

**В. Пасько, І. Дроздович, Г. Корнієнко
К. Бовсуновська, В. Солдатов**

ПРИЙНЯТТЯ ПОТЕНЦІЙНО КРАЩИХ РІШЕНЬ В МЕДИЧНИХ ЛІКУВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНИХ ЦЕНТРАХ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація. Запропоновано інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень для оцінювання поточного стану пацієнтів медичного закладу. Система базується на онтологічній базі знань, нечіткій ситуаційній мережі та продукційних правилах і дає змогу знаходити потенційно кращі рішення як під час переведення пацієнта з одного штатного поточного стану в інший бажаний, так і в нештатних ситуаціях. Для вибору рішень запропоновано вербально-числовий метод оцінювання альтернатив, що автоматизує та пришвидшує пошук кращого рішення. Також розроблено схему нечіткого логічного виведення з урахуванням ступенів достовірності та важливості знань.

Ключові слова: медичний лікувально-діагностичний центр, інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, нечітка ситуаційна мережа, штатна і позаштатна ситуації щодо станів пацієнтів, вербально-числовий метод оцінки альтернатив, схема нечіткого логічного виведення, потенційно краще рішення.

Вступ

Однією з головних причин недостатнього рівня інноваційного розвитку закладів медицини є вкрай слабе освоєння системи сучасних організаційно-економічних інструментів інноваційного розвитку охорони здоров'я, покликаних виконувати двояку роль: по-перше, стимулювати розробку, оформлення та реалізацію інноваційних ідей, продуктів і технологій, по-друге, формувати ринковий попит на інновації – управлінські, інформаційні та лікувально-діагностичні. Одним із ключових завдань під час створення сучасних багатопрофільних лікувально-діагностичних центрів (МЛДЦ) є забезпечення прийняття потенційно кращих рішень у різноманітних поточних клінічних ситуаціях щодо стану пацієнтів із використанням систем штучного інтелекту.

Особливістю функціонування проблемно-орієнтованих інформаційних систем є необхідність забезпечення в них функціонування в режимі реального часу і підтримка процедур і процесів при необхідності колегіального обговорення і прийняття рішень. Тобто виникає необхідність моделювання розподіленого гетерогенного керованого подіями (реактивного) інформаційного середовища, що функціонує в реальному часі.

Прийняття потенційно кращих рішень в МЛДЦ є складним завданням, оскільки прийняття рішень часто-густо відбувається у разі виникнення позаштатних ситуацій, що характеризується такими труднощами [1-3]:

- неможливість отримання достовірної, повної та точної інформації про позаштатну ситуацію;

- старіння інформації, що використовується для прийняття рішень;
- наявність великої кількості факторів;
- багатоваріантність підходу до прийняття оперативних рішень;
- -відповідальність особи, яка приймає рішення (ОПР);
- необхідність урахування наслідків прийнятих рішень.

Відомо, що за наявності великого обсягу поточної інформації, що використовується для прийняття рішень, якість рішень істотно знижується. Дослідження показують, що ОПР, без додаткової аналітичної підтримки схильні використовувати спрощені та суперечливі правила прийняття рішень. У цьому сенсі ефективні рішення можуть бути реалізовані з використанням систем штучного інтелекту. Використання систем штучного інтелекту, заснованих на знаннях досвідчених медичних фахівців, дозволяє суттєво підвищити ефективність прийнятих рішень. В цьому сенсі найбільш прийнятним методом формування потенційно кращих рішень є інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (ІСППР), побудована на ситуаційному підході. Однак слід зазначити, що ситуаційний підхід на основі ІСППР потребує великих витрат на опис і аналіз предметної області, якою в нашому випадку є медична діяльність МЛДЦ. Ці витрати обумовлені тим, що опис медичної діяльності МЛДЦ не може бути формалізований за допомогою відомих аналітичних функціональних залежностей. Крім того, системи ситуаційного підходу на основі ІСППР не можуть оптимізувати сам процес прийняття рішень.

Постановка задачі

Задача прийняття рішень (DM) може бути записана у наступному вигляді:

$$DM = (T, A, Q, Y, F, G, D), \quad (1)$$

де T – постановка задачі; A – множина альтернатив; Q – набір критеріїв вибору (оцінка ефективності варіантів рішення); Y – множина методів для вимірювання зв'язків між варіантами; F – зіставлення набору дійсних опцій з набором оцінок; G – системні переваги експертів; D – правило прийняття рішень, яке відображає систему переваг.

Припустимо, що поточна ситуація щодо стану пацієнта описується як нечітка ситуація такого типу [4]:

$$S_{\text{пот}} = \{M_{Si}(x_i)/x_i\}, \quad x_i \in X, \quad (2)$$

де $M_{Si}(x_i)/x_i$ – функція приналежності до лінгвістичної змінної x_i , що характеризує поточну ситуацію.

