

**Інформаційна система знаходження вірогідного
лікування пацієнтів з вродженими вадами серця**

АНОТАЦІЯ

Наукова робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури із 21 джерела. Загальний обсяг наукової роботи складає: 30 сторінок, ілюстрацій – 11, таблиць – 6.

Актуальність роботи: створення системи підбору оптимальних методик лікування пацієнтів з вродженими вадами серця для запобігання післяопераційних ускладнень; таким чином можна зменшити ймовірність впливу суб'єктивного фактору в процесі лікування.

Метою наукової роботи є розробка інформаційної системи знаходження вірогідного лікування пацієнтів з вродженими вадами серця.

Поставлена мета є описом багатокритеріальної задачі оптимізації, де в якості критеріїв виступають післяопераційні ускладнення, а для їх одночасної оптимізації треба знайти необхідну комбінацію методів лікування. Вирішення подібної задачі і є головним завданням наукової роботи.

Для виконання роботи були використані такі методи як: 1) метод аналізу ієрархій Сааті; 2) метод групового урахування аргументів; 3) генетичні алгоритми. В результаті було розроблено комплексний алгоритм, який знаходить вірогідне лікування для зменшення післяопераційних ускладнень, а також програмне забезпечення, яке використовує даний алгоритм та відображає результати його виконання.

Ключові слова: вроджені вади серця, багатокритеріальна оптимізація, метод групового урахування аргументів, метод аналізу ієрархій Сааті, генетичні алгоритми.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	5
1.1. Метод аналізу ієрархій	5
1.2. Генетичні алгоритми.....	10
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	13
2.1. Характеристика клінічного матеріалу	13
2.2. Методи дослідження.....	15
РОЗДІЛ 3. ОПИС КОМПЛЕКСНОГО АЛГОРИТМУ	17
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	22
4.1. Прогнозування оперативного лікування	25
4.2. Прогнозування консервативного лікування.....	26
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	29

ВСТУП

Відомо, що в сучасному світі прийнято лікувати людей, які мають вроджені вади серця, хірургічним шляхом. В українських лікарнях давно прийняті такі операційні методики, як процедура Кавашима, Фонтен (атрезія тристулкового клапана), звуження легеневої артерії, тощо. Проте не завжди подібні операції проходять ідеально, і в таких випадках у пацієнтів виникають ускладнення. Для їх запобігання можна, проаналізувавши історичні дані, скласти алгоритм, який на основі початкового стану пацієнта буде прогнозувати вірогідне лікування. При цьому, алгоритм повинен уміти одночасно оптимізувати усі післяопераційні ускладнення, та швидко знаходити необхідне рішення, не вдаючись до повного перебору. Також необхідно створити систему з простим та зрозумілим графічним інтерфейсом, яка в зручній формі буде відображати результати виконання подібного алгоритму.

Враховуючи той факт, що пацієнтів лікували в два етапи, відповідно роботу було розбито на дві частини: *в першій* в якості критеріїв розглядаються ускладнення у ранньому післяопераційному періоді після хірургічного втручання; *в другій* в якості критеріїв розглядаються ускладнення у пізньому післяопераційному періоді після консервативного лікування (за допомогою ліків).

Таким чином, в науковій роботі було сформовано наступні *задачі*:

1. Вибір математичних методів для вирішення проблем множинності післяопераційних ускладнень та задачі перебору методів лікування.
2. Побудова математичних моделей для прогнозування настання несприятливих подій у ранньому та пізньому післяопераційному періодах.
3. Створення алгоритму знаходження вірогідного лікування для уникнення післяопераційних ускладнень.
4. Реалізація зручного та комфортного програмного забезпечення для використання алгоритму на практиці.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ) є популярним багатокритеріальним методом прийняття рішень [11]. Він забезпечує співвідношення масштабів пріоритетів елементів на різних рівнях ієрархії. Ці пріоритети отримуються шляхом попарних порівнянь елементів на одному рівні з посиланням на кожен елемент на більш високому рівні.

Метод ґрунтується на таких аксіомах [5]:

1. Аксіома *пов'язаності*. Якщо $m(a,b)$ – пріоритет, що визначає у скільки разів деякий елемент ієрархії a має переваги у порівнянні з іншим елементом b , то виконується умова:

$$m(a,b) = 1/m(b,a). \quad (1.1)$$

Наприклад, якщо a в 2 рази має перевагу над елементом b , то з цього випливає, що b в 0,5 разів має перевагу над a .

2. Аксіома *гомогенності*. На кожному рівні ієрархії діапазон оцінок елементів, які порівнюються, не повинен сильно відрізнятися і має бути однаковий для всіх парних оцінок, наприклад від 1/9 до 9.

3. Аксіома *синтезу*. Оцінки елементів більш високого рівня ієрархії не залежить від оцінок на більш низьких рівнях.

Метод аналізу ієрархій узагальнює традиційне поняття транзитивності для будь-якої трійки альтернатив.

Поняття транзитивності полягає в тому, що

$$\text{якщо } a \succ b \text{ і } b \succ c, \text{ то } a \succ c. \quad (1.2)$$

Узагальнене поняття транзитивності формулюється таким чином:

$$\begin{aligned} \text{якщо } a \succ b \text{ в } m_1 \text{ разів, а } b \succ c \text{ в } m_2 \text{ разів,} \\ \text{то } a \succ c \text{ в } m_1 m_2 \text{ разів.} \end{aligned} \quad (1.3)$$

Для вирішення проблеми за методологією МАІ використовують чотири кроки, застосування яких розкладається на ієрархію критеріїв, щоб їх можна було простіше проаналізувати і порівняти в незалежній ситуації (рис. 1.1) [12].

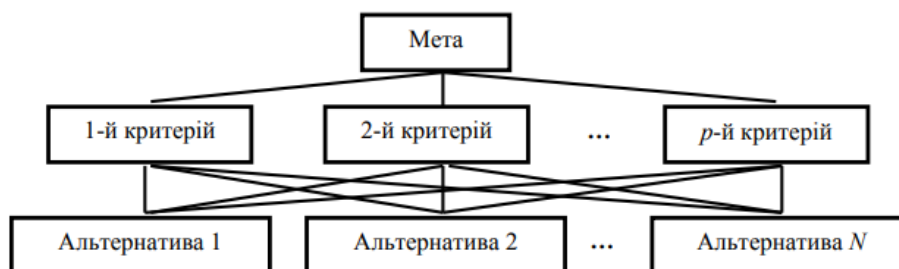


Рисунок 1.1. Приклад МАІ для абстрактної задачі

Особа, яка приймає рішення (ОПР), після побудови ієрархічної проблеми, може систематично оцінювати альтернативи, виконуючи парні порівняння для кожного з обраних критеріїв. Це порівняння використовує дані з альтернатив або людських суджень як спосіб введення інформації.

