

УДК 004.89 + 681.518.2

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ОПТИМАЛЬНОСТІ РОЗКЛАДІВ МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Р. О. Ткаченко, доктор технічних наук, професор

О. С. Ковалишин, аспірант

Національний університет "Львівська політехніка"

E-mail: kovalyshynoleh@gmail.com

Анотація. Зважаючи на початок постіндустріальної епохи і укрупнення лікувальних закладів, відчутним є збільшення припливу пацієнтів. Лікувальні можливості клінік лімітовані, що тягне за собою потребу у раціоналізації використання існуючих ресурсів. Також медичні установи тяжіють до поліпшення якості самого лікування, що в першу чергу включає в себе підвищення задоволеності пацієнтів наданими послугами. У зв'язку з цим в даній роботі доведено, що вирішення поставлених питань неможливе без проведення оптимізації розкладів медичних закладів, що починається з побудови множини критеріїв якості (векторного критерію) та оцінки відповідності процесу їх роботи цим критеріям. Для спрощення задачі оптимізації часто використовуються методи згортання векторного критерію – іншими словами агрегування множини значень критеріїв.

Встановлено, що для оцінки використання ресурсів клінік, наприклад, медичного обладнання, або робочих годин лікарів, можуть застосовуватися кількісні методи. Проте в багатьох випадках, особливо коли якість лікування та роботу лікувальних установ здійснюють на підставі відгуків самих пацієнтів, вони не можуть бути використаними. Таке оцінювання здійснюється в якісній формі, що робить практично неможливим застосування класичних підходів. За таких умов досить ефективним є застосування методів нечіткої логіки

В роботі доведено, що ефективним вирішенням задачі згортання векторного критерію може стати використання методів нечіткої логіки, що дають можливість застосувати для прийняття рішень неточні експертні знання про предметну область без формалізації їх у вигляді традиційних математичних моделей.

У статті розглянуто п'ять критеріїв, які впливають на якість розкладу як з сторони клієнтів медичних установ, так і для самих клінік:

- достатні для відновлення пацієнтів перерви між процедурами;
- рівномірний розподіл навантаження на медичний персонал;
- максимізація завантаження обладнання;
- комфортний розмір груп для проведення процедур;

•комфортний режим проведення процедур для пацієнтів.

Провівши аналіз цих критеріїв та розробивши контролер нечіткої логіки, проведено інтегральну оцінку якості розкладу. Вона може служити базисом для подальшої оптимізації розкладу, що в свою чергу сприятиме підвищенню ефективності діяльності закладів медичного спрямування.

Ключові слова: лікувальні заклади, оцінка задоволення пацієнтів, нечітка логіка, контролер нечіткої логіки, багатокритеріальна оцінка, оптимізація розкладу, ефективність роботи медичного закладу

Актуальність. Збір відгуків пацієнтів про процес лікування в медичних закладах є стандартним і потужним підходом до оцінки їх роботи, оскільки якість послуг має вирішальне значення для оздоровлення пацієнтів. Більше того, регулярний аналіз отриманої зворотної інформації може використовуватися для виявлення проблем в процесі лікування та його наступного покращення.

Відгуки пацієнтів медичного закладу складаються з поглядів, а також думок пацієнтів і відвідувачів про якість наданих послуг [1]. Заклади охорони здоров'я можуть здійснювати збір відгуків пацієнтів різними способами, включаючи опитування, аудити, відбір коментарів та скарг тощо.

Співробітники лікарень чи поліклінік, що працюють безпосередньо з пацієнтами, також можуть надати корисну інформацію. Крім того, правдиві дані можна систематично збирати за допомогою цілого ряду методів, включаючи фокус-групи та індивідуальні інтерв'ю.

Достатньо поширеним є такий метод досліджень, як опитування. Він дозволяє збирати і аналізувати велику кількість зібраної інформації з досліджуваного питання.

Досить поширеними є паперові опитувальники. Проте існує цілий ряд альтернативних способів їх проведення. До них відносяться: онлайн опитування, що дозволяють одержувачам представити свої відповіді в електронному вигляді [3]; телефонні опитування, які проводять підготовлені дослідники, що розмовляють з учасником і записують відповіді на поставлені запитання від їх імені; опитування за допомогою ручних електронних пристроїв, які можна

використовувати для коротких спеціалізованих опитувань в найрізноманітніших ситуаціях, наприклад, перед наданням послуг, безпосередньо в клініках або після консультацій.

У багатьох випадках опитувальні листи містять деяку кількість питань з варіантами відповідей, які характеризують рівень задоволеності пацієнтів, використовуючи зрозумілу для них мову, щоб отримати найбільш точну оцінку конкретної області функціонування клініки. Такий підхід дає достатньо точну оцінку з точки зору клієнта, але його результати навряд чи можна компонувати і статистично опрацювати (вибудувати в статистику). Крім того, установи часто зацікавлені в агрегуванні результатів опитувань протягом деякого проміжку часу. Як результат, виникає необхідність перетворення нечітких даних в обчислювану інформацію [4].

Ця проблема може бути вирішена за допомогою систем нечіткої логіки – математичних систем, що з'явилися як інструмент для вирішення невизначених, неточних або якісних проблем прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оцінку якості розкладів роботи медичних установ проведено в низці робіт [1,2,3,4, 15,16]. В них автори дослідили різноманітні аспекти оцінки якості розкладів, провели аналіз проблематики якості функціонування медичних установ з точки зору пацієнтів, встановили окремі критерії, що впливають на процес функціонування клінік.

У результаті проведених досліджень [15,16] було встановлено, що регулярний збір відгуків пацієнтів разом з їх подальшою оцінкою дозволяє виміряти ефективність діяльності медичних установ та закладає базис для подальшого покращення їх функціонування.

