

НЕЙРОНЕЧІТКИЙ ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ТЕРАПІЇ

© Ковалишин О. С., 2018

Запропоновано метод оптимізації планів відновлювальної терапії з використанням генетичного алгоритму. Для оцінки альтернатив, сформованих в ході оптимізаційного процесу, використано алгоритм нечіткої логіки з нейромережевою дефазифікацією – T-Controller. Розроблений метод апробовано на вибірках, побудованих на основі реальних планів відновлювальної терапії.

Ключові слова: багатокритеріальна оптимізація, генетичні алгоритми, нечітка логіка, відновлювальна терапія.

Proposed method of optimization of rehabilitation therapy plans using a genetic algorithm. For evaluation of alternatives generated during the optimization process, a fuzzy algorithm with neuro defazification – T-Controller, was used. Developed method tested on samples based on real plans of rehabilitation therapy.

Key words: multicriteria optimization, genetic algorithms, fuzzy logic, restorative therapy.

Вступ

За даними 178 країн 20–50 млн. людей в усьому світі щорічно одержують травми. Травми, що приводять до втрати працездатності й інвалідності, одержують понад 250 тис. осіб на рік [1, 2].

За даними основних показників інвалідності та діяльності медико-соціальних комісій України за 2010–2014 роки первинна інвалідність внаслідок травм займає третє рангове місце в середньому по Україні – 5,1 і 5,0 випадків на 10 тис. дорослого населення відповідно. Високий рівень і складність травматизму пов'язані зі збільшенням кількості автодорожніх травм, використанням у побутових умовах сучасних механізмів та недотримання правил техніки безпеки. Сучасні травми мають більш поліструктурний характер, що обумовлює їх важкі наслідки й викликає труднощі на етапах реабілітації [3].

У зв'язку з цим у процесі відновлення особливе місце відводиться питанням надання індивідуально орієнтованих реабілітаційних послуг, оскільки на цей момент плани реабілітаційних терапій дуже обмежено враховують інтереси самих пацієнтів, що безпосередньо впливає на показники якості лікування.

Аналіз останніх публікацій

Для вирішення задачі організації відновлювальної терапії до уваги слід брати множину обмежень, які накладаються на процес – необхідність узгодження графіків використання медичного обладнання, наявність кваліфікованого медичного персоналу для проведення кожної конкретної процедури в певний момент часу, доступність відповідного устаткування тощо.

Для рішення даної задачі необхідно побудувати графік роботи клініки, на який накладаються множини жорстких обмежень – умов, що повинні обов’язково виконуватися для забезпечення коректності розкладу, та м’яких – виконання яких є бажаним, власне інтересів пацієнтів.

Для розв’язання задачі побудови графіку роботи медичних установ використовуються методи: повного перебору, гілок та границь, логічного програмування з обмеженнями, розфарбування графу, імітації відпалу, імітаційного моделювання, генетичного алгоритму тощо [4].

Застосування генетичних алгоритмів має низку переваг: [5]:

1. Генетичний алгоритм використовує кілька точок пошукового простору одночасно, а не переходить від точки до точки, як це робиться в традиційних методах. Це дозволяє подолати один з недоліків традиційних підходів – небезпеку потрапляння в локальний екстремум цільової функції.
2. Генетичні алгоритми в процесі роботи не використовують ніякої додаткової інформації, що підвищує швидкість роботи. Виключенням слугує множина допустимих значень параметрів і цільової функції в довільній точці.
3. Генетичний алгоритм використовує як ймовірнісні правила для побудови нових розв’язків, так і детерміновані правила для переходу від одних розв’язків до інших. Одночасне використання елементів випадковості та детермінованості дає значно більший ефект, ніж роздільне.

Зважаючи на вказані переваги запропоновано використати саме метод генетичних алгоритмів для оптимізації розкладу клініки.

Виклад основного матеріалу

Представлення розкладу функціонування клініки. До початку оптимізаційного процесу формується математичне представлення розкладу функціонування клініки. Для цього було згруповано процедури за типами з урахуванням застосування необхідного обладнання, наявності медичного персоналу, вимог до періоду проведення процедур та можливості об’єднання пацієнтів у групи.

Для кожного типу згрупованих процедур період, охоплений розкладом, було розбито на можливі часові інтервали їх проведення.

Математично множину часових проміжків проведення процедур представлено так:

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

$$\{s_i\} = \{s_i^p, s_i^d, s_i^g\}, \quad (1)$$

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

У результаті такого розбиття побудовано тривимірний масив, характеристики якого відповідають за розподіл процедур по днях місяця та розподіл за часом впродовж дня; за урахуванням можливості проведення декількох або групових процедур в один і той самий часовий проміжок.

