процеси. Зокрема, можуть використовуватися математичні моделі для симуляції різних сценаріїв і аналізу їхнього впливу на роботу лікарні.

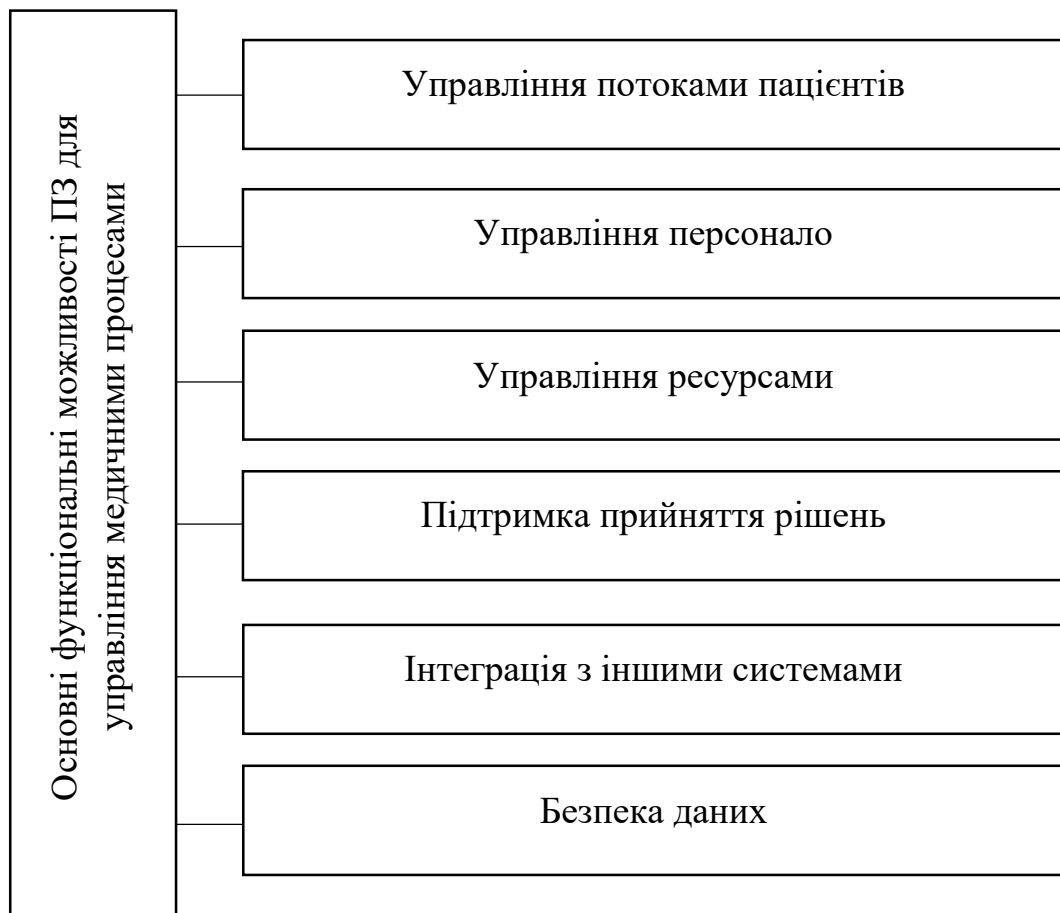


Рис.3.1. Основні функціональні можливості ПЗ для управління медичними процесами

- Інтеграція з іншими системами. Важливим аспектом є сумісність програмного забезпечення з існуючими системами, такими як електронні медичні записи (EMR), телемедичні платформи або IoT-пристрої. Це дозволяє зменшити час впровадження та адаптації системи до реальних умов лікарні.

- Безпека даних. Медична інформація є однією з найбільш конфіденційних, тому програмне забезпечення має відповідати сучасним стандартам захисту даних. Використання шифрування, багаторівневих систем аутентифікації та контроль доступу є обов'язковими.