Алгоритм складається з таких кроків:

1. Створити «ієрархію» рішення, розбиваючи загальну проблему на індивідуальні критерії.
2. Зібрати реляційні дані для критеріїв прийняття рішень і альтернатив, та кодувати ці дані, використовуючи реляційну шкалу методу аналізу ієрархій.
3. Оцінити відносні пріоритети (вагу) критеріїв рішення та альтернатив.
4. Виконати композицію пріоритетів за критеріями, які дають ранг альтернатив.

Крок 1. Важливо розпочати розробку ієрархічного подання проблеми. На вершині цієї ієрархії стоїть загальна мета, в той час як альтернативні рішення знаходяться внизу. Між верхнім і нижнім рівнями знаходяться відповідні

атрибути або критерії проблеми вирішення, такі як критерії відбору, підкритерії та різні «суб'єкти» (особи, установи, організації тощо). Це забезпечить значний внесок у процес прийняття рішень, наскільки це доцільно. Рівень чисельності рівнів в ієрархії залежить від складності розглянутої проблеми.

Крок 2. На цьому кроці необхідно зібрати дані для порівняння альтернатив. Це вимагає, щоб особа, яка приймає рішення, (ОПР) проводила паралельні порівняння критеріїв на кожному рівні щодо кожної діяльності на наступному суміжному більш високому рівні в ієрархії.

Сааті запропонував реляційну шкалу чисел від 1 до 9 для систематичного присвоєння переваг (табл. 1.1 [10]).

Таблиця 1.1

Реляційна шкала чисел

Оцінка	Визначення	Пояснення
1	Рівна важливість	Два фактори однаково сприяють цілі
3	Деяко важливіше	Один фактор має незначну перевагу над іншим
7	Значно важливіше	Один фактор має значну перевагу над іншим
9	Абсолютно важливіше	Один фактор має очевидну перевагу над іншим
2, 4, 6, 8	Проміжні значення	Коли потрібні компроміси для більш чіткого рішення
Обернені величини чисел, наведених вище		Якщо при порівнянні одного фактора з другим, отримано одне з вищевказаних чисел (1-9), то при порівнянні другого з першим, матимемо обернену величину

ОПР створює модель задачі, розробляючи ієрархічне подання декомпозиції. Як згадувалось раніше, на вершині ієрархії стоїть загальна мета або головна мета, яку прагнуть досягти. Наступні нижчі рівні представляють прогресивну декомпозицію проблеми. ОПР завершує паралельні порівняння всіх критеріїв на кожному рівні по відношенню до кожного з критеріїв проблеми в додатковому вищому рівні ієрархії. Склад цих елементів показує відносний

пріоритет критеріїв на найнижчому рівні (зазвичай альтернатив) щодо досягнення найвищої мети.

Крок 3. За допомогою парних порівнянь використовують метод середнього геометричного. За формулою (1.4) знаходять вектор відносних пріоритетів.

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{a_{i1}, \dots, a_{in}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{a_{i1}, \dots, a_{in}}}, i = \overline{1, n} \quad (1.4)$$

де w_i – це шуканий вектор, n – кількість рядків матриці, a – альтернатива.

При заповненні матриці попарних порівнянь ОПР може допустити помилки [7]. Однією із таких помилок може бути порушення транзитивності. Для виявлення неузгодженості було запропоновано розрахувати індекс узгодженості порівнянь (1.5), який здійснюється за допомогою матриці парних порівнянь.

$$J_p = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (1.5)$$

де J_p – шуканий індекс; λ_{max} обчислюється за формулою (1.6).

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_i^n \frac{Aw}{a_i}}{n} \quad (1.6)$$

де A – матриця порівнянь, w – вектор коефіцієнтів, a_i – елементи матриці порівнянь, n – кількість рядків матриці A .

Потім за формулою (1.7) розраховується відношення узгодженості:

$$T = \frac{J_p}{P_n}, \quad (1.7)$$

де T – шукане відношення; P_n – середнє значення індекса узгодженості, яке є різним в залежності від розміру матриці (табл. 1.2) [19].

Таблиця 1.2

Таблиця норм індексів для N альтернатив

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_n	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

При перевірці узгодженості, бажаним вважається рівень $T \leq 0,1$ (10%). Якщо значення T перевищує цей рівень, рекомендується провести порівняння заново [4].

Визначення коефіцієнтів для неперервних критеріїв не передбачає побудову таблиці парних порівнянь [3]. Для отримання значень використовується формула нормування:

$$W_i = \frac{a_i}{\sum_{i=0}^n a_i} \quad (1.8)$$

Крок 4. Після отримання всіх необхідних коефіцієнтів будується таблиця оптимального вибору, де за формулою суми добутків обраховуються числові показники оптимальності кожної з альтернатив [13].

$$K_i = \sum_{j=1}^m a_j * b_j, \quad i = \overline{1, n} \quad (1.9)$$

де K – кінцевий коефіцієнт, m – кількість критеріїв, a – значення з таблиці порівнянь альтернатив, b – значення з таблиці порівнянь критеріїв, n – кількість альтернатив.

Після знаходження всіх коефіцієнтів необхідно визначити фаворита [1].

$$G = \max(K_i), i = \overline{1, n} \quad (1.10)$$

де G – оптимальна альтернатива, K_i – значення кінцевого коефіцієнту альтернативи.

1.2. Генетичні алгоритми

1.2.1. Загальні відомості

Генетичні алгоритми (ГА) – це адаптивні евристичні алгоритми пошуку, які належать до еволюційних алгоритмів [14]. Генетичні алгоритми базуються на ідеях природного відбору та генетики. Це інтелектуальна експлуатація випадкового пошуку з історичними даними для направлення пошуку в область кращої продуктивності в просторі рішень. Вони зазвичай використовуються для створення високоякісних рішень для оптимізації та пошуку проблем.

Генетичні алгоритми імітують процес природного відбору, який означає, що ті види, які можуть пристосуватися до змін у своєму оточенні, здатні виживати, відтворюватися і переходити до наступного покоління (тобто вони імітують «виживання найсильніших» серед індивідів послідовного покоління для вирішення проблеми). Кожне покоління складається з популяції індивідів, кожен індивід зображує точку в просторі пошуку і можливе рішення. Він представлений як рядок символів, чисел або бітів, який аналогічний хромосомі [21].

Популяція зберігається в межах простору пошуку. Кожен індивід є рішенням у пошуковому просторі для конкретної проблеми. Він кодується як вектор кінцевої довжини (аналогічний хромосомі) компонентів. Ці змінні компоненти аналогічні генам. Таким чином, хромосома (індивід) складається з декількох генів (змінних компонентів).

1.2.2. Функція пристосованості

Функція пристосованості надається кожному індивіду, яка показує її здатність «конкурувати» [9]. Необхідні індивіди, які мають оптимальну функцію пристосованості (або близьку до оптимального).