Таку оцінку слід здійснювати на підставі багатокритеріального аналізу, використовуючи контролери нечіткої логіки [8,9]. Проте можливості використання нечіткої логіки в задачах побудови агрегованої оцінки якості розкладу до сих пір не досліджені, хоча така задача є актуальною особливо в

контексті проведення подальшої багатокритеріальної оптимізації розкладу з метою максимізації як показників роботи клінік, так і покращення відгуків пацієнтів.

Мета дослідження - поліпшення якості лікування, підвищення задоволеності пацієнтів від наданих лікувальними закладами послуг завдяки проведенню оптимізації їх розкладів роботи методами багатокритеріальної оцінки з використанням контролера нечіткої логіки.

Матеріали та методи дослідження. У літературі систему нечіткого логічного висновку часто називають контролером нечіткої логіки. Він був вперше запропонований у промислових процесах і споживчих продуктах і успішно застосовується в даний час.

Замість того, щоб використовувати класичну математичну модель для опису системи, контролери нечіткої логіки утилізують інтегровані експертні знання. Ці знання представляються в структурі, близькій до розмовної мови і описуваної за допомогою лінгвістичних змінних та нечітких множин. Нечітка система виконує перетворення вхідних даних, слідуючи певному методу виведення.

Структура загального нечіткого контролера (рис. 1) містить наступні компоненти [5]:

- блок фазифікації;
- базу правил нечіткої логіки;
- блок прийняття рішень;
- блок дефазифікації.

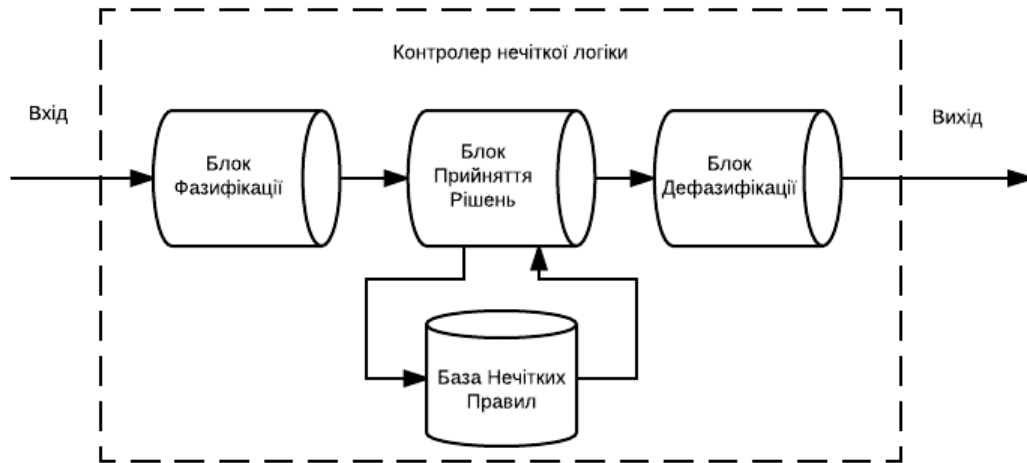


Рис. 1. Загальна структура системи нечіткого логічного виводу (нечіткого контролера)

Блок фазифікації відповідає за відображення (перетворення) будь-якого чіткого значення в правильне значення в просторі нечіткої логіки. Нечіткі множини є розширенням класичних, в яких допускається тільки повна приналежність елементів або її відсутність. Вони, з іншого боку, допускають часткову приналежність [6]. Ця робота виконується з використанням транзакцій від помилкового до істинного (від 0 до 1). Математично функція приналежності $\mu_X(x)$ зв'язує кожен елемент x в універсумі U з числом в інтервалі $[0 \dots 1]$, як показано в (1):

$$\mu_X: U \rightarrow [0..1] \quad (1)$$

Таким чином, блок фазифікації здійснює перетворення чітких даних $x \in U$ в нечітку множину $X \in U$ і $\mu_X(x)$ задає ступінь членства в діапазоні $[0 \dots 1]$.

Існує два крайніх випадки. Якщо $\mu_X(x) = 0$, то $x \notin X$ і в свою чергу $\mu_X(x) = 1$. Це означає, що $x \in X$ в класичному розумінні. Але коли $\mu_X(x) = 0,4$ то це означає, що x належить X лише зі степенем $0,4$, або ж x не належить X зі степенем $0,6$.

Множина X разом з визначеною на ній функцією приналежності $\mu_X(x)$ називається нечіткою множиною та позначається як (X, μ_X) . Процес перетворення чіткого значення елемента (припустимо, $x = 0,3$) в нечітку множину (припустимо, $x = 0,3 \in X = [0,1], \mu_X(x) = 0,3$) називають фазифікацією [7].

База правил нечіткої логіки. Більшість систем нечіткої логіки засновані на знаннях. Це означає, що, або їх нечіткі моделі, або нечіткі логічні контролери описуються правилами нечіткої логіки формату «ЯКЩО... ТОДІ...», що повинні бути встановлені і верифіковані на основі знань людини-експерта про систему та реалізовані шляхом виконання строгих логічних операцій.

Сукупність усіх таких принципів «ЯКЩО ... ТОДІ ...» становить основу правил нечіткої логіки для досліджуваної задачі [8].

У термінах нашої предметної області спрощена база правил R може мати таке уявлення:

R (1): ЯКЩО поведінка лікарів є неввічливою, ТОДІ рівень задоволеності лікуванням низький;

R (2): ЯКЩО пояснення рішень медичного персоналу траплялося іноді, ТОДІ рівень задоволеності лікуванням середній;

R (3): ЯКЩО якість ліків відмінна, ТОДІ рівень задоволеності лікуванням високий.

Звичайно, цей опис ілюструє лише основну ідею, яка аж ніяк не є повною і ефективною конструкцією для оцінки зворотного зв'язку.