Вимоги до програмного забезпечення медичного закладу є багатограними. Вони охоплюють як потреби адміністраторів та лікарів, так і пацієнтів, при цьому враховуючи особливості медичних процесів. Така система повинна бути модульною, масштабованою та зручною у використанні. Лише за таких умов вона стане ефективним інструментом для оптимізації процесів у лікарнях.

Розробка архітектури програмного забезпечення для лікарень — це ключовий етап створення системи, яка має забезпечити ефективне управління медичними процесами. Архітектура повинна бути гнучкою, масштабованою та відповідати потребам усіх категорій користувачів, таких як адміністрація лікарні, медичний персонал і пацієнти.

Модульність є основним принципом архітектури. Це дозволяє розподілити функціонал за окремими блоками, які взаємодіють між собою, зберігаючи незалежність. Наприклад, модуль управління потоками пацієнтів відстежує рух пацієнтів у лікарні, тоді як модуль управління персоналом забезпечує раціональне планування графіків лікарів та медсестер. Усе це пов'язано із ресурсним модулем, який аналізує доступність обладнання, ліжок та медикаментів.

Система повинна забезпечувати надійну інтеграцію з базами даних, що зберігають дані про пацієнтів, медичний персонал, фінансові операції та інші важливі аспекти. Для цього обираються сучасні бази даних, які забезпечують високу продуктивність і надійність, такі як PostgreSQL або MongoDB.

Програмне забезпечення інтегрується з іншими системами, зокрема телемедичними платформами, електронними медичними записами (EMR) та IoT-пристроями. Це дозволяє створити єдину інформаційну екосистему лікарні, яка підтримує повну взаємодію між усіма компонентами.

Для забезпечення ефективної роботи програмного забезпечення застосовуються сучасні технології:

- Хмарні обчислення надають змогу зберігати великі обсяги даних, забезпечуючи до них доступ із будь-якого пристрою. Це критично важливо для роботи в різних відділеннях або для віддаленого моніторингу.
- IoT-рішення дозволяють збирати та передавати дані від медичних пристроїв у реальному часі, зокрема дані про стан пацієнтів.
- Використання веб-інтерфейсів гарантує доступ до системи з настільних комп'ютерів і мобільних пристроїв. Розробка проводиться за допомогою сучасних фреймворків, які забезпечують зручний і швидкий інтерфейс.

Інтерфейс програмного забезпечення повинен бути простим у використанні та функціональним. У медицині час є критичним фактором, тому всі елементи системи мають бути розроблені таким чином, щоб зменшити час пошуку інформації. Зручний інструмент пошуку дозволяє лікарям і медсестрам миттєво знаходити дані про пацієнтів чи доступні ресурси.

Інтерфейс має бути адаптивним, забезпечуючи коректну роботу як на великих екранах, так і на смартфонах. Функціонал налаштовується під потреби кожного користувача, лікарі можуть бачити графіки прийомів, а адміністрація — фінансові звіти та статистику завантаженості відділень.

Модульна архітектура забезпечує легкість оновлення та розширення функціоналу, а використання сучасних технологій підвищує надійність та швидкість роботи системи. Взаємодія між модулями та інтеграція із зовнішніми системами створюють умови для ефективного управління лікарнею, покращуючи якість обслуговування пацієнтів і оптимізуючи роботу персоналу.

Інтеграція математичної моделі в програмне забезпечення є важливим етапом розробки системи управління медичними процесами. Це дозволяє перетворити теоретичні розрахунки та моделі в реальні інструменти, які можуть бути використані для прийняття оперативних рішень у лікарнях.

Основним завданням при інтеграції є перетворення математичних обчислень у програмний код, який може бути виконаний у реальному

середовищі. Для цього використовується модульний підхід, який дозволяє виділити модель як окремий блок у загальній архітектурі програмного забезпечення. Алгоритми інтеграції забезпечують обробку вхідних даних, виконання розрахунків та передачу результатів до інтерфейсу користувача.

