

**Міністерство освіти і науки України  
Національний університет “Львівська політехніка”**

**КОВАЛИШИН ОЛЕГ СТЕПАНОВИЧ**

УДК 004.89 + 004.932

**ПРОДУКЦІЙНА СИСТЕМА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ  
ПЛАНІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ТЕРАПІЇ**

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів-2019

*Дисертацією є рукопис.*

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Ткаченко Роман Олексійович**,  
Національний університет «Львівська  
політехніка»,  
завідувач кафедри інформаційних технологій  
видавничої справи.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Березький Олег Миколайович**,  
Тернопільський національний економічний  
університет,  
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії;

кандидат технічних наук, доцент  
**Повхан Ігор Федорович**,  
Ужгородський національний університет,  
доцент кафедри програмного забезпечення  
систем, декан факультету інформаційних  
технологій.

Захист відбудеться "\_\_\_" травня 2019 р. о \_\_\_\_\_ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 28а, ауд. 807, V навчальний корпус).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "\_\_\_" квітня 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доцент

А.Є. Батюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Задачі календарного планування, які активізувалися у середині ХХ століття, були і є предметом широких наукових досліджень. Область їх використання охоплює різноманітні сфери людської діяльності.

Для розв'язання задач побудови графіків виконання робіт розроблено низку методів за результатами досліджень українських та закордонних учених. Практичну реалізацію вони отримали в сферах освіти, виробництва перевезень та масового обслуговування. Проте через потребу врахування специфіки функціонування лікувальних установ та закладів відновлюваної терапії (зокрема множини планів реабілітації та їх типів, низку медичних та організаційних вимог, необхідність врахування побажань пацієнтів відповідно до графіків роботи процедурних кабінетів) можливості побудови на їх основі оптимальних план-графіків є обмеженими.

Існує низка критеріїв, що визначають якість план-графіків відновлювальної терапії. Їх можна розділити на об'єктивні (вимоги до черговості лікувальних заходів, наявність спеціалізованого медичного обладнання для проведення процедур тощо) та суб'єктивні (побажання пацієнтів та медичного персоналу). Ефективність різних варіантів план-графіків в такому контексті визначається ступенем врахування як об'єктивних, так і суб'єктивних критеріїв. За таких умов варто застосовувати методи багатокритеріальної оцінки та оптимізації під час побудови план-графіків відновлювальної терапії.

Оскільки значну частку вимог, що формують критерії ефективності, подають у лінгвістичній формі відповідні експерти, для побудови інтегрального критерію оцінки доцільно використати апарат нечіткої логіки.

Значний вклад у розвиток теорії і практики алгоритмів нечіткої логіки зробили відомі українські та зарубіжні вчені, зокрема, Л. Заде (L. Zadeh), Е. Мамдані (E. Mamdani), М. Сугено (M. Sugeno) Х. Беренджі (H. Berenji), Р.О. Ткаченко, Р. Ягер (R. Yager), В. Целларі (W. Cellary). Прикладні аспекти застосування методів нечіткої логіки досліджували Дж. Баклі (J. Bakley), Х. Циммерман (H. Zimmerman) (нечітка оцінка та моделювання), О. О. Недоскін, К.І. Воронов (нечіткий аналіз в управлінні), Т. Сааті (T. Saaty) (числова оцінка суб'єктивних суджень) тощо. Вони запропонували низку методів, які ґрунтуються на нечіткій логіці та придатні для розв'язання задачі побудови план-графіків медичних установ.

Серед методів дискретної багатокритеріальної оптимізації суттєві переваги має метод генетичних алгоритмів. Він є ефективним оптимізаційним алгоритмом, дає можливість уникнути локальних оптимумів та отримати множини глобальних оптимальних розв'язків. Проте окремі компоненти (кросовер, мутація, селекція, функція пристосованості) подаються узагальнено, що потребує адаптації до умов діяльності медичних закладів, для яких важливими є дискретність варіантів рішень і багатокритеріальність цільової функції.

Очевидним є те, що якість планів відновлювальної терапії суттєво впливає на рівень надання медичних послуг і ефективність роботи медичних установ, а їх оптимізація з використанням нових методів і засобів штучного інтелекту є

актуальною і важливою задачею, що потребує окремого розв'язання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана згідно з тематикою наукових досліджень кафедр Інформаційних технологій видавничої справи та Автоматизованих систем управління Національного університету “Львівська політехніка”, пов'язаних з інтелектуальною обробкою даних та паралельними обчисленнями, яка реалізована в межах держбюджетної науково-дослідної роботи “Відслідковування рухомих об'єктів у відеопотоках реального часу” (державний реєстраційний номер 0115U000432).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розроблення методів і засобів продукційної системи нечіткої логіки для багатокритеріальної оптимізації план-графіків відновлювальної терапії.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- проаналізувати методи розв'язку задач побудови та оцінювання якості план-графіків, здійснити порівняння альтернатив;
- розробити метод автоматичної побудови опорних план-графіків відновлювальної терапії для подальшої оптимізації генетичним алгоритмом на основі нечітких моделей;
- розробити метод багатокритеріальної оптимізації генетичним алгоритмом з використанням бази продукційних правил для врахування побажань пацієнтів, що проходять реабілітацію;
- удосконалити продукційну систему нечіткої логіки для перетворення векторних критеріїв оптимізації план-графіків у скалярні;
- розвинути функціональну модель автомата Мілі для задач автоматичної генерації опорних план-графіків;
- розробити програмно-алгоритмічні засоби інтелектуальної системи автоматизованого складання план-графіків медичних установ та провести їх практичну апробацію.

**Об'єктом дослідження** є процеси формування план-графіків надання медичних послуг з урахуванням побажань пацієнтів, що проходять відновлювальну терапію, та наявних обмежень медичних установ.

**Предмет дослідження** – методи, моделі та алгоритми нечіткої логіки для формування інтегральних критеріїв оптимальності; генетичні алгоритми багатопараметричної, багатокритеріальної оптимізації для підвищення відповідності план-графіків сформованим критеріям оптимальності; теорія кінцевих автоматів для формування множини план-графіків надання медичних послуг за наявних можливостей і обмежень лікувальних установ.

**Методи дослідження.** Основні результати дисертаційної роботи отримані з використанням методів теорії нечіткої логіки для формування інтегрального критерію оцінки план-графіків на основі розробленої бази продукційних правил, еволюційного моделювання для побудови план-графіків функціонування медичних установ, методів теорії розкладів та теорії автоматів для побудови опорних план-графіків, теорії алгоритмів і програмування для розробки архітектури та програмних засобів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що *вперше розроблено:*

- метод автоматичної побудови план-графіків функціонування медичних установ з урахуванням наявних обмежень на основі цифрового автомата Мілі, що дає можливість застосувати такі плани як опорні для наступної оптимізації генетичним алгоритмом.
- метод багатокритеріальної оптимізації план-графіків генетичним алгоритмом з використанням бази продукційних правил, розроблених на основі побажань пацієнтів, які проходять реабілітацію, що зменшує вірогідність потрапляння розв'язків у локальні екстремуми;

*набули подальшого розвитку:*

- цифровий автомат на основі абстрактної моделі Мілі для задач побудови план-графіків відновлювальної терапії, який шляхом врахування сукупності обмежень медичних установ забезпечує автоматичну генерацію опорних план-графіків.

*удосконалено:*

- продукційну систему нечіткої логіки шляхом використання в ній конфігурованого програмно-алгоритмічного T-Controller'а, що забезпечило підвищення якості багатокритеріальної оптимізації в порівнянні з існуючими методами внаслідок перетворення векторного критерію в скалярну форму.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

Отримані методи, моделі та алгоритми забезпечують формування біжучих план-графіків відновлювальної терапії за 2–3 хвилини з урахуванням побажань пацієнтів в умовах жорстких і м'яких обмежень лікувальних закладів.

Застосування розробленого методу багатокритеріальної оптимізації з використанням алгоритмічного контролера нечіткої логіки та генетичного алгоритму поліпшує якість результуючих план-графіків відновлювальної терапії за оцінками пацієнтів на 21-24%, та медичного персоналу – на 17-23%.

Запропонована інтегральна оцінка план-графіків роботи медичних установ, яка ґрунтується на удосконаленій продукційній системі нечіткої логіки з використанням алгоритмічного T-Controller'а, забезпечує підвищення якості багатокритеріальної оптимізації порівняно з існуючими методами, оскільки враховує сукупність побажань пацієнтів та медичного персоналу, сформульованих у лінгвістичній формі.

Розроблена функціональна модель автомата Мілі забезпечила пришвидшене формування опорних план-графіків з можливістю внесення додаткових змін, що перманентно можуть виникати в процесі функціонування лікувального закладу.

Розроблений програмний комплекс пришвидшеного формування план-графіків відновлювальної терапії впроваджений і апробований у лікувально-діагностичному центрі, санаторії «Київ плюс» санаторно-курортного комплексу «Моршинкурорт», а також у Львівському обласному державному клінічному лікувально-діагностичному ендокринологічному центрі.