У загальному вигляді база правил R з кількістю складових k має вигляд:

$$R(k): \text{IF } x_1 \text{ is } X_{k_1} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_m \text{ is } X_{k_m} \text{ THEN } u \text{ is } U_k \quad (2)$$

де $m \geq 1$ и $k = 1, \dots, r$

У блоці прийняття рішень використовуються нечіткі правила («ЯКЩО ... ТОДІ ... »), що містяться в базі правил для перетворення нечіткого введення в необхідні керуючі дії, які також мають нечітку природу. Кількість правил

залежить як від кількості входів, так і від функцій приналежності, пов'язаних з кожним входом [9].

Після того, як вихідні дані будуть оброблені за допомогою нечіткої логіки, вони знову перетворюються у чіткі значення. Це завдання виконується **блоком дефазифікації**, іншими словами блок дефазифікації математично об'єднує результат кожного правила в єдине чітке значення [10]. Для здійснення таких перетворень використовують кілька методів.

Методи Максимуму. Найпоширеніший метод максимуму базується на виборі середнього значення елементів з максимальними ступенями істинності (метод МОМ). Його перевага полягає в простоті і швидкості виконання, а основний недолік полягає в тому, що вони не є дійсно нечіткими. У випадку розгляду тільки елементів з найвищими ступенями приналежності, інформація, не пов'язана з правилами максимальної активації, ігнорується [11].

Методи, засновані на області. Добре відомою процедурою, заснованою на області, є вибір результату дефазифікації як центру ваги методу розподілу COG з ймовірностями виходу. Близьким варіантом є метод центру області (COA), який вибирає чітке значення як позицію, де область виведення може бути розділена на дві рівні половини. Якщо розподіл виходу є симетричним, обидва методи дають однакові результати [12].

Інші методи. З використанням моделі процедури COG було запропоновано кілька алгоритмів навчання для усунення дефектів виведення. Загальна ідея, що лежить в основі всіх цих методів полягає в тому, що необхідно виконати деяке перетворення розподілу ваг виведення відповідно до генерованого набору параметрів. Загальну функцію перетворення нечіткого члена X можна записати у вигляді:

$$v_x(x) = \mu(x)T(x) \quad (3)$$

де $\mu(x)$ – нове значення функції приналежності елемента; $x \in X, \mu_x(x)$ - оригінальне її значення; $T(x)$ - довільна функція трансформації.

Ось деякі приклади таких функцій:

BADD метод [8, 9]:

$$T(x) = \mu x(x)^{y-1} \quad (4)$$

де y – автоматично визначений параметр.

SLIDE метод [10]:

$$T(x) = \begin{cases} 1 - \beta & (x \leq \alpha) \\ 1 & (x > \alpha) \end{cases} \quad (5)$$

де α і β – параметри, які необхідно визначити.

M-PTD метод [11, 12]:

$$T(x) = \left[\sum_{j=0}^N \beta_j (\mu_x(x) - 0.5)^j \right]^2 \quad (6)$$

де β_j – регульовані параметри;

$\mu_x(x)$ і $T(x)$ – дискретні функції [13].

У всіх перерахованих вище процедурах вид перетворення, викликаного $T(x)$, є спотворенням розподілу імовірностей виходу, яке збільшує або зменшує вагу елементів з більш високими значеннями членства. Чим більше трансформація збільшує відмінності між низкими і високими значеннями членства, тим більше метод дефазифікації буде апроксимувати характеристику МОМ [14].

Результати досліджень та їх обговорення. *Розробка Контролера нечіткої логіки оцінки оптимальності розкладів лікувальних закладів*

Нами запропоновано застосувати п'ять критеріїв, що впливають на якість розкладу лікувального закладу з точки зору пацієнтів та працівників медичних установ:

- достатні для відновлення пацієнтів перерви між процедурами;
- рівномірний розподіл навантаження на медичний персонал;
- максимізація завантаження обладнання;

- комфортний розмір груп для проведення процедур;
- комфортний режим проведення процедур для пацієнтів.

В якості результуючого критерію виступає власне оцінка якості розкладу функціонування медичного закладу.

На першому етапі проектування нечіткого контролера на основі вхідних критеріїв та результуючого значення формуються нечіткі лінгвістичні змінні. Для їх означення доцільно ввести показники, засновані на штрафах, що встановлюються кожному параметру за будь-який незручний момент в розкладі. Значення порушень нормалізуються за наступною формулою:

$$K_i^S = \frac{K_i^S - K_i^{min}}{K_i^{max} - K_i^{min}} \quad ((7))$$

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; $K_i^{min} \leq K_i^S \leq K_i^{max}$; $k_i^S \in [0,1]$.

У даному конкретному випадку використовуються п'ять вхідних лінгвістичних змінних (Порушення-Режиму-Процедур, Порушення-Перерв-Між-Процедурами, Порушення-Розміру-Груп, Порушення-Розподіл-Навантаження-Персоналу, Порушення-Максимуму-Завантаження-Обладнання) і одна вихідна (Якість-Розкладу) (рис. 2).