Побудова структури хромосоми. Після формування представлення розкладу необхідно визначити структуру хромосоми – вектор значень, які оптимізуються. У даному випадку кодування хромосоми в вигляді множини символічних чи бінарних даних є недоцільним через складність задачі та часові затрати на кодування та декодування проміжних результатів, тому використано множину процедур, з яких складається розклад.

Математично множину процедур розкладу представлено так:

$$T = \{t_i^w, t_i^d, t_i^p, t_i^e\},$$

$$t_i^d = \{t_1^d \dots t_n^d\}, n = \overline{1..N_d}, \quad (2)$$

$$t_i^p = \{t_1^p \dots t_n^p\}, n = \overline{1..N_p},$$

$$t_i^e = \{t_1^e \dots t_n^e\}, n = \overline{1..N_e},$$

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

Графічно структуру хромосоми можна представити так (рис. 1):

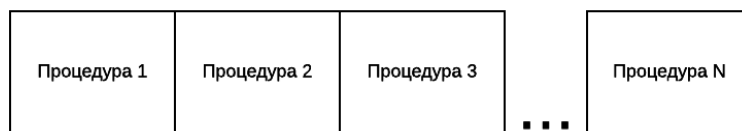


Рис. 1. Структура хромосоми задачі оптимізації розкладу клініки

Побудова початкової вибірки розкладів. Після формування структури хромосоми необхідно побудувати початкову популяцію розкладів.

Для побудови елементів популяції розроблено скінченний автомат [6], вхідним параметром якого є множина планів відновлювальної терапії, з наборами процедур для включення в розклад, а вихідним – сформований розклад, що відповідає накладеним жорстким обмеженням (медичний персонал та пацієнти не можуть знаходитися на двох процедурах одночасно; процедури необхідно проводити в порядку, визначеному індивідуальним планом лікування; не можна проводити процедури у випадку відсутності або часткового забезпечення устаткуванням чи лікарями).

Математична модель апарата виглядає так:

$$A = (X, Y, S, f_y, f_s, S_0), \quad (3)$$

де X – множина вхідних даних автомата; Y – множина вихідних даних автомата; S – множина допустимих станів автомата; f_y – функція виходів автомат; f_s – функція переходів з одного стану автомата в інший; S_0 – початковий стан автомата.

Побудова еволюційних операторів. Для організації оптимізаційного процесу необхідно створити механізми розвитку популяції. В контексті генетичних алгоритмів для цього реалізують оператори схрещування та мутації [7].

У цьому випадку використано такі оператори:

- 1) зміна часу проведення процедури, що полягає в перенесенні певної процедури з одного часового проміжку на довільний інший доступний часовий проміжок впродовж того самого дня;
- 2) зміна дати проведення процедури полягає в перенесенні певної процедури з одного часового проміжку на довільний інший доступний часовий проміжок іншого дня;
- 3) обмін пацієнтів процедур полягає у взаємозаміні пацієнтів двох однакових процедур;
- 4) обмін медичного персоналу полягає у частковій взаємозаміні кваліфікованого персоналу, що проводить дві процедури одного типу.

Кожен із наведених вище операторів з певною ймовірністю застосовується на кожній ітерації оптимізаційного процесу.

Нейро-нечітка багатокритеріальна оцінка прогресу оптимізації. Для оцінки прогресу оптимізації необхідно сформувати механізм оцінки альтернатив, сформованих у процесі роботи еволюційних операторів – функцію приналежності.

Для означення аргументів функції доцільно ввести показники, засновані на штрафах, що встановлюються кожному параметру за будь-який незручний момент у розкладі. З цією метою для кожного типу процедур у розкладі визначається кількість порушень. Значення порушень нормалізуються за формулою:

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

де K_i^S – поточне значення i -того критерія порушень; K_i^{\max} – максимальне можливе значення i -того критерія порушень; K_i^{\min} – мінімальне можливе значення i -того критерія порушень; $K_i^{\min} \leq K_i^S \leq K_i^{\max}$; $k_i^S \in [0,1]$.

Сформувавши таким чином множину критеріїв оптимізації, було здійснено згортання векторного критерію для переходу до однокритеріальної оптимізації, за рахунок використання алгоритму нечіткої логіки.