Математична модель для оптимізації розподілу ресурсів у лікарні включає змінні, такі як кількість доступних ліжок, графік роботи персоналу та кількість пацієнтів, які потребують обслуговування. Алгоритм інтеграції передбачає завантаження цих даних із бази даних, обробку їх у модулі моделювання та повернення оптимального плану розподілу.

Сучасні бібліотеки програмування забезпечують широкі можливості для математичного моделювання та його інтеграції в програмні рішення. У Python, наприклад, використовуються такі бібліотеки:

- SimPy — для дискретно-подійного моделювання. Вона дозволяє створювати сценарії моделювання, які описують поведінку пацієнтів і персоналу в лікарні, включаючи черги, потоки пацієнтів і час обробки.
- NumPy — для роботи з великими масивами даних і виконання швидких математичних розрахунків. Вона використовується для створення моделей оптимізації ресурсів і аналізу історичних даних.

Ці бібліотеки інтегруються безпосередньо в код програмного забезпечення, що дозволяє виконувати складні математичні обчислення у реальному часі.

Припустимо, що лікарня має обмежену кількість операційних кімнат, які потрібно розподілити між пацієнтами залежно від їхньої невідкладності. Модель отримує вхідні дані про поточний стан операційних, заплановані операції та кількість пацієнтів, що чекають на допомогу. Виконуючи розрахунки, модель пропонує оптимальний розклад використання операційних, мінімізуючи час очікування та забезпечуючи максимальну ефективність використання ресурсів.

Модель аналізує статистику відвідувань лікарні за попередні роки, враховуючи такі фактори, як сезонність, спалахи епідемій та зміни у структурі населення. На основі цих даних система прогнозує, як зміниться завантаження відділень у найближчі тижні чи місяці. Це дозволяє адміністрації лікарні

заздалегідь планувати додатковий персонал, відкриття нових відділень чи замовлення необхідних ресурсів.

У відділенні невідкладної допомоги модель оцінює стан пацієнтів на основі даних, які вводяться персоналом під час прийому (наприклад, симптоми, вік, наявність хронічних захворювань). Модель пріоритизує пацієнтів, визначаючи, кого слід обслуговувати насамперед. Такий підхід мінімізує ризик затримки допомоги критичним пацієнтам.

Інтеграція математичної моделі в програмний засіб дозволяє автоматизувати багато рутинних процесів, зменшити навантаження на персонал та підвищити точність управлінських рішень. Завдяки цьому медичні заклади можуть ефективніше розподіляти ресурси, скорочувати час очікування пацієнтів і покращувати якість надання послуг.

Процес тестування та впровадження програмного забезпечення відіграє критично важливу роль у забезпеченні його надійності, ефективності та відповідності потребам медичних закладів. Цей етап включає перевірку роботи системи в умовах, максимально наближених до реальних, виявлення можливих проблем, їх виправлення та поступове впровадження із залученням користувачів. Тестування починається зі створення сценаріїв, які охоплюють основні аспекти роботи системи. Зокрема, це перевірка коректності розподілу ресурсів за різних рівнів завантаження лікарні, ефективності управління чергами пацієнтів і реагування системи на непередбачувані зміни в умовах функціонування. Тестується здатність алгоритмів оперативно перерозподіляти ресурси в умовах раптового збільшення кількості пацієнтів із невідкладними потребами. Також здійснюється оцінка точності прогнозування завантаження відділень лікарні на основі історичних даних.

Під час тестування важливо оцінити зручність користування системою для різних груп користувачів, зокрема лікарів, адміністративного персоналу та пацієнтів. Особливу увагу приділяють перевірці інтерфейсу користувача, адже швидкість доступу до даних і легкість у використанні впливають на загальну ефективність роботи закладу. На цьому етапі також визначаються слабкі місця

системи, які можуть спричиняти збої або не відповідати очікуванням користувачів.

Після завершення тестування програмний засіб впроваджується в пілотному режимі в одному чи кількох медичних закладах. Цей етап включає навчання персоналу роботі із системою, що передбачає як ознайомлення з функціональними можливостями, так і вирішення практичних завдань із використанням програмного забезпечення. Паралельно збирається зворотний зв'язок від усіх користувачів для подальшого вдосконалення системи. На основі відгуків можуть бути змінені параметри відображення даних або внесені корективи до алгоритмів управління ресурсами.