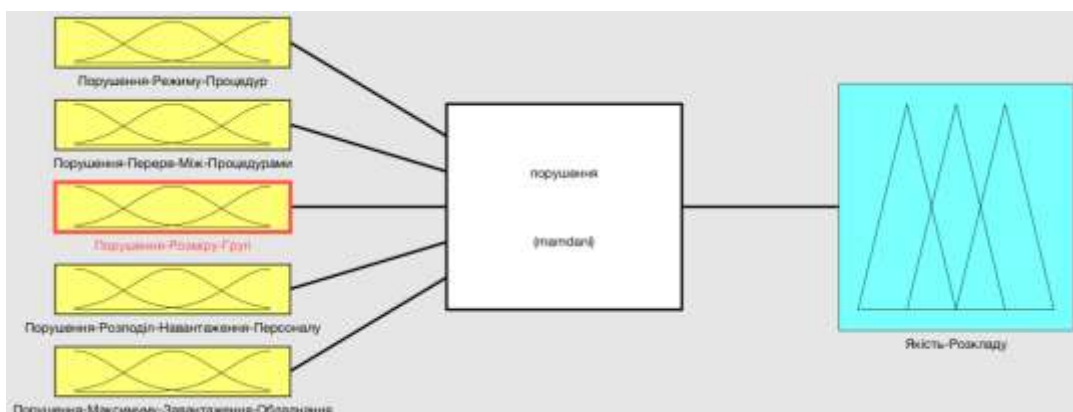
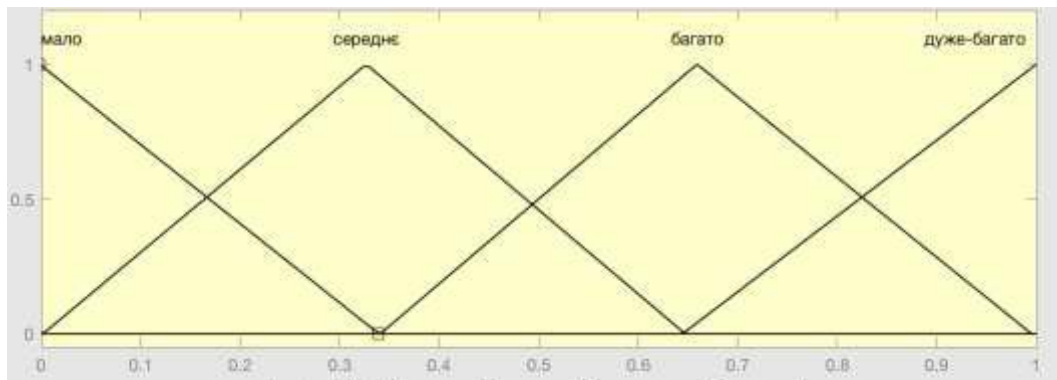


Рис. 2. Структура системи нечіткої логіки для інтегральної оцінки якості розкладу функціонування медичних установ

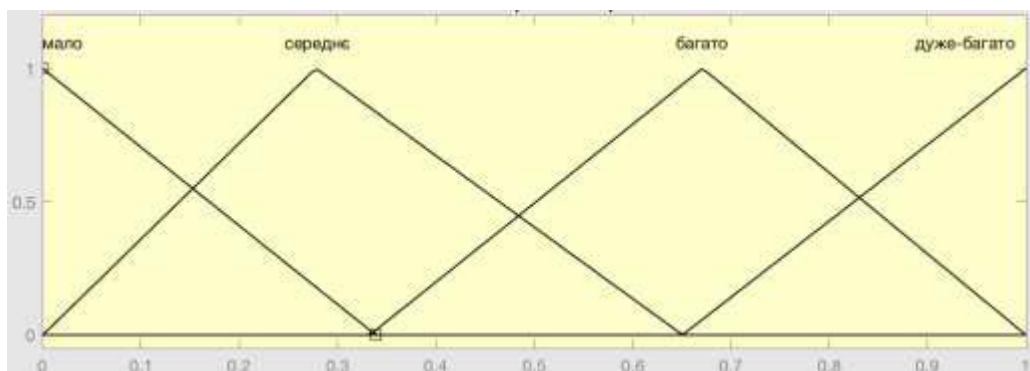
Функції приналежності вхідних змінних

Для ефективного використання нечітких систем необхідно адекватно визначити функції приналежності кожної лінгвістичної змінної. В даному контролері було означено чотири функції приналежності для кожної вхідної лінгвістичної змінної та п'ять – для вихідної.

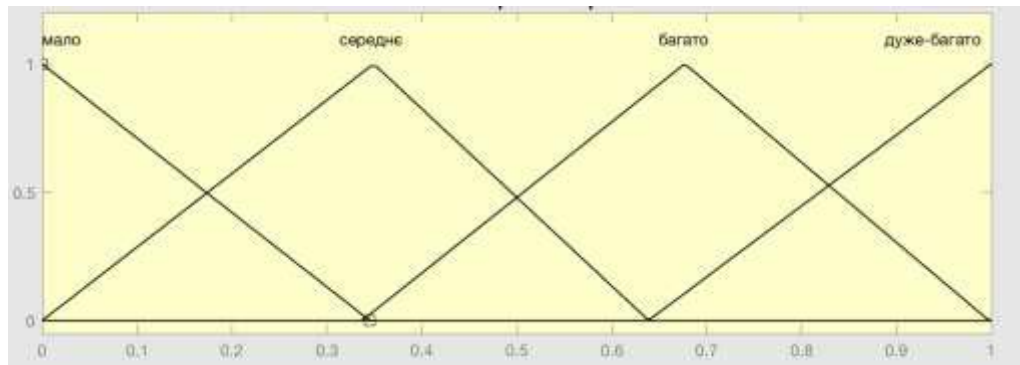
Наприклад, для змінної «Порушення-Режиму-Процедур» використовуються такі терми: мало порушень, середня кількість порушень, велика кількість порушень та дуже велика кількість порушень (рис. 3а). Функції членства для інших змінних показані на рис.3б-3д.



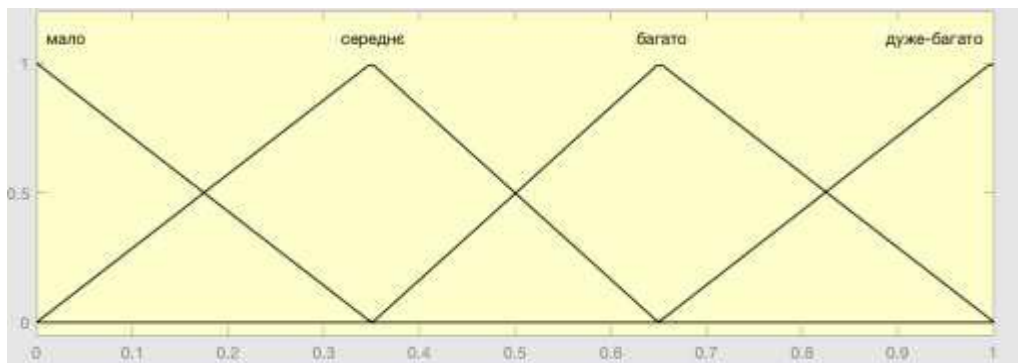
а)