ГА підтримує популяцію n осіб (хромосом / рішень) разом з їхніми функціями пристосованості. Хромосоми, які мають кращі функції пристосованості, отримують більше шансів на розмноження, ніж інші. Рішення з кращими функціями пристосованості відбираються для спарювання і формування кращих нащадків, поєднуючи хромосоми батьків. Деякі індивіди вмирають і замінюються новоприбулими, зрештою створюючи нове покоління. За послідовними поколіннями прийдуть кращі рішення.

Кожне нове покоління має в середньому більше «кращих генів», ніж індивіди (рішення) попередніх поколінь. Таким чином, кожне нове покоління має кращі «часткові рішення», ніж попередні покоління. Після того, як сформовано потомство, яке не має істотної різниці із нащадками, виробленими попередніми популяціями, популяція збігається.

1.2.3. Оператори ГА

Після створення початкового покоління алгоритм розвиває покоління за допомогою таких операторів:

1. *Оператор селекції*. Ідея полягає в тому, щоб віддати перевагу хромосомам з кращими показниками функції пристосованості і дозволити їм передати гени послідовним поколінням.

Найбільш відомими різновидами оператора селекції є турнірний і рулеточний відбори [6].

Турнірний відбір полягає в тому, що із N (кількість популяції) хромосом вибирають випадковим чином t хромосом, найкраща із яких стає батьком наступного покоління. Так повторюється N разів.

Рулеточний відбір полягає в тому, що хромосоми відбираються за допомогою N -ої кількості «запусків рулетки». Колесо рулетки складається з

секторів для кожної хромосоми популяції, розмір яких пропорційний ймовірності попадання хромосоми в нову популяцію.

2. *Оператор схрещування* (кроссовер). Він являє собою сполучення між індивідами. Два індивідууми вибираються за допомогою оператора селекції, а місця кросоверів вибираються випадковим чином. Потім гени на цих кросоверах обмінюються таким чином, що створюють абсолютно нову хромосому. В результаті отримується нове потомство.

3. *Оператор мутації*. Ключова ідея полягає у заміні генів в нащадках на нові випадковим чином, щоб зберегти різноманітність у популяції для уникнення передчасного зближення [16].

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика клінічного матеріалу

В якості клінічного матеріалу використана база даних, яка містить 128 пацієнтів з вродженими вадами серця. Лікування даних пацієнтів проходило в 2 етапи: 1) хірургічне втручання (пацієнтам проводилися різні операції), 2) консервативне лікування (за допомогою ліків). Були використані клініко-морфологічні характеристики хворих, дані лабораторних та інструментальних досліджень, характеристики операційного та післяопераційного етапів. Всього проаналізовано 313 змінних, з яких було відібрано значимі для поставленої мети дослідження:

- 1) *змінні початкового стану пацієнта (12 змінних):*
 - вік (в місяцях) (x_{101});
 - діаметр лівої легеневої артерії (x_{102});
 - індекс Наката – площа поперечного перерізу гілок легеневої артерії до площі поверхності тіла (x_{103});
 - кінцево-діастолічний тиск в лівому шлуночку (x_{104});
 - тиск в легеневій артерії (x_{105});
 - кінцево-діастолічний індекс (x_{106});
 - опір легеневих судин (x_{107});
 - бали по шкалі факторів ризику для операції тотального кавопульмонального сполучення (x_{108});
 - z-індекс – оцінка, яка виражається як відхилення від середнього значення в одиницях стандартного відхилення (x_{109});
 - наявність гіпертрофії (x_{110});
 - наявність морфології правого шлуночку (x_{111});
 - пацієнту проводили процедуру Рашкінда (x_{112});

2) змінні операційного лікування (9 змінних):

- загальний об'єм альбуміну – анаболічного лікарського засобу, який підтримує онкотичний тиск (oncotic pressure), збільшує об'єм циркулюючої крові і підвищує артеріальний тиск, та використовується при операційному шоці (x_{201});
- рівень добутаміну (x_{202});
- рівень адреналіну (x_{203});
- тип вшитого кондуїту (x_{204});
- усунення коарктації аорти (x_{205});
- процедура Damus-Kaye-Stansel (x_{206});
- пластика атріовентрикулярних клапанів під час операції тотального кавопульмонального сполучення (x_{207});
- пластика гілок легеневої артерії під час операції тотального кавопульмонального сполучення (x_{208});
- процедура Кавашима з відведенням печінкової вени (x_{209});

3) змінні раннього післяопераційного стану пацієнта (9 змінних):

- ексудація більше 14 днів (x_{301});
- наявність усіх післяопераційних порушень ритму (x_{302});
- наявність плевриту (x_{303});
- плікація діафрагми (x_{304});
- порушення мозкового кровообігу (x_{305});
- наявність тромбозу (x_{306});
- наявність хілотораксу (x_{307});
- наявність повної атріовентрикулярної блокади (x_{308});
- дисфункція синусового вузла (x_{309});

4) змінні консервативного лікування (9 змінних):

- тривалість прийому нітро (x_{401});
- тривалість прийому міметиків (x_{402});
- дози каптопрілу (x_{403});
- час підключення гепарину (x_{404});
- використання еритроцитів (якщо так, то в який день) (x_{405});

- використання аміновену (якщо так, то в який день) (x_{406});
 - використання гормонів (якщо так, то яких саме: дексон чи преднізолон) (x_{407});
 - допамін більше трьох днів (x_{408});
 - використання силденафілу (x_{409});
- 5) змінні пізнього післяопераційного стану пацієнта (9 змінних):
- наявність дисфункції міокарда (x_{501});
 - наявність ускладнень загалом з дисфункцією міокарда (x_{502});
 - стан фенестрації в нормі (x_{503});
 - функціональна класифікація хронічної серцевої недостатності NYHA (Нью-Йоркської асоціації кардіологів) в нормі (x_{504});
 - кінцеводіастолічний розмір в нормі (x_{505});
 - індекс Наката в нормі (x_{506});
 - кінцеводіастолічний тиск в нормі (x_{507});
 - транспульмональний градієнт в нормі (x_{508});
 - Z-кільця аортального клапана в нормі (x_{509}).

Змінні раннього та пізнього післяопераційного станів пацієнта були відібрані за допомогою лікаря-експерта. Вони виступали в ролі вихідних змінних, в той час як інші змінні – в ролі вхідних. Для уникнення проблеми мультиколінеарності було застосовано метод рекурсивного відбору ознак (*Recursive Feature Elimination*), щоб відібрати найбільш значимі вхідні змінні.

Перші 3 групи змінних використовувались в багатокритеріальній задачі оптимізації ранніх післяопераційних ускладнень, останні 3 групи – в оптимізації пізніх післяопераційних ускладнень.