Крім того, припустимо, що для кожної лінгвістичної змінної відповідає j -й терм набору термів у базі знань. Тоді формулу (2) можна записати так:

$$S_i = \{M_{S_{\text{пот}}}(T_j^i)/T_j^i, j = 1, \dots, M; i = 1, \dots, N; x_i \in X, \quad (3)$$

де T_j^i j -й терм i -ї лінгвістичної змінної.

Для визначення стану пацієнта у разі виникнення поточної ситуації необхідно порівняти її з кожною нечіткою ситуацією з певного набору відомих штатних ситуацій у базі знань ІСППР. Результатом порівняння має стати рішення ОПР. Якщо поточна ситуація є штатною, то рішення приймається автоматично за алгоритмом для даної штатної ситуації. У разі виникнення нештатної ситуації ІСППР допоможе вибрати рішення, наближене до цієї ситуації, або, якщо такої не знайдено, сформулювати нове рішення. Ступінь відповідності поточної ситуації до штатної будемо визначати в нормованому діапазоні $[0,1]$ наступним чином:

де α_{min} - нижня межа ступеня відповідності, зазвичай $\alpha_{min} = 0.7 - 0.8$.

Формула (4) свідчить про те, наскільки нечіткі ознаки поточної ситуації входять у нечіткі значення відповідних ознак штатної ситуації $S_k, k = 1, K$.

Огляд існуючих ІСППР

На сьогоднішній існує широкий спектр робіт, присвячених ІСППР [5-8], зокрема і побудованих на ситуаційному підході з використанням нечіткої логіки [4, 9-12]. ІСППР досить широко використовуються і в медичній галузі [13]. ІСППР надають допомогу в прийнятті рішень при аналізі вихідної інформації (оцінка поточної ситуації та обмежень, що накладаються зовнішнім середовищем).

ІСППР забезпечують ідентифікацію та ранжування пріоритетів, враховують невизначеність в оцінках особи, що приймає рішення, і формують переваги, генерацію можливих рішень (формування списку альтернатив); оцінювання можливих альтернатив; аналіз можливих наслідків прийнятих рішень; вибір потенційно найкращого рішення [12].

Слід зазначити, що при визначенні оптимального варіанта вирішення тієї чи іншої проблеми, що виникає у сфері медичної діагностики, зазвичай доводиться враховувати велику кількість невизначених та суперечливих факторів. Невизначеність є невід'ємною частиною процесів ухвалення рішень для галузей медицини. Невизначеність пов'язана, в першу чергу, з неповнотою знань про проблему, через яку має бути прийняте рішення та неможливість повного обліку реакції пацієнтів. Суперечливість виникає через неоднозначність оцінки захворювання, помилки у виборі пріоритетів, що, зрештою, сильно ускладнює прийняття правильних рішень. У цьому випадку також найбільш ефективним інструментом прийняття потенційно кращого рішення є різноманітні інтелектуальні інформаційні системи (ІІС) [7,9,11,23].

Використання ІСППР в слабоформалізованій області, якою є оперативне управління МЛДЦ, має безперечну актуальність. Це універсальний аналітичний інструмент, в якому можна в результаті певних аналітичних та логічних процедур отримати потрібне управлінське рішення. Сучасні ІСППР заснована на використанні спеціалізованих інформаційних сховищ та технологій OLAP – динамічного багатовимірного аналізу даних з використанням ефективного інструменту інтелектуального аналізу даних, моделювання та прогнозування [16].

На рис.1 схематично показано узагальнену структуру ІСППР для ухвалення потенційно кращих діагностичних рішень.