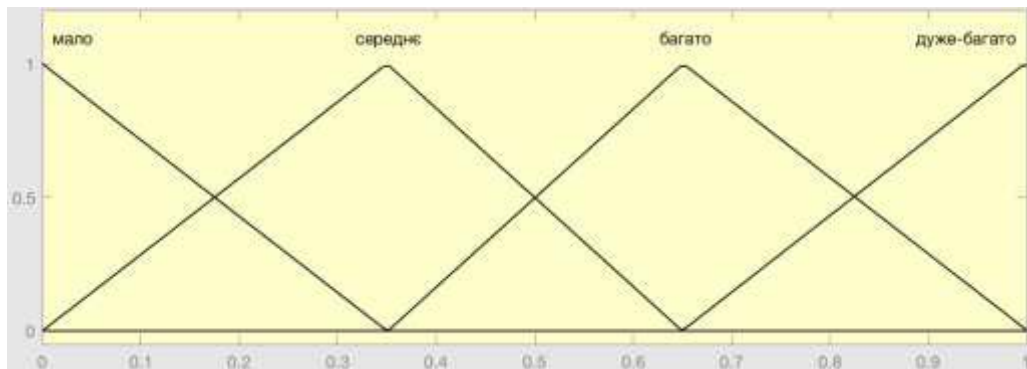
б)



в).



г)



д)

Рис.3. Функції приналежності нечіткого контролера для вхідних змінних: Порушення-Режиму-Процедур (а), «Порушення-Перерв-Між-Процедурами» (б), «Порушення-Розміру-Груп» (в), Порушення-Розподіл-Навантаження-Персоналу»(г), «Порушення-Максимуму-Завантаження-Обладнання» (д)

З метою проведення інтегральної оцінки якості розкладу одна вихідна змінна «Якість розкладу», що використовується в контролері нечіткої логіки, має сім

термів: Незадовільний, Дуже-Поганий, Середньо, Вище-Норми, Задовільний, Якісний. Ці терми, які наведено на рис. 4, характеризують розклад відповідно до результатів роботи системи нечіткого логічного висновку.

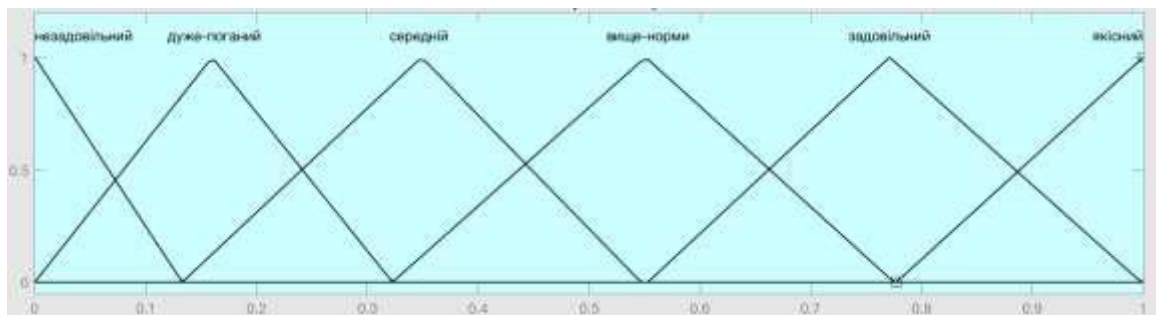


Рис 4. Вихідна нечітка змінна «Якість-Розкладу»

Побудова продукційних правил нечіткого виведення

Для функціонування системи логічного висновку формується набір продукційних правил, що описують “поведінку” нечіткого контролера. Для даної системи було розроблено базу з 16 правил. Нижче наведено деякі з них:

1. **ЯКЩО** (Порушення-Режиму-Процедур Мало) **І** (Порушення-Перерв-Між-Процедурами Мало) **І** (Порушення-Розміру-Груп Мало) **І** (Порушення-Розподілу-Навантаження-Персоналу Мало) **І** (Порушення-Максимум-Завантаження-Обладнання Мало) **ТОДІ** (Якість-Розкладу Якісний)

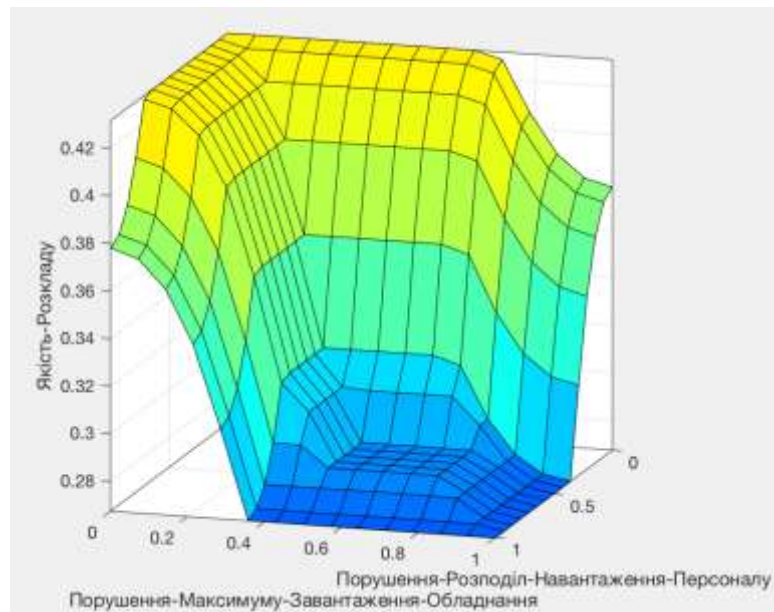
2. **ЯКЩО** (Порушення-Режиму-Процедур Середнє) **І** (Порушення-Перерв-Між-Процедурами Середнє) **І** (Порушення-Розміру-Груп Середнє) **І** (Порушення-Розподілу-Навантаження-Персоналу Середнє) **І** (Порушення-Максимум-Завантаження-Обладнання Середнє) **ТОДІ** (Якість-Розкладу Середній)