Отримані під час досліджень результати, зокрема методи, моделі та алгоритми складання план-графіків медичних установ з використанням нейронечіткого

контролера, є основою підвищення ефективності їх діяльності.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Одноосібно опубліковано праці [6, 7, 8]. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: метод багатокритеріальної оптимізації план-графіків медичних закладів на основі удосконаленої продукційної системи нечіткої логіки та еволюційних алгоритмів [1, 6, 7, 10, 12]; характеристика нечіткого контролера для трансформації лінгвістичних даних, отриманих у результаті збору відгуків пацієнтів, у числові змінні [2]; метод побудови опорного план-графіка закладів лікувальної терапії на основі скінченного автомата, де проаналізовано тип та запропоновано механізм його функціонування [3, 11]; обґрунтування доцільності використання контролерів нечіткої логіки в автоматизованих системах оцінки та управління [4, 9, 13]; характеристика структурних компонентів інтелектуальної системи побудови та оптимізації план-графіків медичних установ [8, 14, 15]; визначення та аналіз критеріїв, за якими можна інтегрально оцінити якість план-графіка медичного закладу з використанням контролера нечіткої логіки [5].

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і отримали позитивну оцінку на: IV Міжнародній науково-практичній конференції «Информационные системы и технологии» (Харківський національний університет радіоелектроніки, 21-27 вересня 2015р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси» (Навчально-науковий інститут інформаційно-діагностичних систем, м. Київ, 17-18 травня 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Аналіз та моделювання складних систем і процесів. Теоретичні і прикладні аспекти систем прийняття рішень. Обчислювальний інтелект та індуктивне моделювання» (м. Залізний Порт, 22-26 травня 2017 р.); Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технічні економічні та технічні аспекти становлення» (м. Тернопіль, 17 травня 2017 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології» (Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, 19-20 квітня 2018 р.);

Матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися впродовж 2014 – 2018 років на наукових семінарах кафедри інформаційних технологій видавничої справи Національного університету «Львівська Політехніка».

**Публікації.** За результатами досліджень, викладених у дисертації, опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 3 статті у міжнародних наукометричних виданнях, 5 статей у наукових фахових виданнях України, 5 публікацій у збірниках праць наукових конференцій, 1 свідоцтво про авторське право та 1 патент на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 165 сторінок, включаючи 138 сторінок основного тексту, 44 рисунки, 14 таблиць. Список використаних джерел містить 182 найменування і викладений на 11 сторінках. Чотири додатки розміщено на 16 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень, окреслено новизну та практичну значущість отриманих результатів. Подано відомості про практичне впровадження та апробацію результатів дисертаційної роботи, особистий внесок та публікації здобувача.

У **першому розділі** обґрунтовано важливість складання ефективних план-графіків відновлювальної терапії, охарактеризовано задачі побудови план-графіків, проаналізовано сучасні методи їх розв'язання та перспективи застосування. Означено особливості багатокритеріальності задачі побудови план-графіків, зокрема відновлювальної терапії.

Сучасні підходи до складання план-графіків використовують методи і моделі, розроблені на основі досліджень Р.Конвея (R. Conway), У. Максвела (W. Maxwell), Л. Міллера (L. Miller), В.С. Танаєва, В.В. Шкруби, А.А. Лазарева, а також А.А. Павлова, І.В. Сергієнка, В.С. Михалевича, В.І. Скуріхіна та ін.

Задачі побудови план-графіків виникають там, де необхідно узгодити порядок виконання завдань, використовуючи певні ресурси. Рациональне їх розподілення впливає на величину затрат, обсяг необхідного часу та інші показники, які визначають ефективність план-графіків.

Задача складання план-графіка полягає в тому, що, застосовуючи деяку множину наявних ресурсів, слід виконати окрему фіксовану систему процедур зі заданим набором характеристик: обмеженнями на послідовність виконання процедур; частковими послідовностями термінів їх завершення; термінами виконання процедур; переліком та характеристиками ресурсів, необхідних для виконання всіх процедур; часом виконання кожної процедури за умови використання різних видів ресурсів; директивними термінами початку та завершення виконання кожної процедури.

Побудова ефективних план-графіків є частиною теорії розкладів. Для розв'язання цієї категорії задач розроблено велику кількість методів дискретної оптимізації, які умовно розділяють на дві групи: точні та наближені. Їх аналіз свідчить, що практичні задачі теорії розкладів відносяться до класу NP-повних і точні методи їх вирішення не гарантують отримання розв'язку у визначений час. Водночас наближені методи дають можливість отримати прийнятне рішення за порівняно невеликих затрат часу.

Наближені методи передбачають використання евристичних алгоритмів. В результаті їх аналізу встановлено, що для багатьох NP-повних задач, до яких відносять складання план-графіків відновлювальної терапії, оптимальні рішення можна отримати, застосовуючи генетичні алгоритми.

Розроблення план-графіка відновлювальної терапії для лікувальних установ є багатокритеріальною задачею, яку визначають медичні, методичні і організаційні обмеженнями та вимоги до нього. Її розв'язок – найкращі значення для множини характеристик вихідних даних, що отримують під час оптимізації. Завдяки цьому підвищується рівень надання медичних послуг та ступінь комфорту пацієнтів, які проходять відновлювальну терапію. З огляду на це сформовані в дисертаційній роботі задачі дослідження **актуальні** та потребують ефективного розв'язання.

У другому розділі розкрито засади функціонування реабілітаційно-оздоровчих установ, охарактеризовано індивідуальні плани реабілітації пацієнтів, розроблено метод побудови опорного план-графіка медичних установ на основі адаптації абстрактної моделі автомата Мілі.

Відновлювальним лікуванням в медичних закладах займається окремий структурний підрозділ – відділення відновлювальної терапії. Для проведення реабілітаційних процедур його оснащують спеціалізованим обладнанням, що повинно відповідати організаційно-технологічним, медико-технологічним стандартам та існуючим санітарним нормам. У відновлювальній терапії залежно від характеру захворювань чи травм осіб, які підлягають реабілітації, бере участь низка лікарів: терапевти, травматологи, невропатологи, нейрохірурги та інші спеціалісти. Залежно від потужності поліклініки у склад відділення відновлювального лікування можуть входити різнопрофільні медичні кабінети, зали лікувальної фізкультури тощо.

Одним з ключових етапів відновлювальної терапії є складання індивідуального плану відновлювального лікування хворого. У результаті медичної експертної діагностики проводиться визначення клінічного і трудового прогнозу захворювання (реабілітаційного потенціалу – визначення динаміки захворювання, працездатності, соціально-середовищного та професійного статусу хворого). Результати експертної діагностики є базисом для прийняття медико-експертного рішення про потребу в тих чи інших видах реабілітації, пріоритетності її медичних, соціальних і професійних складових, встановлення етапності реабілітаційних заходів та побудови індивідуального плану відновлювальної терапії.

Наявність множини індивідуальних планів реабілітації, множинність медичних, методичних, організаційних обмежень і вимог, а також необхідність врахування побажань пацієнтів та медичного персоналу є визначальними чинниками, які необхідно враховувати під час побудови план-графіків роботи медичних установ. Задачу побудови план-графіка відновлювальної терапії можна подати як послідовність трьох процедур опрацювання даних: побудова опорного план-графіка; інтегральна оцінка його якості; оптимізація план-графіка (рисунок 1).

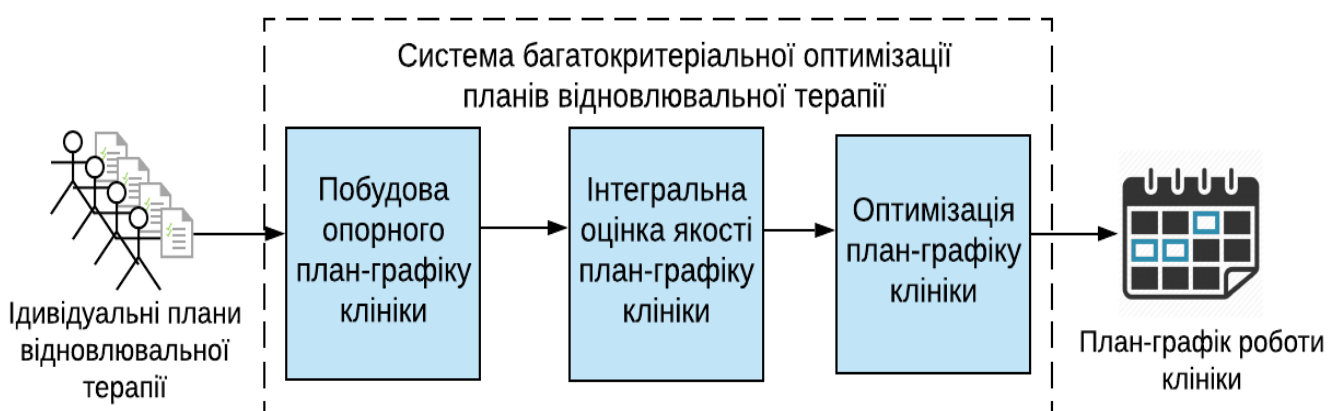


Рисунок 1 – Узагальнена модель формування багатокритеріальної оцінки та оптимізації план-графіка клініки



Для розв'язання задачі побудови опорного план-графіка розроблено метод, в основі якого лежить принцип початкового розподілу найкритичніших процедур – проведення лікувального заходу впродовж заданого часу зі зазначеним розподілом годин та дня тижня для одного або декількох пацієнтів. Узагальнена блок-схема процесу складання опорного план-графіка клініки наведена на рисунку 2.