Загальним недоліком таких алгоритмів є неоднозначна та неточна дефазифікація, тому для здійснення нечіткого логічного висновку обрано систему нечіткого виведення T-Controller [8-11] за такі її переваги над іншими системами:

- дефазифікація на основі нейроподібних структур геометричних перетворень, яка підвищує точність алгоритмів і спрощує процедуру налагодження параметрів;
- об'єднання в єдиний крок логічного виведення (and) і композиції (or);
- кількість правил обумовлена особливостями тільки вихідних змінних;
- висока точність T-Controller – має нульову методичну похибку дефазифікації (чим точніші “входи”, тим точніші “виходи”);
- висока швидкість роботи.

Перевагою такого підходу є те, що функція приналежності сформована з врахуванням досвіду експертів у галузі розробки планів терапії та побажань пацієнтів.

Розроблена нечітка база знань складається з 16 правил, що визначають правила узгодження критеріїв оцінки розкладу.

Визначення критеріїв зупинки роботи методу оптимізації. За умови досягнення прийнятних результатів оптимізації, необхідно здійснити зупинку процесу оптимізації [12].

У цьому випадку, зупинка роботи методу відбувається, якщо впродовж визначеної кількості поколінь оптимізації не відбувається покращення хромосоми з найвищим рівнем оцінки. Це означає, що застосування наведених вище еволюційних операторів не спричинює позитивного впливу на якість результуючого розкладу (чи взагалі спричиняє його погіршення). Іншими словами, зупинка алгоритму відбувається в момент досягнення екстремуму та в час збіжності значень функції приналежності.

У процесі роботи алгоритму виконуються такі дії:

1. Кожна особина поточної популяції оцінюється за допомогою алгоритму нечіткої логіки на предмет ступеня задоволення поставлених обмежень.
2. Кращі рішення копіюються в нову популяцію без змін.
3. На основі пропорційного відбору з поточної популяції вибираються хромосоми, які піддаються рекомбінації.
4. Якщо нова популяція сформована, то стара видаляється. Після цього переходимо до п. 5, а у протилежному випадку – до п. 3.
5. Якщо не виконується критерій зупинки оптимізаційного процесу, виконується перехід на п. 1.

Апробація методу. Розроблений метод апробовано на тестових вибірках, побудованих на основі реальних планів відновлювальної терапії. На основі відгуків пацієнтів стосовно процесу терапії сформовано перелік із чотирьох м'яких обмежень:

1. Критерій 1: відсутність заходів терапії, що включають спортивні активності перед сніданком.
2. Критерій 2: наявність повної години для проведення обіду.
3. Критерій 3: наявність перерв після водних процедур для відновлення.
4. Критерій 4: наявність перерв у проведенні процедур для переміщення пацієнтів між місцями проведення.

Для множини вибірок проведено оптимізацію відповідно до жорстких вимог процесу лікування та наведених вище м'яких обмежень.

На рис. 2–4 графічно відображено процес оптимізації.

У таблиці наведено результати початкової оцінки розкладів з використання алгоритму нечіткої логіки, значення нормалізованої кількості порушень кожного м'якого обмеження, а також результуючі значення після проведення процесу оптимізації.

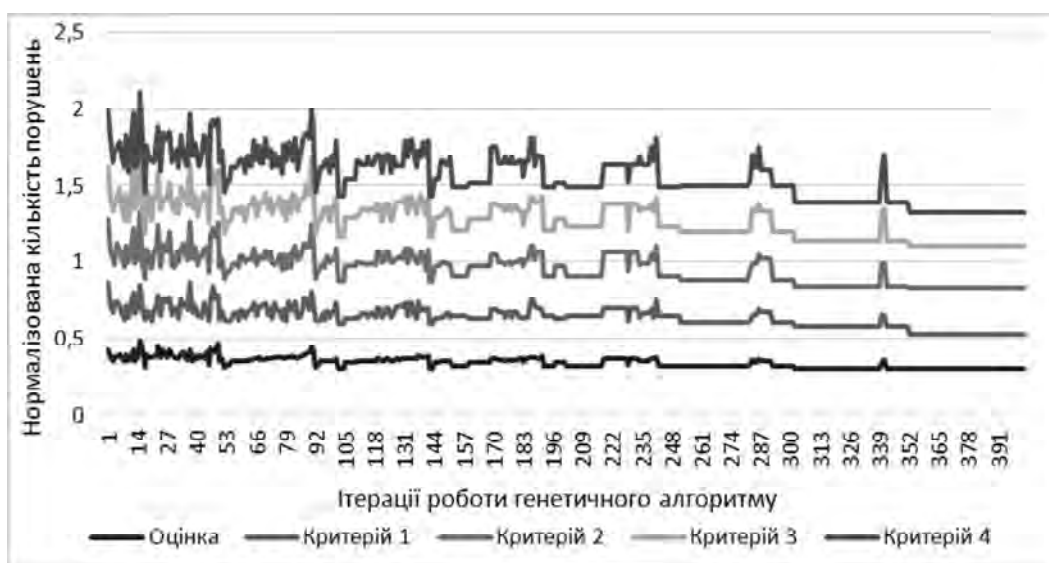


Рис. 2. Графічне відображення роботи методу оптимізації планів відновлювальної терапії. Тестова вибірка № 1