3. **ЯКЩО** (Порушення-Режиму-Процедур Багато) **І** (Порушення-Перерв-Між-Процедурами Багато) **І** (Порушення-Розміру-Груп Багато) **І** (Порушення-Розподілу-Навантаження-Персоналу Багато) **І** (Порушення-Максимум-Завантаження-Обладнання Багато) **ТОДІ** (Якість-Розкладу Дуже-Поганий)

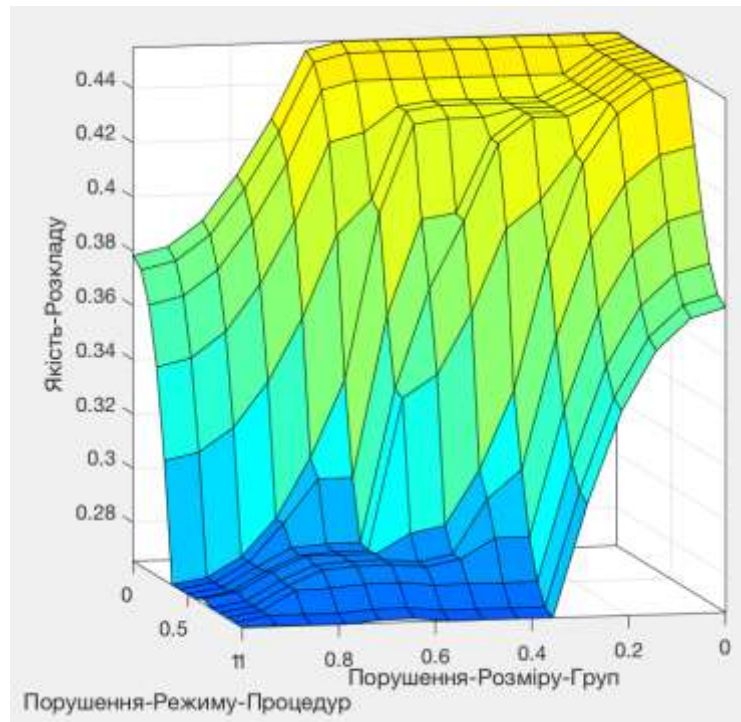
4. **ЯКЩО** (Порушень-Режиму-Процедур Дуже-Багато) **І** (Порушень-Перерв-Між-Процедурами Дуже-Багато) **І** (Порушень-Розміру-Груп Дуже-Багато) **І** (Порушень-Розподілу-Навантаження-Персоналу Середнє Дуже-Багато) **І** (Порушень-Максимум-Завантаження-Обладнання Дуже-Багато) **ТОДІ** (Якість-Розкладу Незадовільний)

5. **ЯКЩО** (Порушень-Режиму-Процедур Мало) **АБО** (Порушень-Перерв-Між-Процедурами Мало) **АБО** (Порушень-Розміру-Груп Мало) **АБО** (Порушень-Розподілу-Навантаження-Персоналу Мало) **АБО** (Порушень-Максимум-Завантаження-Обладнання Мало) **ТОДІ** (Якість-Розкладу Вище-Норми)

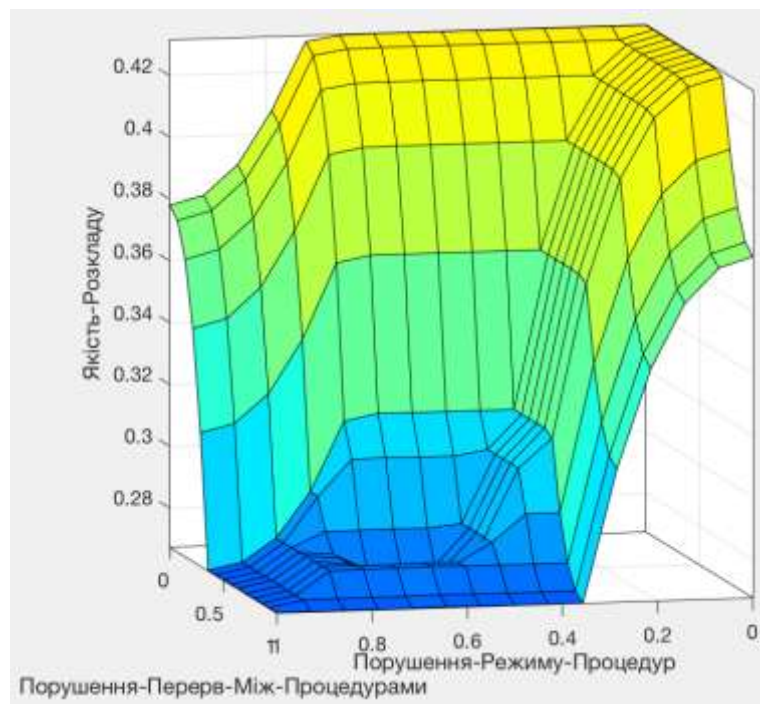
Оцінити вплив нечітких правил та значень вхідних змінних на результуючу оцінку можна за допомогою графів вводу-виводу, поданих на рис. 5.



а)



б)



в).

Рис.5. Графік впливу вхідних змінних:

«Порушення-Розподілу-Навантаження-Персоналу», «Порушення-Максимуму-Завантаженості-Обладнання» (а), «Порушення-Розміру-Груп», «Порушення-Режиму процедур» (б), «Порушення-Перерв-Між-Процедурами» та «Порушення-Режиму процедур» (в) на якість розкладу

Зростання кількості порушень кожного критерія оптимальності розкладу веде до погіршення результуючої його якості. Характер та інтенсивність впливу певного критерію на агреговану оцінку виражена за допомогою використання продукційних правил нечіткої логіки.