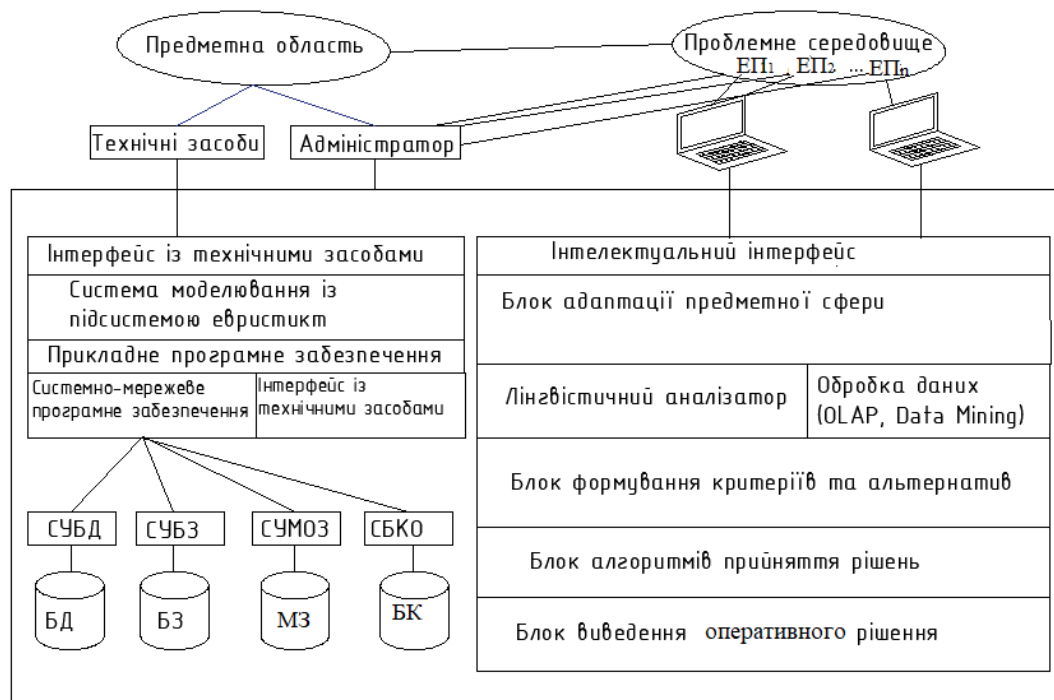


Рисунок 1. Узагальнена структура ІСППР

На рисунку позначено: СУБД, СУБЗ, СУМОЗ, СБКО – системи управління базою даних, базою знань, оновленням моделі знань, базою критеріїв оцінки відповідно; $EP_1, EP_2 \dots EP_n$ – експерти предметної області.

Узагальнена структура ІСППР забезпечує в діалозі з експертами предметної області (досвідченими медиками) автоматизоване налаштування на обрану предметну область шляхом введення в систему основних понять, атрибутів, їх можливих значень, зв'язків між ними, а також типів можливих ситуацій, характерних для даної предметної області. База знань (БЗ) в ІСППР визначається як модель подання знань (МПЗ). Розробка БЗ є найскладнішим етапом, «вузьким місцем» створення будь-яких ІСППР.

Вирішення задач

Для вирішення поставлених задач пропонується будувати ІСППР на основі онтологічного підходу [17-19]. Онтологія в підтримці прийняття медичних рішень є концептуальною основою побудови ІСППР. Такий підхід ґрунтується на використанні онтології у складі бази знань ІСППР, яка містить понятійний апарат заданої предметно-орієнтованої області, тобто медицини, а також сформульовану в термінах онтології ієрархічну мережу задач (цілей), що стоять перед ІСППР. Для цього може бути використано недавно розроблену і затверджену консорціумом W3C мову подання знань OWL2, що порівняно з попередньою версією OWL1 має суттєво більші виразні засоби

описової логіки (DL) [20]. Слід також зауважити, що однією з переваг використання антологій як інструменту дослідження є системний підхід до вивчення предметної області, який дає цілісне уявлення про цю область.

БЗ складається з набору штатних ситуацій S_i діяльності МЛДЦ, яка в якості МПЗ формується як нечітка ситуаційна мережа (НСМ) (рис.2). Штатні ситуації у вузлах НСМ S_i задається виразами (2), (3). Кожне можливе рішення R_{kl} визначається ступенем переваги цього рішення $\gamma_{kl}(S_i, R_{kl})$ над іншими, що визначається досвідченими експертами. НСМ є орієнтованим графом, який чітко показує можливі переходи від однієї штатної ситуації до іншої та ступінь переваги цих переходів.

Необхідно перевести штатну ситуації S_i в штатну ситуацію S_j з мінімальним сумарним значенням функцій переваг $\gamma_{ij}(S_i, R_{ij})$, що відображає часові або матеріальні витрати на перехід від S_i до S_j .

Якщо поточна ситуація практично відповідає деякій штатній, тобто має ступінь нечіткого включення більше α_{min} у формулі (4), то можливі переходи від однієї штатної ситуації до іншої бажаної. Оптимальний перехід від однієї штатної ситуації до іншої відповідає деякому критерію оптимальності (наприклад, мінімізації часу або матеріальних витрат на перехід та ін.) Для цього можна використовувати традиційні методи оптимізації, наприклад динамічне програмування [14,15].