2.2. Методи дослідження

Цілю роботи було створення алгоритму підбору варіанту лікування для оптимізації післяопераційних ускладнень.

В базі присутньо 9 ранніх післяопераційних ускладнень та 9 пізніх післяопераційних ускладнень. Одночасна оптимізація усіх ускладнень є надто складною задачею для її вирішення. Проаналізувавши різні методи багатокритеріального прийняття рішень, було вирішено обрати метод аналізу ієрархій, оскільки він є найпростішим в реалізації, зручним при роботі з великою кількістю критеріїв, а також враховує пріоритетність кожного критерію. За допомогою нього можна отримати функцію згортки критеріїв, яку необхідно максимізувати.

Щоб виконати поставлену задачу, для обраних критеріїв необхідно було побудувати математичні моделі прогнозування. Для моделювання був використаний програмний інструмент для прогнозування на основі МГУА *GMDH Shell DS 3.8.9*. Оскільки ускладнення представляють собою бінарні змінні (ускладнення наявне або ні), відповідно необхідно побудувати моделі бінарної класифікації.

Варіантів перебору методів лікування більше ста мільярдів, що для будь-якої, навіть найпотужнішої машини, надто багато. Для вирішення цієї проблеми було вирішено використати генетичний алгоритм, оскільки еволюційним шляхом він оптимізує швидкість знаходження необхідного рішення.

Таким чином, комбінуючи метод аналізу ієрархій і генетичний алгоритм, було створено комплексний алгоритм знаходження вірогідного лікування для вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації.

Для реалізації комплексного алгоритму знаходження рішення було використано мову програмування *Python* версії 3 [18]. Користувацький інтерфейс для відображення результатів роботи алгоритму реалізований за допомогою мови програмування *Java* версії 9.0.4 [15] та платформи *JavaFX* [2] на базі середовища розробки *IntelliJ IDEA Community Edition 2017.3.3* [17]. База даних, в якій будуть зберігатися дані про пацієнта та результати алгоритму, реалізована за допомогою системи управління базами даних *SQLite* [8].

РОЗДІЛ 3

ОПИС КОМПЛЕКСНОГО АЛГОРИТМУ

Загальний алгоритм вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації виглядає наступним чином (рис. 3.1).

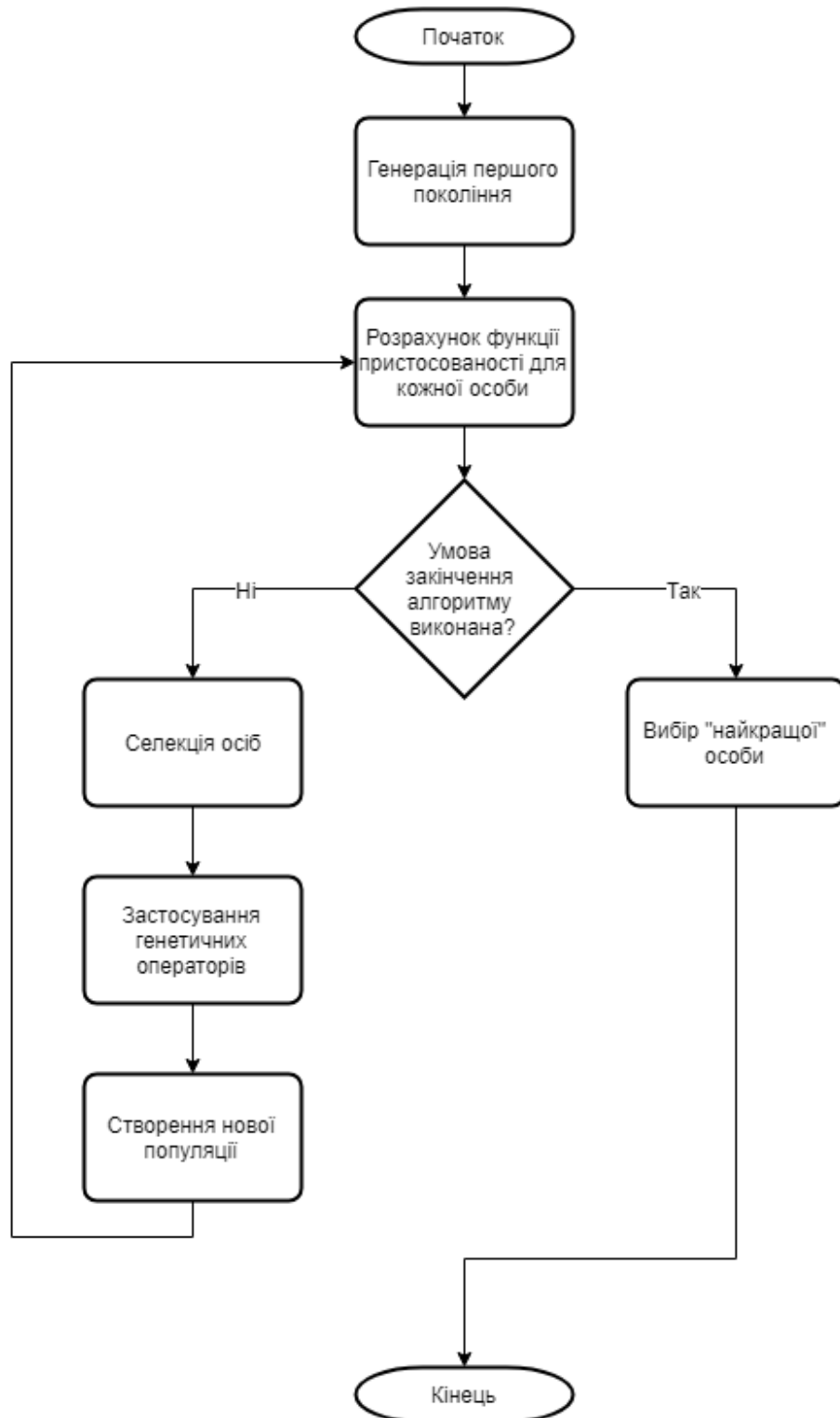


Рисунок 3.1. Комплексний алгоритм знаходження вірогідного лікування

Задача полягає в тому, щоб визначити комбінацію змінних лікування, яка забезпечить оптимальний стан пацієнта в післяопераційному періоді. Оскільки таких комбінацій безліч, то відповідно пошук необхідного рішення займе велику кількість часу. Алгоритм вирішує дану проблему наступним шляхом:

Крок 1. Спочатку випадковим шляхом формується вибірка із N хромосом [6]. Кожна хромосома є масивом із 9 змінних лікування. Якщо брати змінні хірургічного лікування, то вони лежать в наступних проміжках:

$$x_{201} \in [1; 1000]; x_{202} \in [1; 250]; x_{203} \in [5; 60]; x_{204} \in [1; 5]; x_{205} \in [1; 2]; x_{206} \in [1; 2]; x_{207} \in [1; 2]; x_{208} \in [1; 2]; x_{209} \in [1; 2].$$