Висновки та перспективи. 1. В діяльності установ медичного спрямування важливою та актуальною проблемою є раціоналізація їх роботи. Оптимізувати цю роботу можливо, провівши та оцінивши її за багатьма критеріями якості обслуговування. Частина цих критеріїв якості не може бути виміряна у кількісному вигляді, через що не вдається використовувати класичні методи проведення оцінки.

2. Як ефективний інструмент оцінки діяльності лікувального закладу за критеріями, що не мають чіткої математичної моделі, доцільно використовувати нечітку логіку.

3. Реалізувавши на практиці контролер нечіткої логіки та агрегувавши експертні знання, стала можливим побудова інтегральної оцінки якості розкладу медичних установ.

4. Інтегральна оцінка якості розкладу, що використовується в контролері нечіткої логіки, передбачає використання п'ять критеріїв: достатні для відновлення пацієнтів перерви між процедурами; рівномірний розподіл навантаження на медичний персонал; максимізація завантаження обладнання; комфортний розмір груп для проведення процедур; комфортний режим проведення процедур для пацієнтів. Врахувавши їх в даній оцінці, можна впливати на розклад лікувального закладу як зі сторони ефективного

використання ресурсів, так і зі сторони вдоволеності пацієнтів від отриманих послуг.

5. Проведений аналіз та розроблений контролер нечіткої логіки, дозволяють провести багатокритеріальну оцінку якості розкладів медичних установ як зі сторони клієнтів так і самих клінік. Побудована в результаті інтегральна оцінка надає базис для подальшої оптимізації розкладів та як наслідок суттєвого підвищення ефективності діяльності закладів медичного спрямування.

Список літератури

1. Institute of Medicine. Crossing the Quality Chasm: A New Health System for the 21st Century / Institute of Medicine, Committee on Quality of Health Care in America // Washington. – DC: The National Academies Press, 2001. – 360p.
2. Tefera. L. Measurement of the Patient Experience: Clarifying Facts, Myths, and Approaches / Tefera L., Lehrman W., Conway. P. // Journal of the American Medical Association. Available at: <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/2503222> (Accessed 5 December 2017).
3. Lee H. Subjective well-being and the measurement of quality in healthcare / Vlaev I., King D., Mayer E., Darzi A., Dolan P. // Soc. Sci. Med. –Vol. 99, 2013. –P. 27-34.
4. Wolf J. Operationalizing and defining the patient experience / Wolf J., Niederhauser V., Marshburn D., LaVela S. // Patient Experience Journal. –Vol. 1, 2014. –P. 6 – 13.
5. Lee C. C. Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller - part 1 / Lee C. C. // IEEE trans. Syst., Man, Cybern. –Vol. 20,1990. –P. 404 – 418.
6. Zadeh L. A. Fuzzy sets Inform. and Contr., / Zadeh L. A. // Information and Control. –Vol. 8,1965. –P. 338–353.
7. Rattan K. S. Analysis and design of proportional plus derivative fuzzy logic controller / Rattan K. S., Sandhu G. S. // Proc. National Aeronautics and Electronics Conference (Dayton, 20-22 May 1996).
8. Mamdani E. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Logic Controller / Mamdani E., Assilian S. // Int. J. Man – Machine Studies. –Vol. 7, 1975. – P. 1 – 13.
9. Zhang J. Explicit self-tuning control for a class of nonlinear systems/ Zhang J., Lang S. // Automatica. –Vol.25, 1989. – P. 593–596.
10. Sugeno M., Industrial Applications of Fuzzy Control / Sugeno M. // Elsevier Science Inc. New York, 1985. –p. 278.
11. Takagi T., Fuzzy Identification of Systems and Its Application to Modeling and Control / Takagi T., Sugeno M. // IEEE Trans. on Sys. Man. and Cybernetics, – Vol. SMC-15, 1985. – p.116-132.

12. Huang L. J. A Self-Paced Fuzzy Tracking Controller for Two-Dimensional Motion Control / Huang L. J., Tomizuka M. // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. –Vol. SMC-20, 1990. – p. 1115-1124.

13. Kosko B. Neural Networks and Fuzzy Systems. / Kosko B. // New Jersey: Prentice Hall, 1992. –p 449.

14. Nguyen H. T. Uncertain If-Then Rules Based on Mathematical Conditionals/ Nguyen H. T. // Proceeding of IEEE International Conference on Fuzzy Systems (San Diego, 8-12 March 1992).

15. Monahan K. Schedule-based metrics for the evaluation of clinic performance and potential recovery of cancelled appointments / Monahan K., Fabbri F. // International Journal of Medical Informatics. – Vol. 109, 2018. – P. 49-54.

16. Sagnak M., Shift Scheduling with Fuzzy Logic: An Application with an Integer Programming Model / Sagnak M., Kazancoglu Y. // Procedia Economics and Finance. –Vol. 26, 2015. –P. 827-832.

References

1. Institute of Medicine (2001). Crossing the Quality Chasm: A New Health System for the 21st Washington. – DC: The National Academies Press – 360.

2. Tefera. L. Measurement of the Patient Experience: Clarifying Facts, Myths, and Approaches. Available at: <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/2503222>

3. Lee H. Vlaev I., King D., Mayer E., Darzi A., Dolan P., Subjective well-being and the measurement of quality in healthcare (2013). Soc. Sci. Med., 99. – 27-34.

4. Wolf J., Niederhauser V., Marshburn D., LaVela S., Operationalizing and defining the patient experience (2014), Patient Experience Journal, 1. –6 – 13.

5. Lee C. C. Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller - part 1 (1990). IEEE trans. Syst., Man, Cybern, 20. 404 – 418.