Рис. 3. Графічне відображення роботи методу оптимізації планів відновлювальної терапії. Тестова вибірка № 2

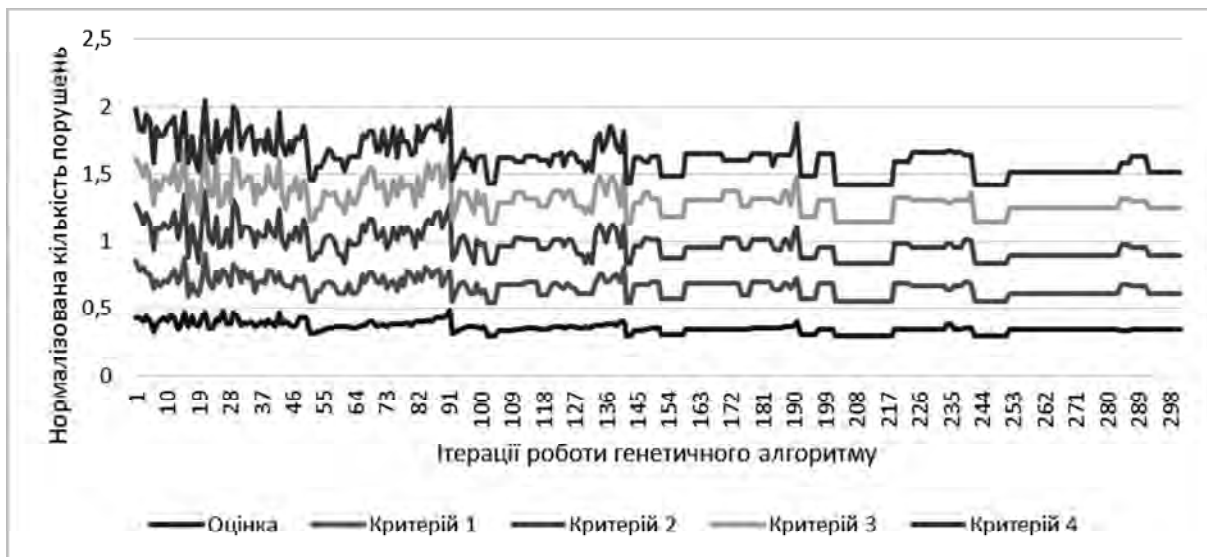


Рис. 4. Графічне відображення роботи методу оптимізації планів відновлювальної терапії. Тестова вибірка № 3

Результати роботи методу оптимізації планів відновлювальної терапії

| | | Результат нечіткої оцінки | Нормалізоване значення порушень критеріїв | | | |
|-------------|--------------------|---------------------------|---|--------------|--------------|--------------|
| | | | Критерій № 1 | Критерій № 2 | Критерій № 3 | Критерій № 4 |
| Вибірка № 1 | Початкове значення | 0.4324 | 0.4324 | 0.4143 | 0.3385 | 0.3667 |
| | Кінцеве значення | 0.3429 | 0.2973 | 0.343 | 0.3231 | 0.3167 |
| Вибірка № 2 | Початкове значення | 0.4324 | 0.4324 | 0.4143 | 0.3385 | 0.3667 |
| | Кінцеве значення | 0.3461 | 0.2703 | 0.2857 | 0.3463 | 0.2667 |
| Вибірка № 3 | Початкове значення | 0.4324 | 0.4324 | 0.4143 | 0.3385 | 0.3667 |
| | Кінцеве значення | 0.3385 | 0.3378 | 0.3 | 0.3385 | 0.2667 |

З наведених вище даних видно, що на початкових стадіях роботи методу присутня висока варіативність варіантів розкладів. За рахунок відбору результатів з найвищою оцінкою разом із наступним застосуванням до них еволюційних операторів відбувається поступове зниження числа порушень накладених обмежень. Варто зауважити, що метод продовжує роботу у випадках досягнення псевдооптимального значення (різкого зниження числа порушень за одним із обмежень разом з одночасним підвищенням числа порушень за іншими). Зупинка методу відбувається в момент, коли застосування операторів схрещування та мутації не призводить до покращення результату оцінки протягом 10 та більше ітерацій методу.