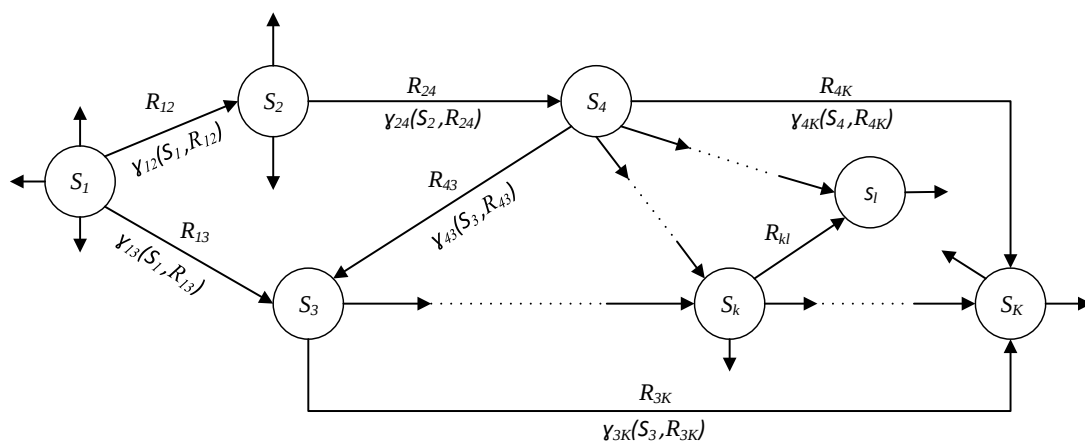


Рисунок 2. Нечітка ситуаційна мережа

Перехід до бажаної ситуації можливий, якщо поточна ситуація практично відповідає деякій штатній. В іншому випадку, якщо поточна ситуація не має ступінь нечіткого включення менше α_{min} у формулі (4), то ця поточна ситуація розглядається досвідченими експертами для приведення її в ранг нової штатної з ефективним оперативним рішенням. Таким чином, існуюча нечітка ситуаційна мережа може бути відкоригована, що забезпечує її еволюцію. Формування нової штатної ситуації пропонується здійснювати двома підходами. Зокрема один з них пропонується здійснювати на основі наведеного нижче вербально-числового методу оцінки альтернатив [22].

Найбільш істотна риса вербального аналізу рішень як наукового напрямку, що відрізняє його від інших відомих методологічних підходів теорії прийняття рішень, полягає у використанні нечислової (якісної) інформації. Іншими особливостями вербального аналізу рішень є отримання інформації від ОПр звичною йому мові; перевірка інформації від ОПр на несуперечність; забезпечення для ОПр можливостей поетапного формування переваг шляхом «проб та помилок»; логічне обґрунтування виду вирішального правила; можливість пояснення одержаного рішення.

У поєднанні з відомим науковим підходом теорії прийняття рішень МАУТ (*Multi-Attribute Utility Theory*) [21], основою реалізації вербального підходу до прийняття рішень є побудова функції корисності $U(A_i)$, що має аксіоматичне обґрунтування і вирішального правила для будь-яких гіпотетичних можливих альтернатив.

Запропонований нижче вербально-числовий метод оцінювання і пошуку потенційно кращої альтернативи відрізняється від відомих методів оцінювання ПАРК, ЗАПИТ, ОРКЛАС, ШНУР [22] тим, що вся множина альтернатив оцінюється відразу за всіма критеріями. В результаті, за наявності великої кількості альтернатив та критеріїв час їх оцінювання суттєво зменшується.

Вербально-числовий метод оцінювання альтернатив включає такі етапи.

Етап 1. Побудова множини гіпотез-основ $\{Z_i\}$, що відповідає множині критеріїв $\{K_i\}$, і множини гіпотез-наслідків $\{z_i\}$, що відповідає множині значень критеріїв.

Етап 2. Формування кількісної та лінгвістичної шкал критеріїв оцінки альтернатив. Для експертної оцінки може бути використаний стандартний 5-факторний класифікатор системи трапецієподібних функцій приналежності на нормованому інтервалі $[0,1]$ [12] (рис. 3).

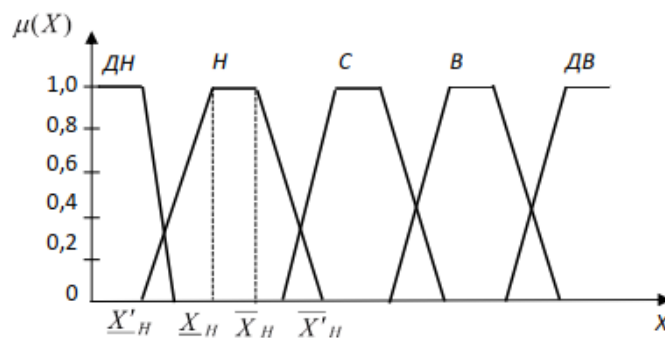


Рисунок 3. Нечітка змінна визначена трапецієподібною функцією приналежності: ДН – дуже низька; Н – низька; С – середня; В – висока; ДВ – дуже висока

Етап 3. Складання блочної структури анкети та її заповнення за гіпотезами-основами та гіпотезами-наслідками.

Етап 4. Нормалізація шкал критеріїв оцінки альтернатив.