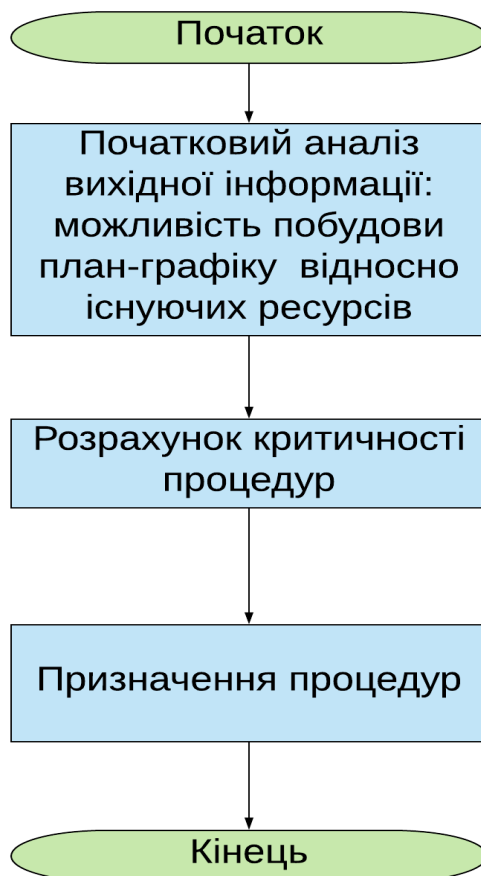


Рисунок 2 – Блок-схема процесу формування опорного план-графіка клініки

Відповідно до цієї блок-схеми планується проведення декількох етапів під час складання опорного план-графіка. На першому з них, який передбачає формування початкової інформації, розраховується не критичність заявок. Ступінь не критичності  $J$  визначається залежністю:

$$J = \frac{V * W}{D * q_1 * R * q_2 * F'} \quad (1)$$

де  $V$  – кількість допустимих часових проміжків;  $W$  – кількість допустимих ресурсів;  $D$  – загальна тривалість процедури;  $R$  – загальний розмір групи пацієнтів;  $F'$  – тривалість неперервної процедури;  $q_1, q_2$  – коефіцієнти корегування ваги чинників.

Після формування вхідних даних (набору індивідуальних планів реабілітації) та їх узгодження з наявними ресурсами проводиться сортування заявок за не критичністю та розподіл процедур.

Складання опорного план-графіку розглядається як задача розподілу наступних ресурсів – медичного персоналу, пацієнтів, процедурних кабінетів та обладнання. Для її розв'язання адаптовано абстрактну модель автомата Мілі – абстракції, що використовують для описання шляху зміни стану об'єкта залежно від досягнутого стану та інформації, отриманої ззовні.

Блок-схема методу побудови план-графіка клініки, що передбачає виконання запропонованих етапів, зображена на рисунку 3.

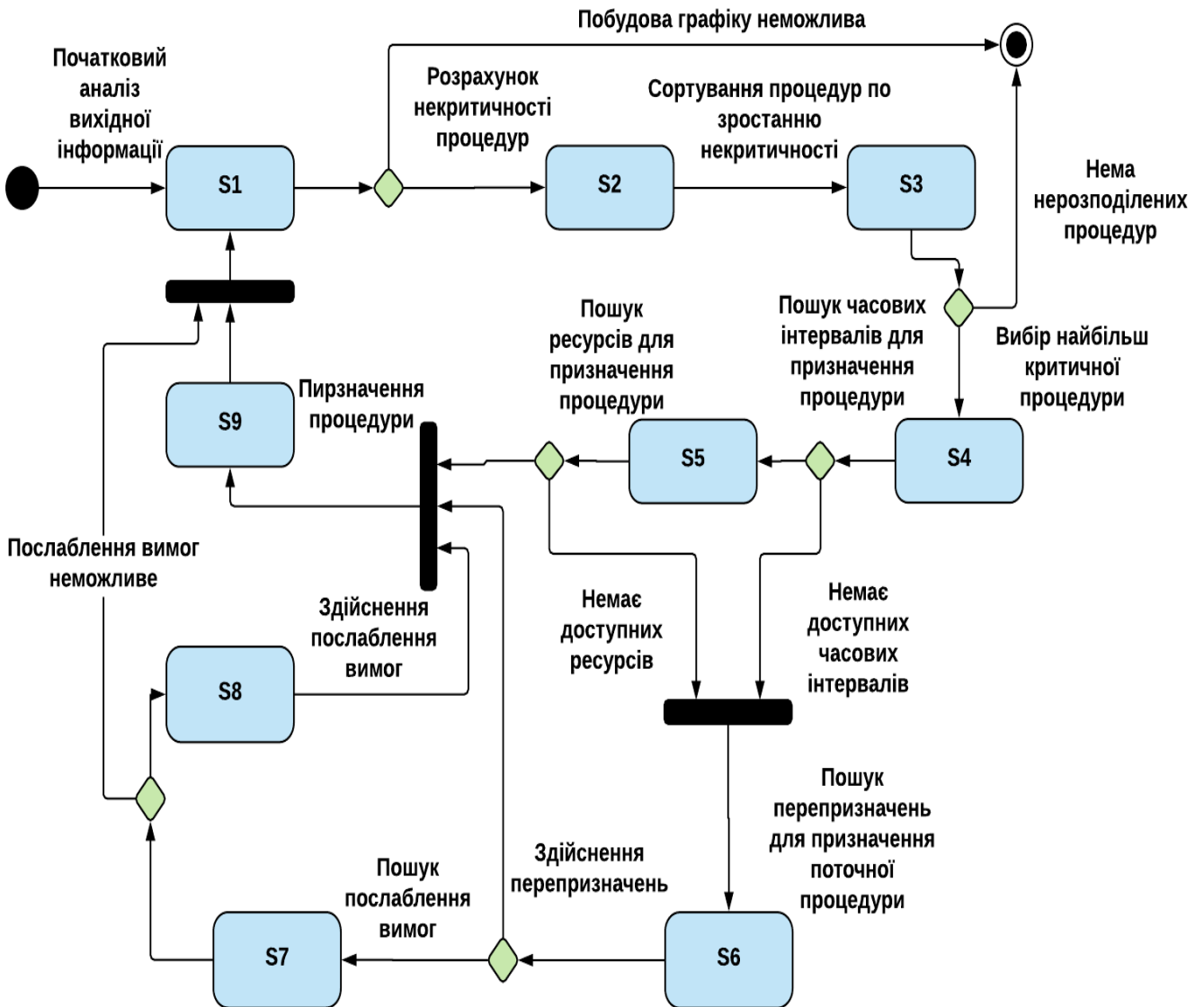


Рисунок 3 – Діаграма станів скінченного автомата Мілі для побудови опорного план-графіка клініки

Побудову опорного план-графіка з використанням абстрактного автомата Мілі формалізовано наступним чином:

$$A = (X, Y, S, f_y, f_s, s_0), \quad (2)$$

де  $X = \{x_0, x_1 \dots x_n\}$ , – множина вхідних даних автомата;  $Y = \{y_0, y_1 \dots y_n\}$  – множина вихідних даних автомата;  $S = \{s_0, s_1 \dots s_n\}$  – розширена множина допустимих станів автомата;  $f_y: S \rightarrow Y$  – функція виходів автомата;  $f_s: X \times S \rightarrow Y$  – функція переходів з одного стану автомата в інший;  $s_0 \in S$  – початковий стан автомата.

Для досліджуваної предметної області множина вхідних даних  $X$  абстрактного автомата складається з набору лікувальних процедур, які формують план-графік. Множина вихідних даних  $Y$  є результуючим набором процедур, які складають план-графік. Множина станів  $S$  визначається алгоритмом функціонування автомата. Вона містить одинадцять елементів та має вигляд  $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}\}$ .

Кожна процедура  $y_n$  характеризується таким кортежем:

$$y_n = (d, m, z, l, t_s, t_e), \quad (3)$$

де  $d \in D$  – ідентифікатор пацієнта, для якого проводиться процедура;  $m \in M$  – ідентифікатор обладнання, необхідного для проведення процедури;  $z \in Z$  – ідентифікатор процедурного кабінету, де вона виконується;  $l \in L$  – ідентифікатор медичного персоналу, що здійснює процедуру;  $t_s$  – час початку процедури;  $t_e$  – час її закінчення.

Функції переходів  $f_s$  між станами кінцевого автомата реалізуються у вигляді булевих функцій та визначаються окремо для кожного стану.

У **третьому** розділі проаналізовано методики, за якими порівнюють різні варіанти план-графіків, адаптовано продукційний алгоритм нечіткої логіки для інтегральної оцінки план-графіків, здійснено їх багатокритеріальну оптимізацію з використанням генетичного алгоритму.

Ефективність план-графіків можна порівняти за допомогою методів кількісної оцінки. Проте можливості їх використання, якщо характеристики і оцінки подають в лінгвістичній формі, обмежені. За таких умов для побудови інтегральної оцінки доцільно вибирати продукційні алгоритми нечіткої логіки.

Узагальнену структуру продукційних алгоритмів, незалежно від їх особливостей, подають як послідовність чотирьох базових блоків (рисунок 4).