Змінні консервативного лікування лежать в таких проміжках:

$$x_{401} \in [0,01; 42]; x_{402} \in [1; 81]; x_{403} \in [0; 1]; x_{404} \in [1; 25]; x_{405} \in [1; 7], x_{406} \in [1; 4], x_{407} \in [1; 3], x_{408} \in [1; 2]; x_{409} \in [1; 2],$$

Крок 2. Далі для кожної хромосоми розраховується *функція згортки критеріїв*, яка в даному алгоритмі є *функцією пристосованості*. Вона виглядає таким чином:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{згортки}} = & -0,353x_{301} - 0,177x_{302} - 0,118x_{303} - 0,088x_{304} \\ & - 0,071x_{305} - 0,059x_{306} - 0,05x_{307} - 0,044x_{308} \\ & - 0,039x_{309} \end{aligned} \quad (3.1)$$

де x_{301}, \dots, x_{309} – ранні післяопераційні ускладнення, які виступають в ролі критеріїв. Аналогічним чином функція пристосованості виглядає для пізніх післяопераційних ускладнень x_{501}, \dots, x_{509} . Дану функцію було отримано за допомогою методу аналізу ієрархій, шляхом проведення парного порівняння критеріїв (табл. 3.1), з використанням реляційної шкали чисел Сааті (табл. 1.1) та врахуванням аксіом пов'язаності (1.1), гомогенності та синтезу (1.2).

Після порівняння, для кожного критерію розраховується його власний вектор (ваговий коефіцієнт) (1.4). Використовуючи формули (1.5-1.7) та табл.

1.2, було перевірено правильність заповнення табл. 3.1. Результати даних операцій вказані в табл. 3.2.

Таблиця 3.1

Попарне порівняння критеріїв ранніх післяопераційних ускладнень

	x_{301}	x_{302}	x_{303}	x_{304}	x_{305}	x_{306}	x_{307}	x_{308}	x_{309}
x_{301}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_{302}	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
x_{303}	0.33	0.67	1	1.33	1.67	2	2.33	2.67	3
x_{304}	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25
x_{305}	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
x_{306}	0.167	0.33	0.5	0.67	0.83	1	1.167	1.33	1.5
x_{307}	0.143	0.286	0.429	0.571	0.714	0.857	1	1.143	1.286
x_{308}	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1	1.125
x_{309}	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	0.67	0.78	0.89	1

Таблиця 3.2

Вагові коефіцієнти критеріїв

Критерій	Середнє геометричне	Ваговий коефіцієнт	Інтенсивність відносної важливості	Частка	λ_{\max}	Індекс узгодженості	%
x_{301}	4.147	0.353	3.181	9	9	0	0
x_{302}	2.074	0.177	1.591	9			
x_{303}	1.382	0.118	1.06	9			
x_{304}	1.037	0.088	0.795	9			
x_{305}	0.829	0.071	0.636	9			
x_{306}	0.691	0.059	0.53	9			
x_{307}	0.592	0.05	0.454	9			
x_{308}	0.518	0.044	0.398	9			
x_{309}	0.461	0.039	0.353	9			

Критерії є бінарними змінними, тому для них були побудовані моделі класифікації за допомогою покрокового змішаного алгоритму МГУА [20] в *GMDH Shell*. Приклад моделі класифікації представлено нижче (3.2).

Кожна модель була оцінена за показниками чутливості, специфічності та точності (загальному відсотку правильно передбачених подій), розрахованими на навчальній та екзаменаційній вибірках. Навчальна вибірка склала 85% від всіх

спостережень, екзаменаційна – 15%. Оцінки якості кожної моделі наведені в табл. 3.3-3.4.

$$\begin{aligned}
 x_{301} = & -0.833 + \frac{0.003x_{201}}{x_{111}} - 0.001x_{106}x_{208} - 0.002x_{105}x_{109} \\
 & + \frac{17.086x_{112}}{x_{101}} + \frac{10.415}{x_{103}x_{109}} + 0.001x_{101}x_{202} + \frac{0.359x_{207}}{x_{205}} \\
 & - \frac{0.008x_{202}}{x_{109}} - \frac{0.053x_{202}}{x_{204}} + \frac{35.55}{x_{101}x_{204}}
 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Таблиця 3.3

Точності класифікаційних моделей ранніх післяопераційних ускладнень

Модель	Точність		Чутливість		Специфічність	
	Навчання	Екзамен	Навчання	Екзамен	Навчання	Екзамен
x_{301}	92.6%	94.8%	0.908	0.933	1	1
x_{302}	94.5%	89.7%	0.962	0.9	0.941	0.896
x_{303}	92.9%	93.1%	1	1	0.922	0.923
x_{304}	94.8%	93.1%	1	1	0.945	0.927
x_{305}	91.4%	86.2%	1	1	0.91	0.857
x_{306}	94.8%	93.1%	1	1	0.946	0.927
x_{307}	93.9%	93.1%	1	1	0.936	0.927
x_{308}	98.5%	93.8%	1	1	0.984	0.982
x_{309}	96.9%	96.6%	1	1	0.968	0.965

Таблиця 3.4

Точності класифікаційних моделей пізніх післяопераційних ускладнень

Модель	Точність		Чутливість		Специфічність	
	Навчання	Екзамен	Навчання	Екзамен	Навчання	Екзамен
x_{501}	85,9%	86,2%	0,821	0,826	1	1
x_{502}	83,1%	81%	0,841	0,814	0,806	0,8
x_{503}	84,7%	82,8%	0,848	0,837	0,848	0,8
x_{504}	86,2%	84,5%	0,901	0,875	0,818	0,808
x_{505}	80,4%	75,9%	0,898	0,871	0,704	0,73
x_{506}	88,3%	82,8%	0,866	0,826	0,903	0,829
x_{507}	79,8%	79,3%	0,937	0,833	0,726	0,783
x_{508}	84,0%	86,2%	0,9	1	0,827	0,837
x_{509}	85%	86,2%	0,941	0,875	0,839	0,86

Крок 3. Після отримання *функції пристосованості* перевіряється умова закінчення алгоритму. В нашому випадку цією умовою є знаходження максимального значення функції пристосованості. В разі виконання умови обирається «найкраща» особа, тобто необхідне рішення. В протилежному випадку виконуються «класичні» методи генетичних алгоритмів:

1. *Селекція рулеточним методом.* Селекція таким шляхом полягає в тому, що формується N -а кількість пар хромосом, які стають «батьками» наступного покоління. Їх відбирають запусками рулетки, де для кожної хромосоми виділено по одному сектору колеса. Розмір сектору пропорційний ймовірності попадання в нову популяцію, таким чином хромосоми з більш високою функцією пристосованості будуть вибиратись частіше.