Атрибути, які утворюють альтернативи A_i містять як числові (кількісні), так і лінгвістичні (якісні) змінні. Функція приналежності $\mu: x \rightarrow [0,1]$ кількісно градує

належність елементів множини альтернатив A_i до нечіткої множини $\tilde{A}$ з нормалізованими змінними, тобто $\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$. Серед найбільш використовуваних функцій приналежності є трапецієподібні функції [7,18]:

а) для *max-min* шкали переваги альтернативи A_i (зростаюча частина функції):

$$\begin{aligned}\mu_{ij} &= 0, \text{ якщо } x \leq a_{ij}; \\ \mu_{ij} &= \frac{x_{ij}-a_{ij}}{b_{ij}-a_{ij}}, \text{ якщо } a_{ij} < x < b_{ij}; \\ \mu_{ij} &= 1, \text{ якщо } x \geq b_{ij}\end{aligned}\quad (5)$$

де $a_{ij} = x_{\min ij}$; $b_{ij} = x_{\max ij}$.

б) для *min-max* шкали переваг альтернативи A_i (спадаюча частина функції):

$$\begin{aligned}\mu_{ij} &= 1, \text{ якщо } x \leq a_{ij}; \\ \mu_{ij} &= \frac{b_{ij}-x_{ij}}{b_{ij}-a_{ij}}, \text{ якщо } a_{ij} < x < b_{ij}; \\ \mu_{ij} &= 0, \text{ якщо } x \geq b_{ij}\end{aligned}\quad (6)$$

де $a_{ij} = x_{\min ij}$; $b_{ij} = x_{\max ij}$.

Нормування оцінок альтернатив, що порівнюються, виконується за формулами (5) та (6), де для всіх кількісних (або вербальних оцінок) визначається максимальне та мінімальне кількісне (або вербальне значення) заданої змінної.

Етап 5. Визначення потенційно кращої альтернативи.

Значення оцінок за нормованою шкалою за формулами (5) і (6) формуються наступним чином:

$$v_{ij} = \mu_{ij}, \quad (7)$$

де i – номер альтернативи, j – індекс значення кількісної або лінгвістичної шкали.

Тоді суму s -й альтернативи можна розрахувати шляхом додавання суми балів за кожне j -те питання, які підсумовуються за всіма питаннями i -го блоку та всіма блоками анкети:

$$r_s = \sum_{s=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k v_{ij} \quad (8)$$

У результаті можна сформулювати початкову множину альтернатив як упорядковану множину їх рангів $R = \{r_1, r_2, \dots, r_s, \dots, r_n\}$. Щоб врахувати важливість того чи іншого критерію (питання), у формулу (8) необхідно ввести вагові коефіцієнти, які можна визначити за відомими методами експертних оцінок [12]. Альтернатива з найвищим рангом згідно принципу Кондорсе є потенційно кращою.

Як альтернативу вербально-числовому методу пропонується схема механізму нечіткого логічного виведення потенційно кращих рішень з використанням ступенів достовірності та важливості знань, яка, на відміну від існуючих, дозволяє спростити вирішення проблеми багатоваріантності та кращої релевантності консеквента відповідному антецеденту продукційного правила. Тобто пропонується використовувати комбінований підхід на основі фреймової структури МПЗ з використанням продукційних

правил. Продукційні правила формують чітке і зрозуміле пояснення, що включає перелік ознак, з урахуванням яких формується варіант потенційно кращого рішення. Спосіб подання нечітких знань як нечітких продукційних правил є найбільш універсальним.

Згідно запропонованого вище комбінованого підходу до побудови МПЗ для ІСППР прийняття медичних рішень пропонується схема механізму нечіткого логічного виведення. Схема механізму нечіткого логічного виведення, основу якого становить композиційне правило Заде, показано на рис.5. Композиційне правило виведення Заде сформулюється наступним чином: якщо відомо нечітке відношення між вхідною x і вихідною y змінними, то при нечіткому значенні вхідної змінної $x = \tilde{A}$ нечітке значення змінної y визначається як: $y = \tilde{A} \circ R$, де $\circ$ – знак макси-мінної композиції. Для реалізації схеми механізму виведення нечіткої логіки в ІСППР задаються функції, які дозволяють обчислити:

- рівень невизначеності антецеденту в міру невизначеності його компонентів;
- рівень невизначеності наслідків за рівнем невизначеності правила;
- загальний рівень невизначеності твердження щодо заходів, виведених із правил.

Введення рівня невизначеності дозволить домогтися об'єднання ступенів достовірності C_n^k , факторів важливості знання I_n^l та кількох свідчень, що підтверджують або спростовують одну й ту саму гіпотезу. Слід зауважити, що реалізація механізму логічного виведення в базах знань впливає на загальну стратегію виведення: з одного боку, необхідно домогтися використання всіх релевантних факторів та правил, з іншого – досягти одноманітного та одноразового їх впливу на процес ухвалення рішення.

Ситуаційна невизначеність у предметній області, як множинний чинник прийняття рішення щодо можливості формалізації, має бути перенесена в площину математичних обчислень, що вдається зробити шляхом застосування основних принципів механізмів логічного виведення.