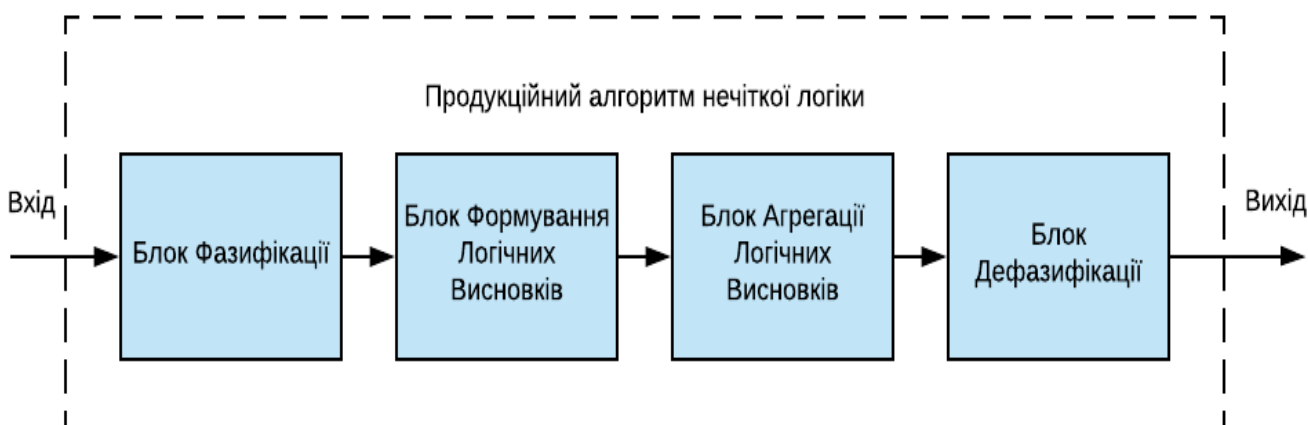


Рисунок – 4. Послідовність виконання продукційних алгоритмів нечіткої логіки

Недоліком відомих алгоритмів нечіткої логіки є не лише невисока точність, а й вимога підналагодження (фітінгу) побудованих систем в умовах неперервного надходження реальних даних. Така особливість порушує поставлену в роботі вимогу до необхідності побудови план-графіків медичних установ у реальному часі. Тому в ній використано програмну продукційну систему нечіткого логічного виводу T-Controller (<http://tkatchenko.com/t-controller>), структура якого відповідає зображеній на рис. 5, однак нейромережна реалізація блоків агрегування і дефазифікації забезпечує порівняно високу точність і усуває потребу проведення додаткових налаштувань.

Для створення інтегральної оцінки виконано конфігурування системи T-Controller, щоб врахувати критерії, які впливають на якість план-графіка лікувального закладу з точки зору пацієнтів та працівників медичних установ:

- достатні для відновлення пацієнтів перерви між процедурами (не повинні бути коротшими 15-40 хвилин для кожного конкретного типу процедур);
- рівномірний розподіл навантаження на медичний персонал (відсутність вікон у план-графіку для медичного персоналу, триваліших за 45 хвилин);
- максимізація завантаження обладнання (менше 10-25% часу простою обладнання, призначеного для кожного конкретного типу процедур);
- комфортний розмір груп для проведення процедур (не більше 95% максимально можливого розміру груп);
- комфортний режим виконання процедур для пацієнтів (процедури займають не більше 85% часу пацієнта впродовж дня).

Для означення лінгвістичних змінних введено показники, засновані на штрафах, що встановлюються для кожного критерію за незручні моменти в план-графіку відновлювальної терапії. З цією метою для кожного типу процедур у ньому визначається кількість порушень, значення яких оцінюються за формулою нормалізації значень показників:

$$K_i^S = \frac{K_i^S - K_i^{min}}{K_i^{max} - K_i^{min}} \quad (4)$$

де  $K_i^S$  – поточне значення  $i$ -ого критерію порушень;  $K_i^{max}$  – максимальне можливе значення  $i$ -ого критерію порушень;  $K_i^{min}$  – мінімальне можливе значення  $i$ -ого критерію порушень.

На основі штрафних показників введено такі вхідні лінгвістичні змінні (рисунок 5):

- «Порушення – Режиму – Процедур»;
- «Порушення – Перерв – Між – Процедурами»;
- «Порушення – Розміру – Груп»;
- «Порушення – Розподілу – Навантаження – Персоналу»;
- «Порушення – Максимуму – Завантаження – Обладнання».

Для інтегральної оцінки якості план-графіка функціонування клініки використано одну вихідну лінгвістичну змінну – «Якість – План-Графіка».

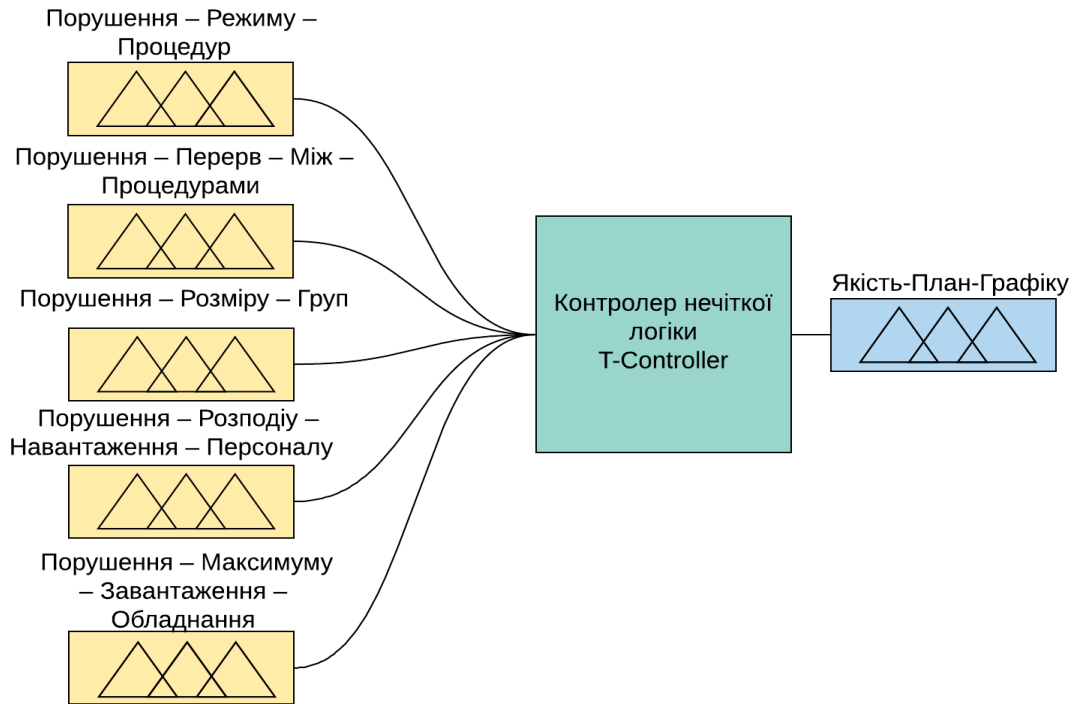


Рисунок 5 – Структура алгоритмічного T-Controller`а нечіткої логіки, сконфігурована для інтегральної оцінки якості план-графіка функціонування клініки

У результаті опитування пацієнтів та медичного персоналу клінік для кожної лінгвістичної змінної визначено допустимі діапазони вхідних значень  $x$  та множину лінгвістичних термів з відповідними їм функціями належності  $\mu(x)$ . Використано трикутні функції належності, що відповідають концепції T-Controller. Наприклад, для змінної «Порушення-Режиму-Процедур» означено такі терми: «Мало порушень», «Середня кількість порушень», «Велика кількість порушень» та «Дуже велика кількість порушень» (рис. 6).

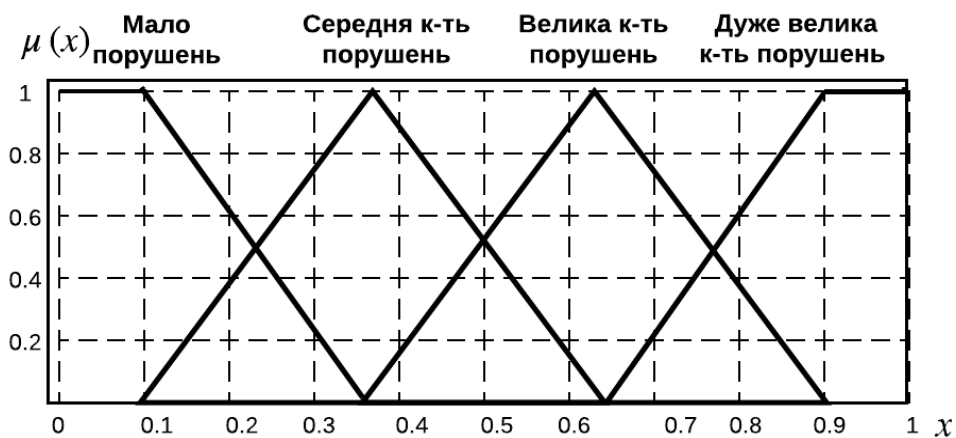


Рисунок 6 – Функції належності для вхідних змінних «Порушення-Режиму-Процедур»

Як інтегральну оцінку відповідності план-графіка означеним критеріям оптимальності використано одну вихідну лінгвістичну змінну «Якість-План-Графіка», що має такі лінгвістичні терми: «Незадовільний», «Дуже-Поганий», «Задовільний», «Посередній», «Вище середнього», «Якісний» «Оптимальний» (рис. 7). Ці терми характеризують план-графік згідно з результатами оцінки системи нечіткого логічного висновку.