Остаточне впровадження програмного засобу супроводжується моніторингом його роботи в реальних умовах протягом певного періоду. Аналіз зібраних даних дозволяє оцінити ефективність системи та виявити можливі шляхи її подальшої оптимізації. Якщо система виявляє затримки в обробці інформації під час пікових навантажень, це може свідчити про потребу в доопрацюванні інфраструктури або оптимізації програмного коду. Завдяки поступовому та ретельному впровадженню забезпечується не лише технічна стабільність, а й довіра користувачів до нововведення, що є критично важливим для успішного використання технологій у медичних процесах.

Результати впровадження програмного забезпечення в медичній установі мають суттєво підвищити якість, ефективність і стійкість процесів надання медичних послуг. Одним із ключових досягнень стане зниження часу обслуговування пацієнтів. Завдяки автоматизованому управлінню потоками пацієнтів система зможе пріоритизувати випадки залежно від ступеня невідкладності, зменшити час очікування в чергах і уникнути дублювання дій під час реєстрації чи обробки даних. Наприклад, пацієнт у відділенні швидкої допомоги може автоматично скеровуватися до лікаря, який має найменше навантаження, або до кабінету, обладнаного необхідним апаратом.

Іншим важливим результатом стане оптимізація завантаження персоналу та обладнання. Програмний засіб дозволить динамічно розподіляти медичні

ресурси залежно від потреб конкретного моменту, що зменшить як недовантаження, так і перевантаження окремих відділень. Система забезпечить прозоре планування графіків роботи персоналу, враховуючи завантаження та кваліфікацію працівників. У відділеннях з підвищеним напливом пацієнтів можна вчасно задіяти додатковий медперсонал або перенаправити пацієнтів у менш завантажені заклади.

Підвищення точності прогнозів щодо попиту на медичні послуги стане ще одним значним здобутком. Використовуючи історичні дані та алгоритми машинного навчання, система зможе передбачати сезонні сплески звернень пацієнтів, виявляти тенденції щодо певних захворювань та допомагати адміністрації заздалегідь планувати закупівлі медикаментів або залучення додаткових ресурсів. Наприклад, напередодні сезону грипу лікарня матиме можливість підготуватися до збільшення кількості звернень, розширивши запас ліків чи забезпечивши доступність додаткових апаратів вентиляції легень.

Крім того, значно покращиться управління кризовими ситуаціями. Програмний засіб забезпечить швидку оцінку поточного стану лікарні та розробку ефективних сценаріїв реагування на надзвичайні події, такі як масовий наплив пацієнтів під час пандемії чи аварії. Наприклад, система може в реальному часі визначити, скільки місць у відділеннях залишилося, та рекомендувати маршрути перенаправлення пацієнтів у разі перевищення можливостей лікарні.

Впровадження програмного забезпечення приведе до підвищення загальної продуктивності лікарні, зниження витрат на управління процесами та поліпшення досвіду пацієнтів. Завдяки цьому медичні установи зможуть краще відповідати сучасним викликам, залишаючись конкурентоспроможними та забезпечуючи високий рівень медичних послуг.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено концептуальну модель медичних процесів та запропоновано програмний засіб для їх оптимізації, що інтегрує математичні моделі в управлінські рішення. Здійснений аналіз вимог до програмного забезпечення показав необхідність врахування широкого спектра потреб користувачів, зокрема адміністрації, медичного персоналу та пацієнтів. Визначено, що ключовими функціями такого програмного засобу є управління потоками пацієнтів, персоналом і ресурсами.

Розроблена архітектура програмного забезпечення враховує модульність, інтеграцію з базами даних, використання хмарних технологій та IoT для підвищення продуктивності та зручності використання.