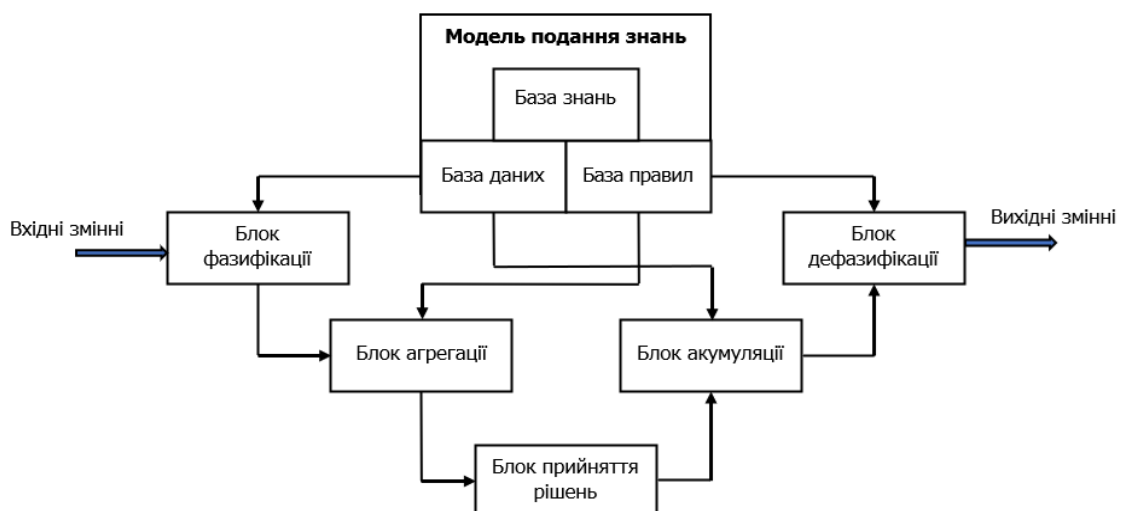


Рисунок 4. Схема механізму нечіткого логічного виведення

Відомо, що основними елементами фреймової МПЗ є наступні.

1. Узагальнена лінгвістична змінна фреймової МПЗ має такий вигляд:

$$\omega = (n, T(n), U, G, M), \quad (9)$$

де ω – лінгвістична змінна; $T(n)$ – терм-множина її значень, які є найменуваннями нечітких змінних; U – область визначення кожної нечіткої змінної; G – певна синтаксична процедура, що розширює множину $T(n)$ генерації нових елементів; M – спеціальна семантична процедура, що інтерпретує значення лінгвістичної змінної, які утворюються в результаті виконання процедури G , у нечітку змінну, тобто, формує відповідну нечітку множину.

2. Знання A_k фреймової МПЗ визначається наступним чином (приклад):

$$A_k = IF(\omega_1\mu_1(u)U_1AND \dots AND \omega_i\mu_i(u)U_i)THEN \omega_k\mu_k(u)U_k, \quad (10)$$

де ω – лінгвістична змінна; $\mu(u)$ – функція приналежності; U – область визначення $\mu(u)$.

3.Рішення

$$R = \{A_1, A_2, \dots, A_k\} \text{ (як множина знань } A_k\text{)}. \quad (11)$$

Кожній узагальненій лінгвістичній змінній, визначеній на множині значень вхідних параметрів однозначно ставитимемо у відповідність елементи множини факторів достовірності C_n^k та елементи множини факторів важливості знання I_n^l . Значення A_k визначає експерт і формалізує інженер зі знання, (k і l – відповідно, підмножини в межах множини факторів n), причому:

$$C_n^k, I_n^l = (0,1]. \quad (12)$$

Оскільки у багатьох предметних областях медицини, зокрема діагностиці, присутні явні нечіткі причинно-наслідкові зв'язки, більш простим і ефективним варіантом побудови МПЗ є комбінований підхід на основі фреймової структури моделі знань з використанням продукційних правил, який передбачає такий спосіб організації обчислювального процесу, за якого програма перетворення інформаційної структури МПЗ задається у вигляді системи продукційних правил виду: «Умова (*Antecedent*) → Наслідок (*Consequent*)» [11]. Продукційні правила полегшують пояснення та результати отриманих висновків і розрахунків. Вибір розв'язку задається у вигляді множини нечітких лінгвістичних висловлювань, виду:

$$A = (IF(\alpha_1 THEN \beta_1)AND \dots AND (\alpha_i THEN \beta_j), \quad (13)$$

де α_i – узагальнена лінгвістична змінна, визначена на множині значень вхідних параметрів; β_j – узагальнена лінгвістична змінна, визначена на множині значень вихідних параметрів.

У цьому випадку механізм логічного виведення визначає залежність β від α з урахуванням двох чинників: достовірності C_n^k та важливості знання I_n^l .

На рис. 5 наведено схему прийняття потенційно кращих рішень із застосуванням ІСППР, побудовану на основі онтологічної бази знань, де як МПЗ застосовано нечітку ситуаційну мережу або Продукційні правила.