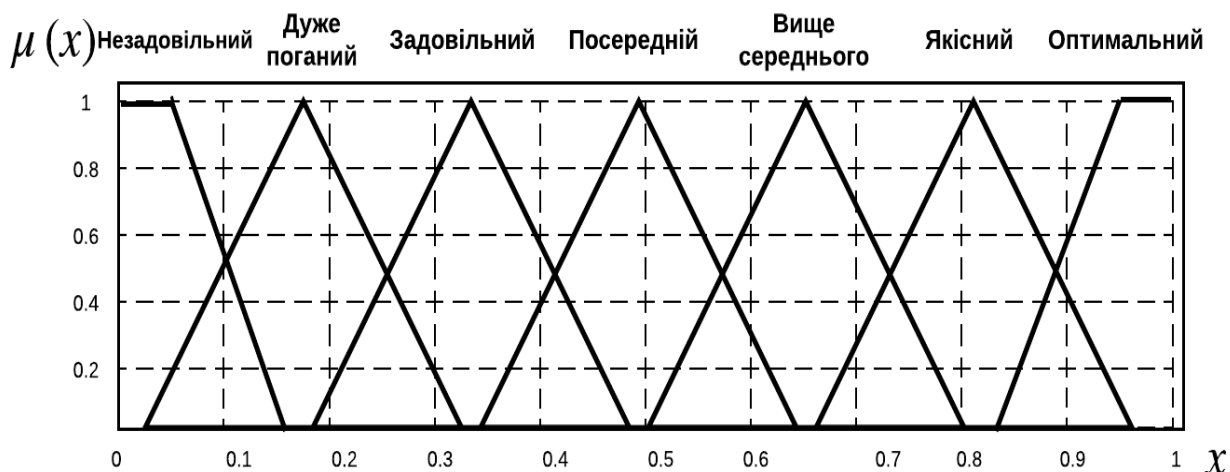


Рисунок 7 – Функції належності вихідної нечіткої змінної «Якість-План-Графіка»

Обробка лінгвістичної інформації відбувається за допомогою продукційних правил, де в ролі антецедентів виступають значення нечітких лінгвістичних змінних, а консиквентом – інтегральна оцінка план-графіку.

Для даної системи розроблено базу з 16 правил.

Наприклад, одне з них: **ЯКЩО** «Порушень-Режиму-Процедур Мало» **І** «Порушень-Перерв-Між-Процедурами Мало» **І** «Порушень-Розміру-Груп Мало» **І** «Порушень-Розподілу-Навантаження-Персоналу Мало» **І** «Порушень-Максимум-Завантаження-Обладнання Мало», **ТОДІ** «Якість-План-Графік Якісний».

Багатокритеріальну оптимізацію побудованих план-графіків здійснено за допомогою методу генетичних алгоритмів.

Перед початком оптимізації згруповано процедури за типами, врахувавши необхідне обладнання, наявність медичного персоналу, вимоги до часу проведення процедур, можливості об'єднання пацієнтів в групи тощо. Для кожного типу згрупованих процедур період, охоплений план-графіком, розбито на часові інтервали, придатні для їх виконання.

Множину часових проміжків процедур подано наступним чином:

$$S = \{s_i\},$$

$$\{s_i\} = \{s_i^p, s_i^d, s_i^g\}, \quad (5)$$

де  $s_i^p$  і  $s_i^d$  – дата і час проведення процедури;  $s_i^g$  – максимально допустима кількість паралельних процедур.

Хромосома генетичного алгоритму складається з множини процедур, які є основою індивідуальних планів відновлювальної терапії та, як наслідок, план-графіком медичного закладу. Цю множину подано як:

$$\begin{aligned} T &= \{t_i^w, t_i^d, t_i^p, t_i^e\}, \\ t_i^d &= \{t_1^d \dots t_n^d\}, n = \overline{1..N_d}, \\ t_i^p &= \{t_1^p \dots t_k^p\}, k = \overline{1..N_p}, \\ t_i^e &= \{t_1^e \dots t_l^e\}, l = \overline{1..N_e}, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $t_i^w$  – дата та час проведення процедури;  $t_i^d$  – медичний персонал, що виконує процедуру;  $t_i^p$  – множина пацієнтів, для яких процедура проводиться;  $t_i^e$  – множина необхідного обладнання для проведення процедури;  $N_d$ ,  $N_p$ ,  $N_e$  – відповідно загальна кількість медичного персоналу, пацієнтів та медичного обладнання клініки.

Початкову популяцію план-графіків для наступної оптимізації сформовано за допомогою розширеного скінченного автомата Мілі, вхідним параметром якого є множина планів відновлювальної терапії з наборами процедур для включення в план-графік, а вихідним – сформований план-графік, що задовольняє накладені жорсткі обмеження (медичний персонал та пацієнти не можуть знаходитися на двох процедурах одночасно, процедури необхідно виконувати в порядку, визначеному індивідуальним планом лікування, їх не можна проводити за відсутності або часткового забезпечення устаткуванням чи лікарями).

Для організації оптимізаційного процесу створено механізми розвитку популяції генетичного алгоритму. Для цього розроблено оператори схрещування та мутації: 1 – зміна часу проведення процедури, що полягає в перенесенні певної процедури з одного часового проміжку на довільний інший, доступний впродовж того самого дня; 2 – зміна дати проведення процедури полягає в перенесенні певної процедури з одного часового проміжку на довільний інший, доступний для іншого дня; 3 – обмін виконуваних процедур, який полягає у взаємозаміні однакових процедур, призначених пацієнтам; 4 – обмін медичного персоналу, який полягає у частковій взаємозаміні кваліфікованого персоналу, що проводить дві процедури одного типу. Кожен із наведених операторів з певною імовірністю застосовують на кожній ітерації оптимізаційного процесу.

Мета оптимізаційного процесу – мінімізація цільової функції, значення якої для кожного альтернативного рішення, сформованого в ході оптимізаційного процесу, визначає продукційна система нечіткої логіки. За умови досягнення прийнятних результатів оптимізації роботу методу зупиняється. Це здійснюється у випадку, якщо впродовж визначеної кількості поколінь оптимізації хромосома з найвищим рівнем оцінки не поліпшується. Це означає, що наведені вище еволюційні оператори не мають позитивного впливу на якість результуючого план-графіка, або її погіршують.

Розроблений метод апробовано на тестових вибірках, побудованих на основі реальних планів відновлювальної терапії (таблиця 1).

Таблиця 1  
Результати оптимізації план-графіків відновлювальної терапії

| Вибірки | Початкові та кінцеві результати оцінки | Результат нечіткої оцінки | Нормалізовані значення порушень критеріїв |                 |                 |                 |                 |
|---------|--|---------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|         |  |                           | критерій №1                               | критерій №2     | критерій №3     | критерій №4     | критерій №5     |
| №1      | початкове                              | 0.4049                    | 0.3717                                    | 0.1441          | 0.3614          | 0.4049          | 0.1429          |
|         | кінцеве                                | 0.3366                    | 0.3037                                    | 0.1135          | 0.3304          | 0.3366          | 0.1419          |
|         | <b>різниця</b>                         | <b>↑ 0.0683</b>           | <b>↑ 0.0681</b>                           | <b>↑ 0.0306</b> | <b>↑ 0.031</b>  | <b>↑ 0.0683</b> | <b>↑ 0.001</b>  |
| №2      | початкове                              | 0.4324                    | 0.4324                                    | 0.4143          | 0.3385          | 0.3667          | 0.4102          |
|         | кінцеве                                | 0.3461                    | 0.2703                                    | 0.2857          | 0.3363          | 0.2667          | 0.3813          |
|         | <b>різниця</b>                         | <b>↑ 0.0863</b>           | <b>↑ 0.1621</b>                           | <b>↑ 0.1286</b> | <b>↑ 0.0022</b> | <b>↑ 0.1</b>    | <b>↑ 0.0289</b> |
| №3      | початкове                              | 0.4324                    | 0.4324                                    | 0.4143          | 0.3385          | 0.3667          | 0.3751          |
|         | кінцеве                                | 0.3385                    | 0.3378                                    | 0.3             | 0.3315          | 0.2667          | 0.2981          |
|         | <b>різниця</b>                         | <b>↑ 0.0939</b>           | <b>↑ 0.0946</b>                           | <b>↑ 0.1143</b> | <b>↑ 0.007</b>  | <b>↑ 0.1</b>    | <b>↑ 0.077</b>  |

Для оцінки ефективності роботи методу з точки зору пацієнтів та медичного персоналу було здійснено опитування за десятибальною шкалою щодо якості розроблених план-графіків до і після їх багатокритеріальної оптимізації. Сумарно опрацьовано відповіді п'ятдесяти семи респондентів. Агреговані значення результатів опитування наведено в таблиці 2.

Таблиця 2  
Результати опитування пацієнтів та медичного персоналу щодо якості розроблених план-графіків до і після їх багатокритеріальної оптимізації

| Вибірки | Результати оцінки вибірок пацієнтами |                |                | Результати оцінки вибірок медичними працівниками |                |                |
|---------|--------------------------------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
|         | початкова оцінка                     | кінцева оцінка | різниця        | початкова оцінка                                 | кінцева оцінка | різниця        |
| №1      | 6.7                                  | 8.1            | <b>↑ 20.9%</b> | 5.3  | 6.8            | <b>↑ 22.7%</b> |
| №2      | 7.1                                  | 8.9            | <b>↑ 24.8%</b> | 6.4  | 7.9            | <b>↑ 20.9%</b> |
| №3      | 6.5                                  | 7.9            | <b>↑ 21.0%</b> | 7.0  | 8.1            | <b>↑ 16.7%</b> |

Наведені в таблицях 1 і 2 результати досліджень свідчать, що розроблений метод забезпечує оптимізацію план-графіків відновлювальної терапії без відриву від середовища їх виконання – медичного закладу, з урахуванням вимог процесу лікування як жорстких обмежень, а також побажань пацієнтів та медичного



персоналу – м'яких обмежень. Використовуючи генетичний алгоритму можна досягнути розв'язку, який відповідає множині накладених критеріїв.

У **четвертому розділі** розроблено загальну архітектуру, принцип функціонування та реалізовано програмний комплекс оптимізації планів відновлювальної терапії.

Програмний комплекс оптимізації планів відновлювальної терапії має трирівневу архітектуру, що складається з клієнтського середовища, сервера застосувань та сервера бази даних.