6. Zadeh L. A. Fuzzy sets Inform. and Contr. (1965), Information and Control,8. –338–353.

7. Rattan K. S., Sandhu G. S., Analysis and design of proportional plus derivative fuzzy logic controller (20-22 May 1996), Proc. National Aeronautics and Electronics Conference.

8. Mamdani E. Assilian S., An Experiment in Linguistic Synthesis with a Logic Controller (1975) Int. J. Man – Machine Studies,7. – 1 – 13.

9. Zhang J., Lang S., Explicit self-tuning control for a class of nonlinear systems (1989), Automatica, 25. –593–596.

10. Sugeno M., Industrial Applications of Fuzzy Control, (1985). Elsevier Science Inc. New York. –278.

11. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy Identification of Systems and Its Application to Modeling and Control(1985). IEEE Trans. on Sys. Man. and Cybernetics, SMC-15. – 116-132.

12. Huang L. J., Tomizuka M., A Self-Paced Fuzzy Tracking Controller for Two-Dimensional Motion Control, SMC-20. –1115-1124.

13. Kosko B., Neural Networks and Fuzzy Systems (1992). New Jersey: Prentice Hall.– 449.

14. Nguyen H. T. Uncertain If-Then Rules Based on Mathematical Conditionals (8-12 March 1992). Proceeding of IEEE International Conference on Fuzzy Systems.

15. Monahan K., Fabbri F., Schedule-based metrics for the evaluation of clinic performance and potential recovery of cancelled appointments(2018). International Journal of Medical Informatics, 109. –49-54.

16. Sagnak M., Kazancoglu Y., Shift Scheduling with Fuzzy Logic: An Application with an Integer Programming Model(2015). Procedia Economics and Finance,26. –827-832.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАСПИСАНИЙ МЕДИЦИНСКИХ ЗАВЕДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Р.О. Ткаченко, О.С. Ковалишин

Аннотация. Принимая во внимание начало постиндустриальной эпохи и укрупнение лечебных учреждений, ощутимым является увеличение притока пациентов. Лечебные возможности клиник лимитированные, что влечет за собой потребность в рационализации использования существующих ресурсов. Также медицинские учреждения тяготеют к улучшению качества самого лечения, что в первую очередь включает в себя повышение удовлетворенности пациентов предоставленными услугами.

Решение данной проблемы невозможно без проведения оптимизации, которая начинается с построения множества критериев качества (векторного критерия) и оценки соответствия процесса работы заведений этим критериям. Для упрощения задачи оптимизации часто используются методы свертывания векторного критерия – то есть агрегирования множества значений критериев.

Для оценки использования ресурсов, например, медицинского оборудования, или рабочих часов врачей, могут применяться количественные методы, однако могут быть использованы не во всех случаях. Важным аспектом качества лечения также оценка работы учреждений самими пациентами, что в большинстве случаев выражается в качественной форме, что делает практически невозможным применение классических подходов.

Эффективным решением задачи свертывания векторного критерия может стать использование методов нечеткой логики, позволяющие применить для принятия решений неточные экспертные знания о предметной области без формализации их в виде традиционных математических моделей.

В статье рассматриваются пять критериев, влияющих на качество расписания с как с стороны клиентов медицинских учреждений, так и для самих клиник:

- достаточные для восстановления пациентов перерыва между процедурами;
- равномерное распределение нагрузки на медицинский персонал
- максимизация загрузки оборудования;
- комфортный размер групп для проведения процедур;
- комфортный режим проведения процедур для пациентов.

Проведя анализ этих критериев и разработав контроллер нечеткой логики, проведено интегральную оценку качества расписания, которая может служить базисом для дальнейшей его оптимизации и, как следствие, существенного повышения эффективности деятельности учреждений медицинского направления.

Ключевые слова: *лечебные учреждения, оценка удовлетворенности пациентов, нечеткая логика, контроллер нечеткой логики, многокритериальная оценка, оптимизация расписания, эффективность работы медицинского учреждения*

MULTICRITERIAL EVALUATION OF MEDICAL INSTITUTIONS SCHEDULE QUALITY WITH USING FUZZY LOGIC

R.O. Tkachenko, O.S. Kovalyshyn

Abstract. *Taking into account the beginning of the postindustrial epoch and the consolidation of medical institutions, the inflow of patients is noticeable. The medication possibilities of the clinics are limited, which entails the need to rationalize the use of existing resources. Also, medical institutions tend to improve the quality of the treatment itself, which primarily involves increasing the satisfaction of patients with the services provided.*

Solving of this problem impossible without optimization, which begins with the construction of a set of quality criteria (vector criterion) and assessment of the conformity of the institutions work process to these criteria. In order to simplify the optimization problem, methods of curtailing the vector criteria are often used, that is, the aggregation of the set of criteria values.

Quantitative methods may be used to assess the use of resources, such as medical equipment, or doctors working hours, but may not be used in all cases. An important aspect of the quality of treatment is also the assessment of the work of the institutions by the patients themselves, which in most cases is expressed in a qualitative form, which makes it practically impossible to apply classical approaches.

The use of fuzzy logic methods can be an effective solution to the problem of curtailing the vector criterion, allowing to apply inaccurate expert knowledge about the domain for decision making without formalizing them in the form of traditional mathematical models.

The article examines five criteria that influence the quality of the schedule with both the clients of medical institutions and the clinics themselves:

- sufficient time for restoration of patients between procedures;*
- uniform distribution of the burden on medical personnel*
- maximizing equipment load;*
- comfortable group size for procedures;*
- A comfortable procedure for patient procedures.*

After analyzing these criteria and developing a fuzzy logic controller, an integral assessment of the quality of the schedule has been made, which can serve as a basis for further optimization and, consequently, a significant increase in the efficiency of the medical facilities.

Key words: *medical institutions, patient satisfaction assessment, fuzzy logic, fuzzy logic controller, multicriteria assessment, optimization of schedule, efficiency of work of a medical institution*