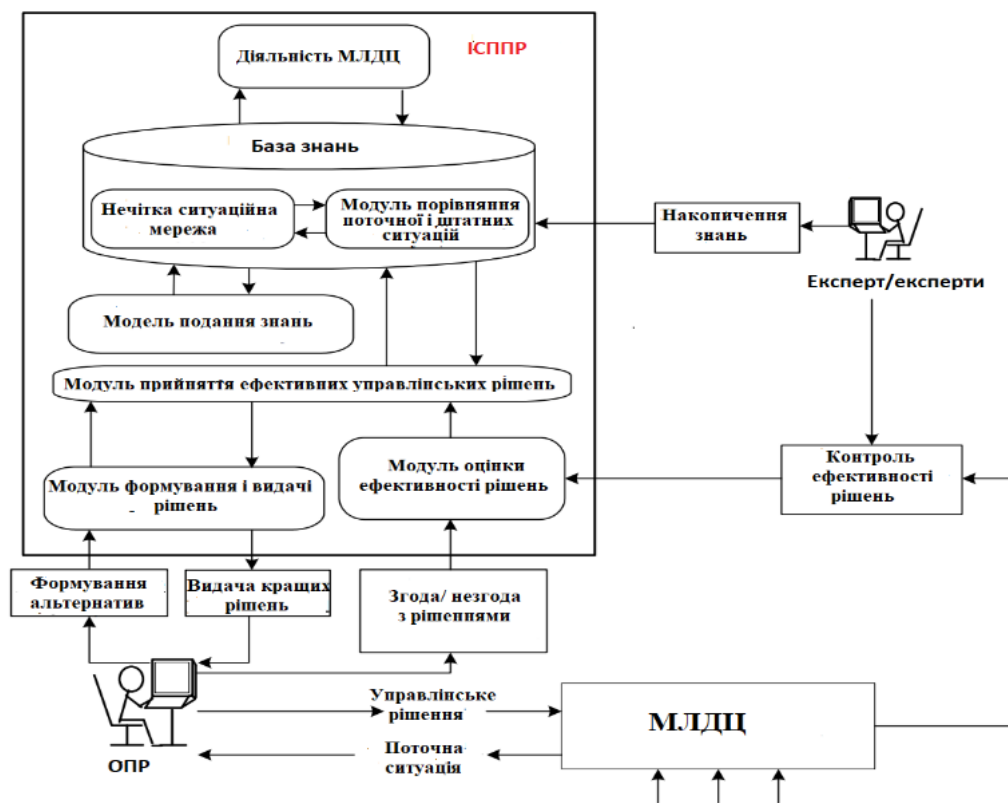


Рисунок 5. Схема прийняття потенційно кращих рішень на основі ІСППР

ІСППР виконує формування альтернатив розв'язків (пошук можливих варіантів розв'язків) та оцінювання альтернатив (порівняння варіантів), а також представлення знайдених оцінок альтернатив варіантів розв'язків. Прийняття остаточного рішення залишається за особою, яка приймає рішення. При цьому запропонована ІСППР передбачає моніторинг ефективності прийнятих ІСППР рішень.

Однією з переваг використання онтології як інструменту дослідження є системний підхід до вивчення предметно-орієнтованої області. У цьому випадку досягається цілісне уявлення про предметно-орієнтовану область; одноманітність матеріалу, що полегшує процес сприйняття інформації; повнота відображення – побудова онтології дозволяє охопити також відсутні логічні зв'язки між поняттями предметно-орієнтованої області.

Висновки

У даній статті вирішується проблема прийняття потенційно кращих рішень щодо поточного стану пацієнтів МЛДЦ. Проблема прийняття потенційно кращих рішень при виникненні позаштатних ситуацій щодо стану пацієнтів пов'язана з наявністю великого обсягу інформації, її невизначеністю та суперечливістю. Цю проблему пропонується вирішувати за допомогою інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, побудованої на основі онтологічної бази знань з використанням нечіткої ситуаційної мережі. Даний підхід дозволяє знайти ефективне рішення як при переході від однієї штатної ситуації до іншої бажаної, так і знайти ефективне рішення при виникненні