2. *Схрещення.* Після того, як були обрані пари батьків, відбувається їхнє схрещення, таким чином формуючи нове покоління. Принцип схрещення полягає в тому, що всередині батьків визначається точка розриву, яка ділить їх на дві частини. Нова хромосома буде містити в собі першу частину від «батька» і другу частину від «матері». Схематично це показано на рис. 3.2.

Таким чином формується нове покоління хромосом. У випадку, коли всі хромосоми в популяції є однаковими, схрещення втрачає сенс. Тоді застосовується мутація, яка полягає в тому, що $N-1$ хромосом замінюються на абсолютно нові, випадково згенеровані хромосоми.

Крок 4. Кроки 2-3 повторюються до тих пір, поки не буде виконана умова закінчення алгоритму.

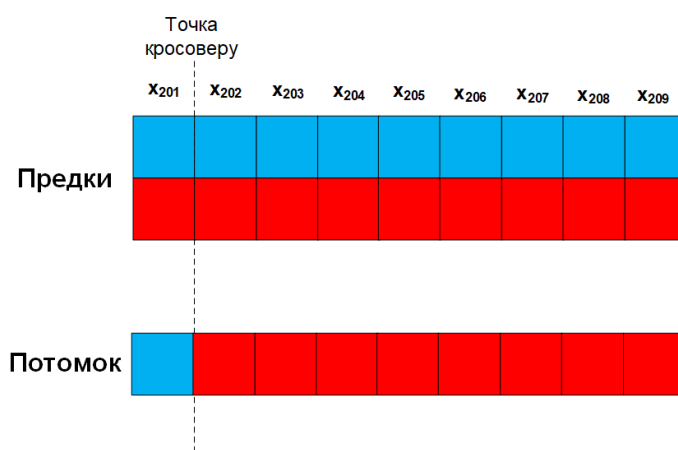


Рис. 3.2. Принцип схрещування

РОЗДІЛ 4

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для реалізації програмного забезпечення (ПЗ) використано концепцію *MVC* (*Model-View-Controller*), яка дозволяє розділити дані програми, користувацького інтерфейсу і керуючої логіки на три окремих компоненти:

- 1) *Model* (модель) – надає дані та змінює свій стан, реагуючи на команди контролера;
- 2) *View* (подання, представлення) – відповідає за відображення даних користувачу, реагуючи на зміну моделі;
- 3) *Controller* (контролер) – сповіщає модель про необхідність змін, інтерпретуючи дії користувача.

За допомогою такого підходу модифікація кожного компоненту може відбуватися незалежно один від одного. Схему концепції *MVC* подано на рис. 4.1.

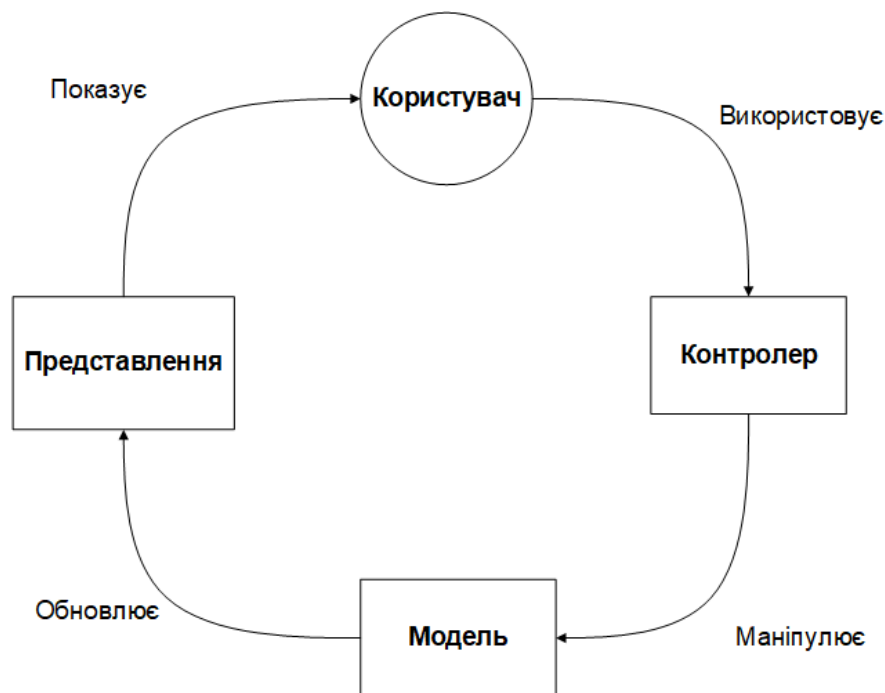


Рисунок 4.1. Концепція Model-View-Controller

MVC не має чіткої реалізації, тому реалізувати дану концепцію можна по-різному.

Програмне забезпечення розроблене для двох ролей користувачів: адміністратора та лікаря. В залежності від ролі користувача функціонал програми може відрізнятися. Це зроблено для того, щоб було чітко розділення обов'язків.

Головне меню програми виглядає наступним чином (рис. 4.2).



Рисунок 4.2. Головне меню програми (при вході лікаря)

Функціонал програми наступний:

- авторизація користувача (рис. 4.3);
- додавання нового пацієнта в базу даних (рис. 4.4) – дана функція доступна лише для лікаря;
- додавання раннього післяопераційного стану пацієнта в базу даних (рис. 4.5) – функція також доступна лише для лікаря;
- підбір вірогідного методу хірургічного лікування для певного пацієнта за допомогою комплексного алгоритму;
- перегляд обраного методу хірургічного лікування;
- підбір вірогідного методу консервативного лікування для певного пацієнта за допомогою комплексного алгоритму;
- перегляд обраного методу консервативного лікування.

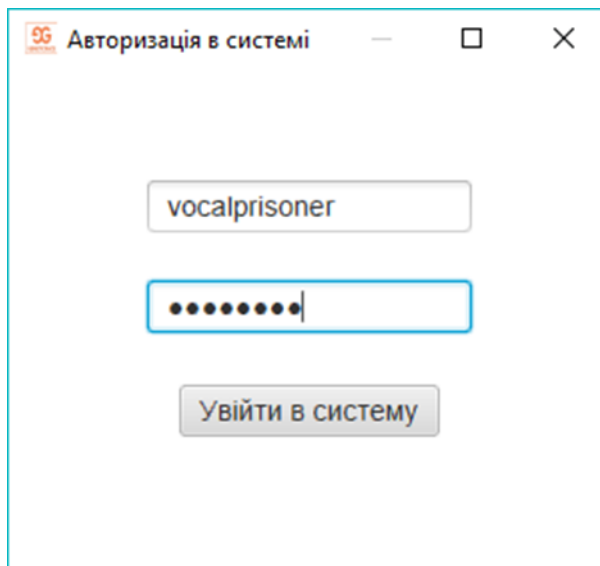


Рисунок 4.3. Вікно авторизації

The image shows a window titled "Анкета" (Survey). It contains a list of fields for patient information and medical data, including name, date of birth, and various medical parameters, along with buttons for saving and returning to the main menu.