Доступ до вихідного коду сервера застосувань має адміністратор. У нього є можливість редагувати поточний та вносити новий функціонал.

Робота клієнтів з програмним комплексом починається із запитів до сервера побудови представлення, що будує графічний інтерфейс. Запити, зроблені через графічний інтерфейс, надходять до сервера застосувань через web-сервер. Дані, які обробляє сервер застосувань, передаються до сервера баз даних для зберігання.

Після розгортання нової версії програмного комплексу сервер застосувань починає приймати запити, що надходять з графічного інтерфейсу. Отримані запити обробляються основним сервером і делегуються на подальшу обробку відповідним контролерам. Контролер відповідає за формування відповіді клієнту та використовує різноманітні сервісні компоненти, які в свою чергу звертаються до бази даних. Архітектуру програмного комплексу подано на рисунку 8.

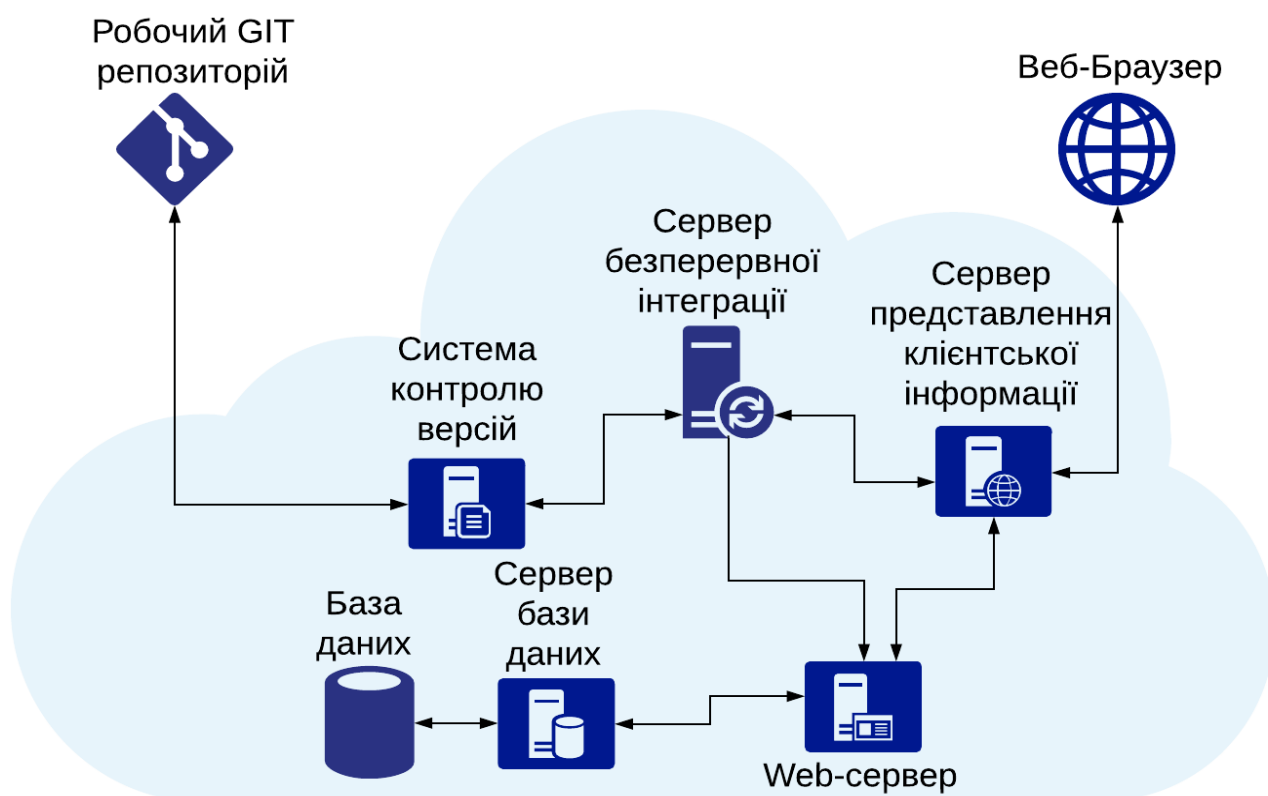


Рисунок 8 – Архітектура програмного комплексу оптимізації планів відновлювальної терапії

Сервер застосувань включає такі структурні рівні: подання даних, бізнес-логіки, доступу до даних.

Рівень подання даних відповідає за конвертування кінцевої інформації для розміщення її на стороні клієнта. Цей рівень реалізований за допомогою *REST*-контролерів, що є частиною програмної екосистеми *Spring Framework*.

Рівень бізнес логіки за допомогою сервісів *Spring Framework* містить основну логіку роботи програмного комплексу. Він разом з рівнем доступу до даних використовує наскрізну функціональність, яка містить основні рішення, що впливають на роботу декількох рівнів (*Cross-cutting*).

Класи програмного продукту залежно від виконуваних ними функцій розділено на шість модулів (рисунок 9): «*rehab.core*» містить основні сутності предметної області – відомості про пацієнтів, плани їх реабілітації, медичне обладнання тощо; «*rehab.data.generators*» реалізує метод побудови план-графіка та супутню логіку; «*rehab.data.persistence*» вміщує описи класів для роботи з базою даних, а також сутності, що використовуються для збереження в базі; «*rehab.business*» застосовує методи оцінки та оптимізації план-графіка, а також в процесі роботи класи, описані в модулі «*rehab.core*», «*rehab.data.generators*» та «*rehab.data.persistence*»; «*rehab.web*» характеризує компоненти сервісів; «*rehab.test*» містить юніт, а також інтеграційні тести всіх модулів, що входять до складу програмного комплексу.

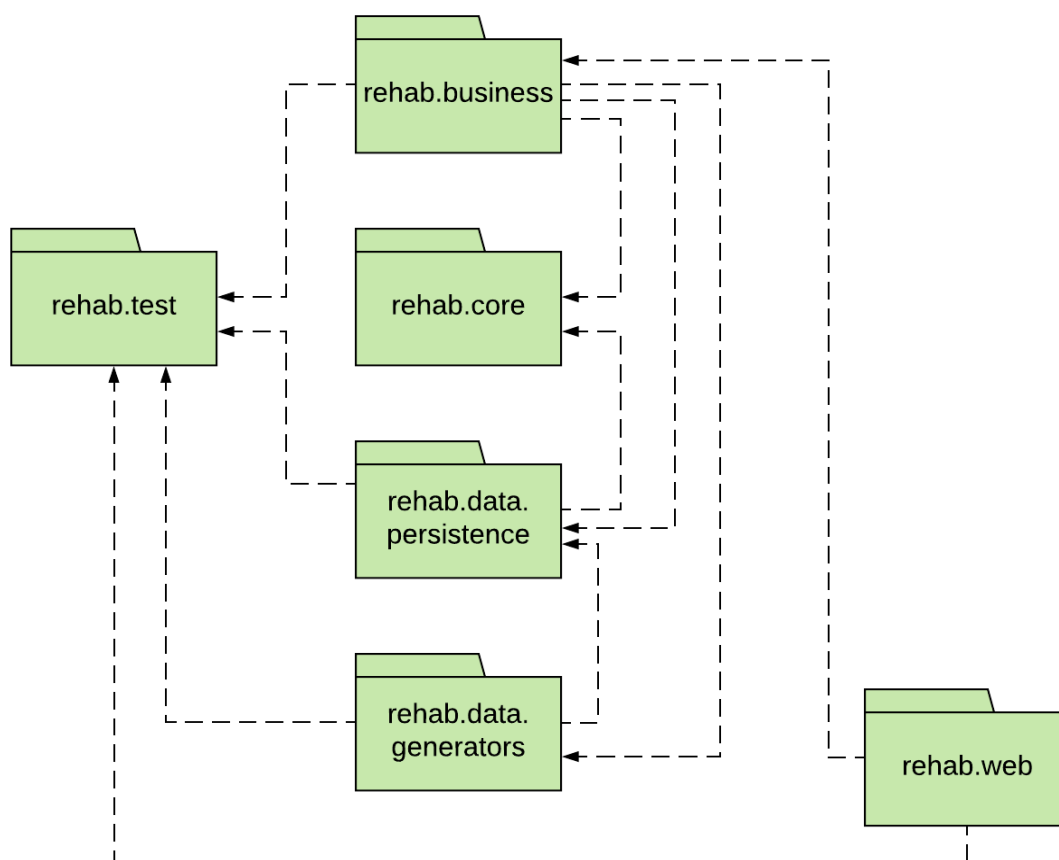


Рисунок 9 – Архітектура сервера застосувань програмного комплексу відновлювальної терапії

З метою забезпечення паралельного доступу різних користувачів до програмного комплексу використовується віддалена база даних (рисунок 10). Основна її таблиця – Clinic, містить загальну інформацію про наявних пацієнтів, план-графіки, а також ресурси, наявні в клініці. За допомогою посилань таблиці Clinic до інших таблиць, дані зв'язуються з їх реальним представленням в таблицях Patient – що містить деталі про пацієнтів які зараз перебувають на лікуванні, а також план-графіками використання обладнання та інших ресурсів в таблиці FacilitySchedule.