позаштатної поточної ситуації. Для вирішення завдання оцінки та вибору потенційно кращого рішення запропоновано вербально-числовий метод оцінок альтернатив, що дозволяє на відміну від існуючих методів автоматизувати та суттєво прискорити процедуру пошуку потенційно кращого рішення. Також пропонується схема механізму нечіткого логічного виведення потенційно кращих рішень з використанням ступенів достовірності та важливості знань, яка дозволяє на відміну від існуючих спростити вирішення проблеми багатоваріантності та кращої релевантності консеквента відповідному антецеденту продукційного правила. Тобто пропонується використовувати комбінований підхід на основі фреймової структури МПЗ з використанням продукційних правил. Продукційні правила видають зрозуміле пояснення, що включає перелік ознак, з урахуванням яких формується варіант потенційно кращого рішення. Спосіб подання нечітких знань як нечітких продукційних правил є найбільш універсальний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Коваленко О.Є.* Моделювання навантаження мережної інфраструктури систем ситуаційного управління / Математичні машини і системи. – 2019. – № 2. – С.101-110.
2. *Данько В. В.* Удосконалення системи управління закладами охорони здоров'я на інноваційних засадах / Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Економіка і управління. – 2019. – Т. 30(69), № 2. – С. 102-110
3. *Конєва І. І., Конєва А. О.* Інноваційна діяльність закладів охорони здоров'я як об'єкт управління. / Матеріали П'ятої Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Управління розвитком соціально-економічних систем». Харків: ХНТУСГ. – 2021. – С. 85-87.
4. *Zelezniak J., Nolan J.R.* Using soft computing to build real world intelligent decision support systems in uncertain domains / Decision Support Systems. – 2001. – Vol. 31, Issue 2. – P. 263-285. DOI.ORG/10.1016/S0167-9236(00)00135-4.
5. *Бідюк П.І., Коршевич Л.А.* Розроблення структури системи підтримки прийняття рішень в управлінні підприємством. / Матеріали міжнародної конференції «Автоматика – 2001». – Одеса: ОДПУ. – 2001. – Т.2. – С. 49-51.
6. *Alter S. L.* Decision support systems: current practice and continuing challenges. / Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub.– 1980.– 120 p.
7. *Bonczek R. H.* Foundations of Decision Support Systems / BC., Whinston– New York: Academic Press/ – 1981. – 453p.
8. *Holsapple C.W.* Whinston Decision Support Systems (a knowledge based approach). / New York: West Publishing Company. – 2003. – 860 p.
9. *Литвин В.В., Даревич Р.Р., Досин Д.Г.* Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень на основі адаптивних онтологій / Штучний інтелект. – 2011. – №3. – С. 388-395.
10. *Trofimchuk O., Stenin A., Soldatova M., Drozdovich I.* Intelligent decision support systems in the development of megapolis infrastructure. / System research and information

technologies, NTUU KPI. –2022.– №2. – Р. 61-74 DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.04

11. *Кравець П., Киркало Р.* Системи прийняття рішень з нечіткою логікою / Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2009. –№ 650. – С. 115 – 123.

12. *Малярець Л. М.* Математичні методи і моделі в управлінні економічними процесами : монографія /, Є. Ю. Місюра, В. В. Койбічук та ін. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця. – 2016. – 420 с.

13. *Мунтян М.Л., Мунтян О.А., Яровенко А.Г.* Проектування спеціалізованих медичних систем підтримки прийняття лікарського рішення. – ЛОГОС. Мистецтво наукової думки. – 2020. – №9. – С.41-43. DOI 10.36074/2617-7064.09.009.

14. *Івченко І.Ю.* Математичне програмування: Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури. – 2007 – 232 с.

15. *Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C.* Introduction to Algorithms. Third Edition. / The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England. – 2009. – 1223 p.

16. *Ostrovskaya K.* Further research into methods of intelligent data analysis for processing test results. System technologies. 2020. No. 4(129). – P.146-157. DOI 10.34185/1562-9945-4-129-2020-1.

17. *Zagorulko G.B.* Model of comprehensive support of intelligent DSS development / Ontology of Designing. – 2019. – №9(4). – P.63-80. DOI:10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.

18. *Литвин В. В., Висоцька В. А., Досин Д. Г., Гіряк М. Г.* Розроблення методів та засобів побудови інтелектуальних систем опрацювання інформаційних ресурсів з використанням онтологічного підходу / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2015. – № 832. – С. 295-314.

19. *Литвин В.В.* Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / Львів : Видавництво Львівської політехніки. – 2011. – 240 с.

20. *Розушина Ю.В.* Використання систем організації знань на основі онтологій у Wiki-ресурсах / Проблеми програмування. – 2022.–№ 1. – С.23-33. DOI.ORG/10.15407/PP2022.01.23.

21. *Dyer J. S., Figueira J. R., Greco S., Ehrogott M. Maut* — Multiattribute Utility Theory / Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. – 2005. – P.265-292. DOI:10.1007/0-387-23081-5_7.

22. *Kochin D., Ustinovichus L., Sliesoraityte I.* Verbal decision making analysis / Technological and Economic Development of Economy. – 2004. – №10(1) – P.32-39. DOI:10.3846/13928619.2004.9637650.

23. *Kaklauskas A.* Intelligent Decision Support Systems. / Biometric and Intelligent Decision Making Support. Intelligent Systems Reference Library. Vilnius Gediminas Technical University. – 2015. –P.31-85. DOI: 10.1007/978-3-319-13659-2_2.