Інтеграція оптимізаційної моделі в програмний засіб дозволила б створити алгоритми, здатні в реальному часі аналізувати завантаження лікарні, розподіляти ресурси та прогнозувати попит на медичні послуги. Впровадження такого програмного засобу може значно підвищити ефективність функціонування лікарень, адаптуючи їх до сучасних умов і потреб. Це створює платформу для подальших інновацій в управлінні медичними процесами та забезпечує новий рівень якості обслуговування пацієнтів.

ВИСНОВКИ

У даній роботі досліджено системний підхід до моделювання та оптимізації процесів надання медичних послуг у лікарнях, що є важливим завданням в умовах зростаючих обсягів інформації та потреби в ефективному управлінні ресурсами. В роботі розглянуто ключові аспекти інформаційних систем, їх вплив на оптимізацію бізнес-процесів і можливості інтеграції сучасних технологій у медичну сферу.

Проведений аналіз існуючих методів управління медичними процесами показав, що традиційні системи недостатньо ефективно вирішують завдання оптимізації, особливо в умовах високої завантаженості лікарень. Водночас інформаційні системи, що базуються на хмарних обчисленнях, математичних моделях і автоматизації процесів, дозволяють значно покращити якість управління потоками пацієнтів, розподіл ресурсів і планування роботи персоналу.

На основі проведеного дослідження розроблено концепцію програмного забезпечення, яке інтегрує оптимізаційні моделі в управління медичними послугами. Визначено вимоги до функціоналу програмного забезпечення, створено архітектуру системи з урахуванням модульності, інтеграції з базами даних і використання сучасних технологій, таких як хмарні обчислення, Інтернет речей і веб-інтерфейси.

Впровадження таких програмних засобів не лише сприяє підвищенню ефективності роботи лікарень, але й відкриває перспективи для подальшої автоматизації й оптимізації медичних процесів у масштабах галузі. Інформаційні технології стають ключовим фактором трансформації сучасних медичних послуг, забезпечуючи їхню доступність, якість та інноваційність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Качмар В. О. Медичні інформаційні системи – стан розвитку в Україні / В. О. Качмар // Український журнал телемедицини та медичної телематики. - 2010. - Т. 8, № 1. - С. 12-17
2. Златкін А.А. Дослідження та проектування автоматизованої інформаційної системи медичного закладу / А.А. Златкін, О.В. Харченко, І.В. Сафонова // International Scientific Journal. – 2015. – №7. – С. 36 – 39.
3. Мочалов Ю. О. Інноваційна діяльність у роботі закладів охорони здоров'я / Ю.О. Мочалов // Практика управління медичним закладом. - 2014. - № 3. - С. 28 - 37.
4. Клименко П.М., Грабовський В.А. Оцінювання ефективності управління лікувальним закладом на основі математичного моделювання собівартості медичних послуг. Збірник наукових праць Національної академії державного управління при Президентові України. 2017. № 2. С. 19-33.
5. Мартинюк О.А., Курдибанська Н.Ф. Впровадження системи управління якістю в медичних закладах. Причорноморські економічні студії. 2019. № 6. С. 75-79
6. Чичотка В.В. Обґрунтування моделі побудови оптимальної організаційної структури підприємства. Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії. 2016. Випуск 5-2 (05). С. 40-45.
7. Семененко, Ю., & Шинкарик, Т. (2024). Цифрова трансформація інноватизації управління медичним закладом. Цифрова економіка та економічна безпека, (2 (11), 145-150.
8. Семененко Ю. Методи оцінки ефективності діяльності компаній. Наукові перспективи (Naukovì perspektivi). 2024. № 2(44)
9. Пришляк К. М., Семененко Ю. С. Підвищення конкурентоспроможності компаній за рахунок автоматизації бізнес-процесів. Efektyvna ekonomika. 2024. № 3
10. Буяк, Л. А. (2023). Методи та моделі впливу цифровізації на трансформацію бізнесу. Підприємництво і торгівля, (39), 25-34

11. Яремко С.А. Впровадження інформаційних систем в організаційноуправлінські структури медичних закладів. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2019. № 1. С. 237-241