Прізвище	<input type="text"/>
Ім'я	<input type="text"/>
По-батькові	<input type="text"/>
Стать	Чоловіча
Дата народження	<input type="text"/>
Прізвище другого лікаря	<input type="text"/>
Діаметр лівої легеневої артерії	<input type="text"/>
Індекс Наката	<input type="text"/>
КДТ в загальному шлуночку	<input type="text"/>
Тиск в легеневій артерії	<input type="text"/>
КДІ	<input type="text"/>
Опір легеневих судин	<input type="text"/>
Бали по шкалі факторів ризику для операції ТКПС	<input type="text"/>
z-score	<input type="text"/>
Наявність гіпертрофії	Так
Морфологія правого шлуночку	Так
Після процедури Рашкінда	Так

Додати в базу даних

Повернутися до головного меню

Рисунок 4.4. Вікно анкети нового пацієнта

Додання післяопераційного стану пацієнта

Прізвище: Кривченкова

Ім'я: Альона

По-батькові: Анатоліївна

Стать: Жіноча

Дата народження: 05.07.2004

Ексудація більше 14 днів: Ні

Всі післяопераційні порушення ритму: Ні

Плеврит у ранньому періоді: Ні

Пликація діафрагми: Ні

Порушення мозкового кровообігу: Ні

Тромбоз: Ні

Хілоторакс: Ні

Повна АВ-блокада: Ні

Дисфункція синусового вузла: Ні

Додати в базу даних

Повернутися до головного меню

Рисунок 4.5. Вікно заповнення стану пацієнта

4.1. Прогнозування оперативного лікування

Вирішення даної задачі виглядає наступним чином (рис. 4.6).

Прогнозування оперативного лікування

Прізвище: Кривченкова

Ім'я: Альона

По-батькові: Анатоліївна

Стать: Жіноча

Дата народження: 05.07.2004

Вік (в місяцях): 53

Діаметр лівої легеневої артерії: 9.0

Індекс Наката: 239.87

КДТ в загальному шлуночку: 15

Тиск в легеневій артерії: 32

Кінцево діастолічний індекс: 45.0

Опір легеневих судин: 2.78

Бали по шкалі факторів ризику для операції ТКПС: 5.0

z-score: -6.07

Нааяність плевтрофії: Ні

Морфологія правого шлуночку: Ні

Після процедури Рашкінда: Ні

Спрогнозувати лікування

Повернутися до головного меню

Перший варіант лікування
 Другий варіант лікування
 Третій варіант лікування
 Четвертий варіант лікування
 П'ятий варіант лікування

Загальний об'єм альбуміну: 85.63

Рівень добутаніну: 42.22

Рівень адреналіну: 23

Кондукт вшитий: RPA

Усунення коарктації аорті: Ні

Процедура DKS: Ні

Пластика АВ-клапанів під час ТКПС: Ні

Пластика гілок ЛА під час ТКПС: Так

Процедура Кавашіма з відведенням ПВ: Так

Додати лікування в базу даних

Результати лікування

Ексудація більше 14 днів: Ні

Всі післяопераційні порушення ритму: Ні

Плеврит в ранньому періоді: Ні

Пликація діафрагми: Ні

Порушення мозкового кровообігу: Так

Тромбоз: Ні

Хілоторакс: Ні

Повна АВ-блокада: Так

Дисфункція синусового вузла: Ні

Рисунок 4.6. Вікно прогнозування хірургічного лікування

З рисунка видно, що алгоритм знайшов 5 варіантів хірургічного лікування. Вони були знайдені на основі вхідних даних пацієнта, які показані на екрані зліва. Дані варіанти не відрізняються між собою результатами лікування (тобто станом пацієнта в ранньому післяопераційному періоді), лише комбінацією методик лікування. Лікар має змогу самостійно вибрати на його думку найбільш правильну з його точки зору методику лікування, та зберегти результати в базу даних. Результат можна переглянути в окремому вікні (рис. 4.7).

Прізвище	Кривченкова
Ім'я	Альона
По-батькові	Анатоліївна
Стать	Жіноча
Дата народження	05.07.2004
Загальний об'єм альбуміну	85.63
Рівень добутаміну	42.22
Рівень адреналіну	23
Кондуїт вшитий	RPA
Усунення коарктакції аорти	Ні
Процедура DKS	Ні
Пластика АВ-клапанів під час ТКПС	Ні
Пластика гілок ЛА під час ТКПС	Так
Процедура Кавашима з відведенням ПВ	Так
Останнє оновлення	10-06-2019 03:17:52

Повернутися до головного меню

Рисунок 4.7. Перегляд хірургічного лікування після додання в базу даних

4.2. Прогнозування консервативного лікування

Вирішення даної задачі представлено на рис. 4.8. Як і у попередньому підрозділі, на рисунку показано, що алгоритм знайшов 5 варіантів консервативного лікування. Лікар самостійно обирає один із варіантів, і має можливість зберегти їх. Збережений результат також можна переглянути в окремому вікні (рис. 4.9).

95 Прогнозування консервативного лікування

Прізвище	<input type="text" value="Ізотова"/>	<input checked="" type="radio"/> Перший варіант лікування	Тривалість прийому нітро	<input type="text" value="25.89"/>
Ім'я	<input type="text" value="Татяна"/>	<input type="radio"/> Другий варіант лікування	Тривалість прийому міметиків	<input type="text" value="45"/>
По-батькові	<input type="text" value="Борисівна"/>	<input type="radio"/> Третій варіант лікування	Дози каптопрілу	<input type="text" value="0.04"/>
Стать	<input type="text" value="Жіноча"/>	<input type="radio"/> Четвертий варіант лікування	Час підключення гепарину	<input type="text" value="20"/>
Дата народження	<input type="text" value="20.09.1987"/>	<input type="radio"/> П'ятий варіант лікування	Еритроцити	<input type="text" value="В п'ятий день"/>
Екссудація більше 14 днів	<input type="text" value="Ні"/>		Аміновен	<input type="text" value="В перший день"/>
Всі післяопераційні порушення ритму	<input type="text" value="Так"/>		Гормони	<input type="text" value="Дексон"/>
Плеврит у ранньому періоді	<input type="text" value="Так"/>		Допамін більше трьох днів	<input type="text" value="Так"/>
Плікація діафрагми	<input type="text" value="Так"/>		Силденафіл	<input type="text" value="Ні"/>
Порушення мозкового кровообігу	<input type="text" value="Ні"/>		<input type="button" value="Додати лікування в базу даних"/>	
Тромбоз	<input type="text" value="Так"/>		Результати лікування	
Хілоторакс	<input type="text" value="Так"/>		Дисфункція міокарда	<input type="text" value="Ні"/>
Повна АВ-блокада	<input type="text" value="Так"/>		Ускладнення загалом з дисфункцією міокарда	<input type="text" value="Ні"/>
Дисфункція синусового вузла	<input type="text" value="Ні"/>		Стан фенестрації	<input type="text" value="Ні"/>
<input type="button" value="Спрогнозувати лікування"/>			NYHA	<input type="text" value="Ні"/>
<input type="button" value="Повернутися до головного меню"/>			Кінцеводіастолічний розмір в нормі	<input type="text" value="Ні"/>
			Індекс Наката в нормі	<input type="text" value="Ні"/>
			Кінцево діастолічний тиск в нормі	<input type="text" value="Ні"/>
			Транспульмональний градієнт в нормі	<input type="text" value="Ні"/>
			Z-кільця аортального клапана в нормі	<input type="text" value="Ні"/>