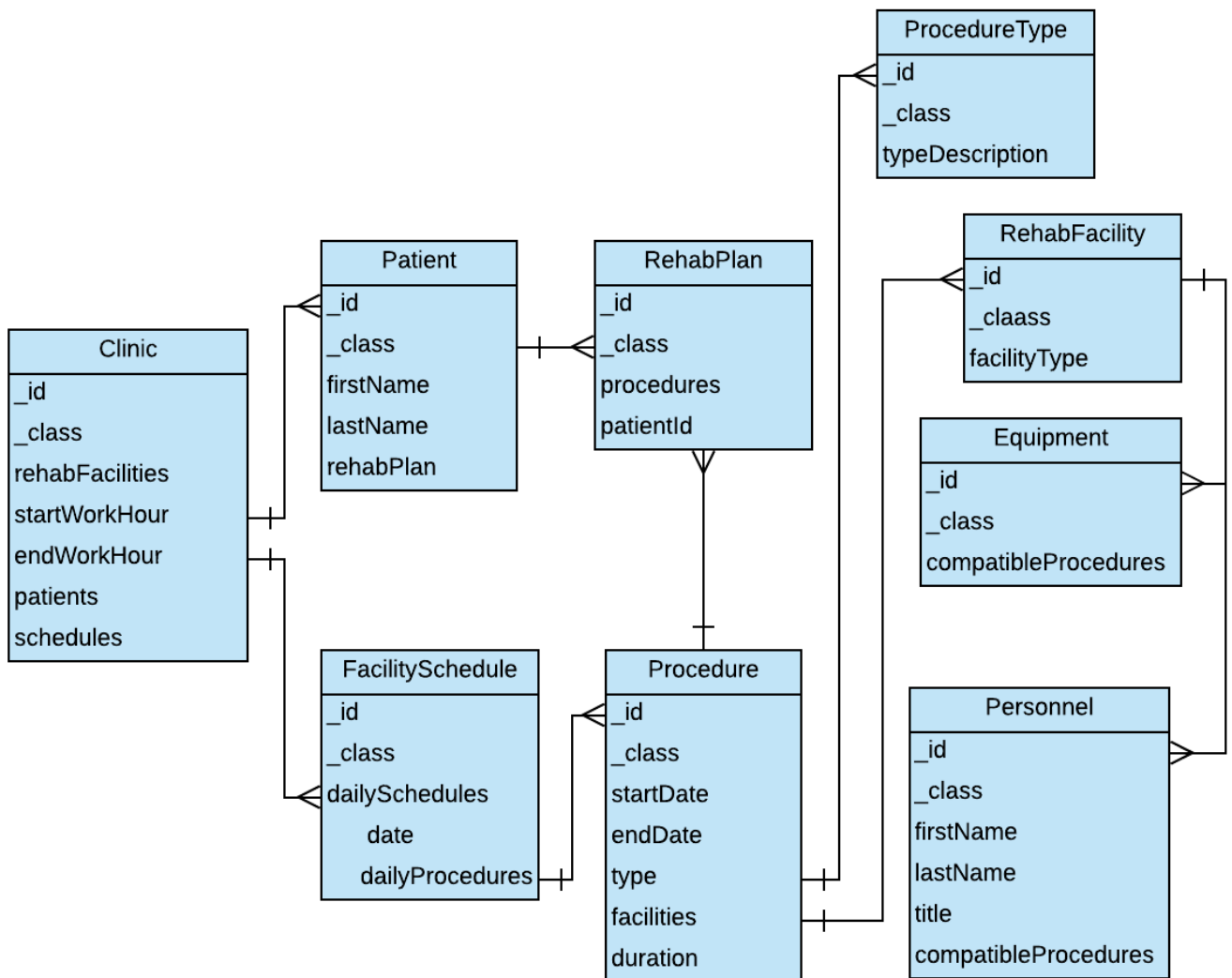


Рисунок 10 – Структура бази даних програмного комплексу відновлювальної терапії

Під час реалізації програмного комплексу оптимізації планів відновлювальної терапії використано такі технології: мову програмування високого рівня Java версії 1.8; NoSQL базу даних MongoDB; платформу Java Enterprise Edition; Spring Framework.

Програмний комплекс призначений для безпосереднього використання пацієнтами та медичним персоналом клінік. Залежно від ролі та рівня доступу (лікар-адміністратор, лікар, пацієнт) користувачам доступні різні функції ужитку. Зокрема лікарям-адміністраторам – функції автоматизованої побудови та оптимізації план-графіків, внесення нових даних у систему, перегляду про план-графіки клініки, пацієнтів, процедурних кабінетів тощо. Лікарям доступні функції перегляду план-графіків для клініки пацієнтів та процедурних кабінетів. Пацієнти в свою чергу можуть переглядати тільки власні план-графіки.

Залежно від ролі користувача графічний інтерфейс містить: меню користувача (1); головне меню програми (2); мультиекран (2.1), який залежно від конфігурації може складатись зі списку даних усіх пацієнтів клініки, даних тільки пацієнтів поточного користувача, даних поточного пацієнта; обладнання, закріплене за поточним користувачем; план-графік функціонування клініки або лише процедуру поточного користувача. Головне меню програми дозволяє навігацію від мультиекрана поточного користувача до конкретних функціональних екранів системи. Побудова (3) та оптимізація (4) план-графіка здійснюються на екрані «План-Графік» на основі даних, попередньо введених на екран «Пацієнти» за допомогою внутрішніх алгоритмів та обмежень, введених у систему. Після закінчення роботи алгоритму результати відобразатимуться на вбудованому календарі системи.

The screenshot displays the 'RehabWeb Client' interface. On the left is a sidebar menu (1) with the user 'Oleh Kovalyshyn' and options like 'Dashboard', 'Schedule', 'Browse Patients', etc. The main area is titled 'Schedule generation page' (2) and contains several sections: 'Schedule Options' (3) with 'Start Date Type', 'End Date', and a 'Build' button; 'Optimisation Options' (4) with similar fields and an 'Optimise' button; 'Available rehabilitation facilities' (5) with a list of rooms and their types; and a calendar view (6) for 'Jan 20 — 26, 2019' showing a grid of dates with associated activities like '8a Візит до лікаря' and '9a MS-група дихання і рух'.

Рисунок 11 – Мультиекран побудови та оптимізації план-графіків відновлювальної терапії графічного користувачького інтерфейсу

План-графіки, отримані під час побудови та оптимізації, автоматично зберігаються у базі даних та стають доступними всім користувачам системи з відповідними правами доступу. Система надає дружній інтерфейс роботи з можливістю використання низки мобільних та стаціонарних апаратних пристроїв. Для користування програмним комплексом не потрібні спеціалізовані знання у галузі інформаційних технологій.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних досліджень розв'язано актуальне наукове завдання – розроблення методів і засобів продукційної системи нечіткої логіки для багатокритеріальної оптимізації план-графіків відновлювальної терапії.

1. Проаналізовано та класифіковано сучасні методи теорії розкладів, що використовуються для розробки план-графіків. Обґрунтовано переваги та доцільність застосування генетичних алгоритмів для побудови план-графіків відновлювальної терапії.

2. Вперше розроблено метод автоматичної побудови план-графіків функціонування медичних установ з урахуванням наявних обмежень на основі цифрового автомата Мілі, що дає можливість застосувати такі плани як опорні для подальшої оптимізації генетичним алгоритмом.

3. Вперше реалізовано метод багатокритеріальної оптимізації план-графіків на основі генетичних алгоритмів і алгоритмічного контролера нечіткої логіки, що зменшує вірогідність потрапляння в локальні екстремуми.

4. Побудований цифровий автомат на основі абстрактної моделі Мілі для формування план-графіків відновлювальної терапії з урахуванням сукупності обмежень медичних установ забезпечує автоматичну генерацію опорних план-графіків.

5. Удосконалено продукційну систему нечіткої логіки шляхом використання в ній конфігурованого алгоритмічного T-Controller'а, що дало можливість підвищити якість багатокритеріальної оптимізації порівняно з існуючими методами, оскільки враховано сукупність побажань пацієнтів та медичного персоналу, сформульованих у лінгвістичній формі.

6. Застосування розробленого методу багатокритеріальної оптимізації з використанням алгоритмічного контролера нечіткої логіки та генетичного алгоритму поліпшує якість результуючих план-графіків відновлювальної терапії за оцінками пацієнтів на 21-24%, та медичного персоналу – на 17-23%.