Висновки

1. У процесі відновлювальної терапії та лікування загалом особливе місце відведено наданню індивідуально орієнтованих реабілітаційних послуг. Ефективне проведення реабілітації неможливе без удосконалення та оптимізації планів проведення та розкладів виконання процедур у лікувальних закладах.

2. Оскільки відомо, що не існує ефективних алгоритмів розв'язку задач побудови та оптимізації розкладів за поліноміальний час, одним із найефективніших підходів для вирішення цієї проблеми, що дає можливість уникнути локальних екстремумів та отримати множину глобальних оптимальних рішень, є використання генетичних алгоритмів.

3. Використання алгоритму нечіткої логіки підвищеної точності забезпечує згортання векторного критерію обмежень та перехід від багатокритеріальної оцінки до однокритеріальної. Перевагою такого підходу є використання цільової функції сформованої з врахуванням багаторічного досвіду експертів у галузі побудови планів відновлювальної терапії.

4. Проведений аналіз і розроблений метод дозволяють провести побудову та багатокритеріальну оптимізацію планів відновлювальної терапії в контексті розкладів медичних закладів. Врахування інтересів пацієнтів в якості обмежень дає можливість підвищити індивідуалізацію надаваних послуг та, як наслідок, сприяє покращенню ефективності діяльності медичних закладів.

1. Хобзей М. К., Іпатов А. В., Коробкін Ю. І., Мороз О. М. Аналіз сучасного стану реабілітації інвалідів в Україні. *Медичні перспективи*. – 2010. – № 4. – С. 131–136. 2. Іпатов А. В., Сергієні, Т. Г., Войтчак О. В. *Професійна реабілітація інвалідів; за ред. В. В. Марунича*. – Д.: Пороги, 2005. – 227 с. 3. А. В. Іпатов, О. М. Мороз, В. А. Голик, Р. Я. Перепелична, І. Я. Ханюкова, Ю. І. Коробкін, Р. М. Молчанов, Г. М. Маловичко, Н. О. Гондуленко, Н. А. Саніна. *Основні показники інвалідності та діяльності медико-соціальних експертних комісій України за 2014 рік: Аналітико-інформаційний довідник / за ред. С. І. Черняка*. Дніпропетровськ: Роял-Принт, 2015. – 167 с. 4. Кофман Э. Г. *Теория расписания и вычислительные машины*. – М.: Наука, 1984. – 335 с. 5. Медвідь С. А., Глибовец Н. Н. *Генетические алгоритмы и их использование для решения задачи составления расписания*. *Кибернетика и системный анализ*. – 2003. – № 1. – С. 95–108. 6. Tkachenko R. O., Kovalyshyn O. S. *Method of making up clinic schedule with use of finite-state automaton*. *Econtechmod An international quarterly journal*. – 2016. – Vol. 5. – No. 3. – С. 131–134. 7. Hosny M. Shameem F. *Survey of Genetic Algorithms for the University Timetabling Problem*. *International Conference on Future Information Technology*. Singapore. – 2011. – Vol. 13. – С. 34–39. 8. Дорошенко А. В., Ткаченко Р. О. *Нейроподібні структури машини геометричних перетворень у завданнях інтелектуального аналізу даних*. Міжнародна наукова конференція “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” ISDMCI'2009: зб. наук. пр. у 2 т., 18-22 трав. 2009 р., Євпаторія, Україна. – Херсон, 2009. – Т. 2. – С. 309–314. 9. Tkachenko O., Tkachenko R., Hirniak Yu., Mushenyuk P. *Rule based Fuzzy system of Improved accuracy*. *Proceeding of the 56-th international Colloquium: Innovation of Mechanical Engineering – Shaping the Future*. Pimenau University of Technology. – С. 1–6. 10. I. Verbenko, R. Tkachenko. *Fuzzy Methods and Tools for Grane Management System Based on T-Controller*. *Journal of Global Research in Computer Science*. March 2013. – Vol. 4. – № 3. – С.1–4. 11. *T-Controller Workshop [Електронний ресурс]*. – Режим доступу: <http://tkatchenko.com/t-controller/about-t-controller/> (станом на 21.05.2018). 12. Odim O. M., Oguntunde B. O., Alli O. O. *On the Fitness Measure of Genetic Algorithm for Generating Institutional Lecture Timetable*. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Since*. – 2013. – Vol. 4. – No. 4. – С. 436–444.