Рисунок 4.8. Вікно прогнозування консервативного лікування

95 Перегляд консервативного лікування

Прізвище	<input type="text" value="Ізотова"/>
Ім'я	<input type="text" value="Татяна"/>
По-батькові	<input type="text" value="Борисівна"/>
Стать	<input type="text" value="Жіноча"/>
Дата народження	<input type="text" value="20.09.1987"/>
Тривалість прийому нітро	<input type="text" value="25.89"/>
Тривалість прийому міметиків	<input type="text" value="45"/>
Дози каптопрілу	<input type="text" value="0.04"/>
Час підключення гепарину	<input type="text" value="20"/>
Еритроцити	<input type="text" value="В п'ятий день"/>
Аміновен	<input type="text" value="В перший день"/>
Гормони	<input type="text" value="Дексон"/>
Допамін більше трьох днів	<input type="text" value="Так"/>
Силденафіл	<input type="text" value="Ні"/>
Останнє оновлення	<input type="text" value="10-06-2019 22:13:53"/>
<input type="button" value="Повернутися до головного меню"/>	

Рисунок 4.9. Перегляд консервативного лікування після додання в базу даних

ВИСНОВКИ

Результатами виконаної наукової роботи стала розроблена інформаційна система для прогнозування вірогідного лікування пацієнтів з вродженими вадами серця з користувацьким інтерфейсом для використання медперсоналом. Дана система включає в себе створений комплексний алгоритм знаходження вірогідного лікування для вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації, який вміщує в собі метод аналізу ієрархій Сааті для одночасної оптимізації множинності критеріїв, а також принципи генетичних алгоритмів для швидкого знаходження рішення. Були вирішені поставлені на початку завдання, а саме:

- Вирішені проблеми множинності післяопераційних ускладнень та задачі перебору методі хірургічного лікування, обравши після аналізу літературних джерел в якості математичних методів: метод аналізу ієрархій та генетичний алгоритм.

- Побудовано математичні моделі за допомогою методу групового урахування аргументів, для прогнозування настання несприятливих подій у ранньому (9 моделей) та пізньому (9 моделей) післяопераційному періодах. Точність моделей на тестовій вибірці варіюється від 74,9% до 96,3%.

- Створено та протестовано алгоритм знаходження вірогідного лікування для уникнення післяопераційних ускладнень, який вміщує в собі метод аналізу ієрархій та генетичний алгоритм. В середньому потрібний результат знаходиться за 6 секунд та 224 ітерацій циклу, що в 10 мільярдів раз швидше ніж при повному переборі усіх варіантів

- Реалізовано програмне забезпечення з використанням мов програмування *Java* та *Python*.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alsamaray H. S. AHP as multi-criteria decision making technique, empirical study in cooperative learning at gulf university / H. S. Alsamaray // *European Scientific Journal, ESJ*. — 2017. — Vol. 13, No. 13. — P. 272–289.
2. Anderson G. Essential javafx / G. Anderson, P. Anderson. — 2009. — 360 p.
3. Belton V. On a short-coming of saaty's method of analytic hierarchies / V. Belton, T. Gear // 1982. — P. 28–30.
4. Brushan N. The analytic hierarchy process / N. Brushan, K. Rai // *European Journal of Operational Research*. — 2003. — P. 11–21.
5. Dyer J. S. Remarks on the analytic hierarchy process / J. S. Dyer // *Management Science*. — 1990. — Vol. 36, No. 3. — P. 247–399.
6. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization & machine learning / D. E. Goldberg. — Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
7. Katarne R. Determination of importance of criteria: analytic hierarchy process / R. Katarne, J. Negi // *International Journal of Industrial Engineering: Research and Development*. — 2013. — Vol. 4, No. 1. — P. 10–18.
8. Kreibich J. A. Using sqlite: small. fast. reliable. choose any three. / J. A. Kreibich. — O'Reilly Media, Inc., 2010. — 530 p.
9. Melanie M. An introduction to genetic algorithms / M. Melanie. — 1999. — 162 p.
10. Saaty T. L. Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world / T. L. Saaty. — RWS Publications, 1990. — 292 p.
11. Saaty T. L. Analytical planning. the organization of systems / T. L. Saaty, K. P. Kearns. — Pergamon Press, 1985. — 212 p.
12. Shah C. J. AHP technique a way to show preferences amongst alternatives / C. J. Shah, H. H. Patel, U. N. Barot, R. A. Shah // *International Journal for Scientific Research & Development*. — 2013. — Vol. 1, No. 7. — P. 1437–1441.
13. Triantaphyllou E. Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges / E. Triantaphyllou, S. H. Mann //

International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice. — 1995. — Vol. 2, No. 1. — P. 35–44.

14. Whitley D. A genetic algorithm tutorial / D. Whitley. — 1994. — 37 p.

15. Васильев А. Н. Java: объектно-ориентированное программирование : для магистров и бакалавров : базовый курс по объектно-ориентированному программированию / А. Н. Васильев. — Издательский дом «Питер», 2011. — 395 p.

16. Гладков Л. Генетические алгоритмы / Л. Гладков, В. Курейчик, В. Курейчик. — Litres, 2018. — 303 p.

17. Давыдов С. В. IntelliJ idea. профессиональное программирование на java / С. В. Давыдов. — БХВ-Петербург, 2005. — 800 p.

18. Кеннет Р. Автостопом по python / Р. Кеннет, Т. Шлюссер. — Издательский дом «Питер», 2017. — 336 p.

19. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах / О. И. Ларичев. — Москва : Логос, 2002. — 393 p.

20. Пидошва Е. А. Основные принципы метода группового учета аргументов и его перспективы / Е. А. Пидошва, А. Б. Иващенко // Р. 4.

21. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — Москва : Горячая линия - Телеком, 2013. — 385 p.