7. Розроблено загальну архітектуру та компоненти програмного комплексу формування план-графіків відновлювальної терапії в реальному часі, що надає дружній інтерфейс роботи з можливістю використання низки мобільних та стаціонарних апаратних пристроїв. Розроблені програмні засоби впроваджено і апробовано в санаторно-курортному комплексі «Моршинкурорт» та Львівському обласному державному клінічному лікувально-діагностичному ендокринологічному центрі.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Tkachenko R.O., Kovalyshyn O.S. Multicriteria optimization of medical institutions schedules on the basis of neuro fuzzy models and evolutionary algorithms. *Econtechmod: An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modeling processes*. 2017. Vol.6. No.3. P. 53-60. (***Index Copernicus***).
2. Tkachenko R.O., Kovalyshyn O.S. A method of assessing of clinic patients feedback with fuzzy logic. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць*. 2017. № 15. С. 82-88. (***Ulrich's Periodicals Directory***)
3. Tkachenko R.O., Kovalyshyn O.S. A method of making up a clinic schedule with use of finite state automaton. *Econtechmod: An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modeling processes*. 2016. Vol.5. No.3. P. 131-134. (***Index Copernicus***)
4. Kovalyshyn O.S., Gabriel Yu. I. Development of a management systems model of automatic control with using fuzzy logic. *Econtechmod: An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modeling processes*. 2014.Vol. 3.No.4. P. 87 -90. (***Index Copernicus***)
5. Ткаченко Р.О., Ковалишин О.С. Багатокритеріальна оцінка оптимальності розкладів медичних закладів з використанням нечіткої логіки. *Енергетика та автоматика: журнал. НУБіП*. 2018. №1. С. 79-98. (***Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, Agris, Base***)
6. Ковалишин О.С. Аналіз методів оптимізації розкладів в контексті відновлювальної терапії . *Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук. праць*. 2018. Том 28. №8. С. 136-140. (***Index Copernicus***)
7. Ковалишин О.С. Нейронечіткий генетичний алгоритм оптимізації планів відновлювальної терапії. *Вісник Національного університету «Львівська Політехніка»*. зб. наук. праць. Серія: Інформаційні системи та мережі. 2018. № 901. С.1-10.
8. Ковалишин О.С. Інформаційна технологія оптимізації розкладів відновлювальної терапії. *Науковий вісник Луцького НТУ*. зб. наук. праць. Серія: «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». 2018. №33. С.85-89. (***Index Copernicus, Universal Impact Factor, Open Academic Journals Index***).
9. Ковалишин О.С. Вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації розкладів за допомогою систем нечіткої логіки. *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: тези доповідей міжнародної наукової інтернет-конференції, Тернопіль, 17 травня, 2017 р. Випуск 19. Частина 1. Тернопіль, 2017. С. 40–42.*
10. Ковалишин О.С. Оптимізація розкладів лікувальних закладів методом генетичного алгоритму. *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнародної наукової конференції, 22-26 травня 2017 р. ПП Вишемирський В. С., 2017. С.274-275.*

11. Ковалишин О.С. Кінцевий автомат побудови розкладу медичних закладів. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016): матеріали дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції*, м. Київ, 17-18 травня 2016 р. Київ: НАУ, 2016. С. 22-24.

12. Ковалишин О.С. Задача багатокритеріальної оцінки та оптимізації планів відновлювальної терапії пацієнтів медичних закладів. *Информационные системы и технологии: материалы 4-ой международной научно-технической конференции*, г. Харьков, 21-27 сентября 2015. Харьков, НТМТ, 2015. С. 70-72.

13. Ковалишин О.С. Прикладні аспекти використання систем нечіткого логічного висновку в задачах багатокритеріальної оптимізації. *Інформаційна безпека та комп'ютерні технології: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Кропивницький, 19-20 квітня 2018 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 300-302.

14. Ткаченко Р.О., Ізонін І.В., Веретеннікова Н.В., Березко О.Л., Ковалишин О.С. Спосіб зміни роздільної здатності набору сценарних зображень. пат. 124680 Україна: МПК G 06 K 9/36. №u201706713; заявл. 29.06.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8. 6 с.

15. Ковалишин О.С., Ткаченко Р.О., Ізонін І.В. Комп'ютерна програма "Програмний комплекс побудови та оптимізації розкладів відновлювальної терапії": свід. про реєстр. автор. права на твір № 75244 від 06.12.2017. Зареєстр. в Міністерстві економічного розвитку і торгівлі України, заявка 10.10.2017, № 76059.

## АНОТАЦІЇ

**Ковалишин О.С. Продукційна система нечіткої логіки для оптимізації планів відновлювальної терапії.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливого наукового завдання – розробленню ефективних методів автоматизованої побудови календарних план-графіків медичних закладів та їх багатокритеріальної оптимізації з допомогою елементів нечіткої логіки та генетичних алгоритмів.

Беручи до уваги необхідність узгодження індивідуальних планів реабілітації пацієнтів між собою, графіків роботи процедурних кабінетів, лікарів, та використання медичного обладнання, застосовано підхід до вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації план-графіку роботи клініки, що складається з трьох основних етапів: побудова опорного план-графіку, що задовольняє жорстким обмеженням, оцінка якості план-графіку, послідовна оптимізація план-графіку з метою підвищення результатів оцінки.

Для побудови опорного план-графіку розроблено універсальний незалежний від типу процедур метод, що забезпечує лінійну залежність часу вирішення відносно об'єму задачі. Для роботи методу визначено чинники, що впливають на пріоритетність включення процедур в план графік. Розроблено механізми аналізу

реалістичності побудови план-графіку за умови наявності певних множин планів реабілітації, засоби вирішення конфліктних ситуацій при включенні процедур в план-графік, а також засоби послаблення певних жорстких вимог при неможливості його побудови.

Реалізовано метод побудови план-графіків в режимі реального часу функціонування медичних установ, на основі використання нечіткої логіки, що забезпечило підвищення якості багатокритеріальної оптимізації в порівнянні з існуючими методами внаслідок перетворення векторного критерію в скалярну форму.

Для здійснення багатокритеріальної оптимізації план-графіків відновлювальної терапії розроблено метод на основі генетичних алгоритмів, що зменшує вірогідність потрапляння розв'язків у локальні екстремуми.

**Ключові слова:** лікувальні заклади, план-графік, контролер нечіткої логіки, генетичні алгоритми, оптимізація планів відновлювальної терапії, програмний комплекс.

**Ковалишин О.С. Продукционная система нечеткой логики для оптимизации планов восстановительной терапии.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2019.

Диссертация посвящена решению важного научного задания – разработке эффективных методов автоматизированного построения план-графиков медицинских учреждений и их многокритериальной оптимизации с помощью элементов нечеткой логики и генетических алгоритмов.

Принимая во внимание необходимость согласования индивидуальных планов реабилитации пациентов между собой, графиков работы процедурных кабинетов, врачей, и использования медицинского оборудования, применен подход к решению задачи многокритериальной оптимизации плана-графика работы клиники, который состоит из трех основных этапов: построение опорного плана-графика, что удовлетворяет жестким ограничениям, оценка качества плана-графика, последовательная оптимизация плана-графика с целью повышения результатов оценки.

Для построения опорного плана-графика разработан универсальный независимый от типа процедур метод, обеспечивающий линейную зависимость времени решения относительно объема задачи. Для работы метода определены факторы, влияющие на приоритетность включения процедур в план-график. Разработаны механизмы анализа реалистичности построения плана-графика при условии наличия определенных множеств планов реабилитации, средства решения конфликтных ситуаций при включении процедур в план-график, а также средства ослабления определенных жестких требований при невозможности его построения.

Реализован метод построения план-графиков в режиме реального времени функционирования медицинских учреждений, на основе использования нечеткой



логики, что обеспечило повышение качества многокритериальной оптимизации по сравнению с существующими методами результате преобразования векторного критерия в скалярную форму.

Для осуществления многокритериальной оптимизации план-графиков восстановительной терапии разработан метод на основе генетических алгоритмов, что уменьшает вероятность попадания решений в локальные экстремумы.

**Ключевые слова:** лечебные учреждения, план-график, контролер нечеткой логики, генетические алгоритмы, оптимизация планов восстановительной терапии, программный комплекс.

**Kovalyshyn O.S. Production fuzzy logic system for medical rehabilitation plans optimization.** – On the rights of manuscript.

Thesis for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences in the specialty 05.13.23 - systems and means of artificial intelligence. - National University "Lviv Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

The thesis is devoted to the solution of an important scientific problem - development of effective methods of automated construction of medical institutions' timetables and their multicriteria optimization through the use of fuzzy logic elements and genetic algorithms.

Work reveals functioning principles of the of rehabilitation and health recovery institutions, possibilities of increasing the efficiency of their work by constructing acceptable timetables, describes characteristics of individual programs of rehabilitation of patients.

Taking into account the necessity of coordinating individual plans of rehabilitation of patients among themselves, schedules of work of procedural offices, doctors, and use of medical equipment, an approach to solving the problem of multicriteria optimization of the work timetable of the clinic, which consists of three main stages was applied: the construction of a reference timetable, which satisfies the strict constraints, the evaluation of the quality of the timetable, the consistent optimization of the schedule to improve the evaluation results.

For the construction of the reference timetable, a universal independent from procedure types method was developed that provides a linear dependence of the decision time regarding the volume of the problem. It is based on the prioritization of the inclusion of procedures into the timetable and allows for the consideration of the requirements of an individual rehabilitation plan, the availability of the necessary qualified personnel for procedures, availability of medical equipment, etc.

For the first time, a method for constructing schedules in real-time operation of medical institutions was developed, based on the use of fuzzy logic, which takes into account the wishes of patients in the conditions of hard and soft constraints of timetables of procedural offices of medical institutions, which allowed to abandon time-consuming a complete bustle of possible options. For this purpose, a fuzzy-logic controller based on the T-Controller system was developed, which made it possible to transform the linguistic data obtained by the collection of patient and medical personnel feedbacks into

quantitative variables, to evaluate the quality of the clinic's work and to determine their level of satisfaction with the provided medical services.

The optimization of regimens treatment schedules is performed without interruption from the environment of their conduction - medical institution, taking into account the requirements for the treatment process as hard constraints, which are determined by the rehabilitation plan and the provision of medical equipment and personnel, and soft restrictions, which depend on the wishes of patients.

Methods for collecting and processing expert information have been improved, which is the basis for an integrated assessment of the quality of functioning of medical institutions. Based on expert surveys, a number of criteria have been established that influence schedules of work of medical institutions, taking into account the wishes of patients and medical staff during the construction of schedules.

The software package, which uses the "thin client" architecture, was developed. This ensures independence from the hardware architecture of clients and their operating systems, the ease of adding a new feature, high security and high levels of bounce resistance. The proposed software package is the basis of information technology for automated construction and optimization of regenerative therapy schedules.

**Key words:** medical institutions, schedule, controller of fuzzy logic, genetic algorithms, optimization of plans of regenerative therapy, program complex.