

УДК 004.891.3+681.5

А. І. Поворознюк, О. А. Поворознюк, Г. Р. Мумладзе

## ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ДІАГНОСТИЧНО-ЛІКУВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ У МЕДИЦИНІ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Анотація. Формалізовано етапи діагностично-лікувальних заходів при розробці комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень в медицині. Для комплексної оцінки етапів діагностично-лікувального процесу з метою мінімізації ризиків лікарських помилок, виконується перехід з традиційного простору діагностичних ознак в простір лікарських дій. Аналіз діагнозів в просторі лікарських дій дозволив розробити метод ієрархічної кластеризації діагнозів в просторі лікарських дій і корекцію порогів в діагностичному вирішальному правилі.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, прийняття рішення, діагностика, лікування, лікарська дія, лікарська помилка, діагностична ознака, вирішальне правило.

Аннотация. Формализованы этапы диагностико-лечебных мероприятий при разработке компьютерных систем поддержки принятия решений в медицине. Для комплексной оценки этапов диагностико-лечебного процесса с целью минимизации рисков врачебных ошибок выполняется переход из традиционного пространства диагностических признаков в пространство врачебных действий. Анализ диагнозов в пространстве врачебных действий позволил разработать метод иерархической кластеризации диагнозов в пространстве врачебных действий и коррекцию порогов в диагностическом решающем правиле.

**Ключевые слова:** компьютерная система, принятие решения, диагностика, лечение, врачебное действие, врачебная ошибка, диагностический признак, решающее правило.

Abstract. The Formalized stages diagnostic-medical process at development computer decision support system in medicine. Transition from the traditional space of marks to the medical action space is offered to minimize the risk. The use of hierarchical clustering with the criterion of minimum aggregate relations (the search for the minimum cut) in the medical action space for the synthesis of the decision tree provides minimum risk of decision-making in integrated assessment of diagnostic and medical action.

**Key words:** computer system, decision making, diagnosis, treatment, medical action, doctor mistake, diagnostic sign, solving rule.

### Вступ

Комплекс діагностично-лікувальних заходів (ДЛЗ) складається з двох взаємопов'язаних етапів: діагностики захворювань і лікування виявлених патологій, причому після діагностики і призначення лікувальних процедур необхідний моніторинг поточного стану пацієнта з метою оцінки ефективності процесу лікування та, при необхідності, його корекції. Для лікування того чи іншого захворювання необхідно надання певних лікарських дій (ЛД) на організм пацієнтів (хірургічне втручання, фармакологічний, лікувально-терапевтичний вплив, реабілітаційні заходи).

На кожному із зазначених етапів лікар, як особа, що приймає рішення, виконує управлінське рішення в умовах дефіциту початкових даних і істотної апріорної невизначеності, ґрунтуючись на своїй кваліфікації, досвіді та інтуїції. При цьому прийняття неправильного рішення (лікарська помилка) як на етапі діагностики, так і на етапі лікування може мати катастрофічні наслідки для здоров'я пацієнта. Термін «лікарська помилка» (ЛП) визначає неправильну діагностику хвороби або неправильні ЛД, які обумовлені добросовісною помилкою лікаря, при цьому виключається недбалість і несумлінність при виконанні своїх обов'язків. Причиною помилки діагностики є недостатній обсяг діагностичних даних (застосування застарілого обладнання або недостатня кваліфікація лікаря, який призначав список обстежень), або їх невірна інтерпретація (особливо при суб'єктивному аналізі якісних показників).

Причиною неправильних ЛД при правильному діагнозі є недостатнє врахування індивідуальних особливостей пацієнта (алергічні реакції на певні препарати, список хвороб, якими вже хворів пацієнт, які ліки приймав і т.д.).

В даний час є широкий спектр комп'ютерних діагностичних систем в різних предметних областях медицини [1], в яких використовуються різноманітні математичні методи підтримки прийняття рішення (детермінована логіка [2], імовірнісний похід [3], нечітка логіка [4], нейронні мережі [5] і т.д.) і сучасні інформаційні технології, включаючи телемедицину [6-8]. Так як значна частина діагностичної інформації містять біомедичні сигнали і зображення, то методам їх обробки з метою визначення діагностичних ознак приділяється велика увага [9-10]. Інформатизація ЛД обмежується медичними довідниками, в тому числі у вигляді інформаційно-пошукових систем [11]. У сучасних комп'ютерних системах підтримки прийняття рішень в медицині завдання діагностики і ЛД розглядаються незалежно один від одного, при діагностиці мінімізується ризик неправильної постановки діагнозу без урахування етапу лікувальних заходів, тому актуальною є задача мінімізації ризику ЛП при комплексній оцінці всіх етапів ДЛЗ.

### Мета

Розробка інформаційних технологій комплексної оцінки етапів ДЛЗ з метою підвищення їх ефективності та мінімізації ризику лікарських помилок. Для досягнення поставленої мети у разі переходу з традиційного простору ознак у простір ЛД, який дозволив вирішити такі завдання:

- мінімізувати ризики неправильного прийняття рішення на етапі діагностики з урахуванням їх наслідків на етапі ЛД при синтезі дерева рішення;
- розробити метод корекції порогів інтервалу невизначеності в діагностичному вирішальному правилі.

### Формалізація і інформаційна технологія реалізації етапів ДЛЗ

У формалізованому вигляді завданням діагностики є класифікація стану  $i$ -го пацієнта  $D_i$  при аналізі вектора діагностичних ознак  $X_i$ . ЛД представляються моделлю  $M_a = \langle T_p, F, SI \rangle$ , де  $M_a$  – множина ЛД;  $T_p = \{t_{pi}\}$  – множина терапевтичних дій (ТД),  $F = \{f_i\}$  – множина фармакологічних дій (ФД),  $SI = \{si_i\}$  – множина видів хірургічного втручання.

Призначення ЛД при відомому  $D_i$  складається з визначення їх типу ( $T_p, F, SI$ , або їх комбінацій) і переліку конкретних дій. Вибір типу ЛД є завданням багатокритеріального вибору альтернатив, для вирішення якої використовується метод аналізу ієрархій (MAI) [12]. Для кожного з допустимих для даного діагнозу  $D_i$  типу ЛД формується підмножина необхідних ЛД, після чого визначається їх реалізація з урахуванням індивідуальних особливостей пацієнта, протипоказань до окремих ЛД і багатокритеріального вибору аналогів.

В [13] формалізовані наступні етапи перетворення інформації в комп'ютерних системах підтримки прийняття рішень в медицині:  $F1: x(t) \rightarrow X$ ,  $F2: x(j, k) \rightarrow X$  – структурна ідентифікація біосигналів і медичних зображень відповідно;  $F3: D \rightarrow S_D$  – синтез ієрархічної структури діагностованих станів (дерево рішень);  $F4: X \rightarrow S_z$  – синтез структури діагностичних ознак;  $F5: X_i \rightarrow D_i$  – синтез діагностичних вирішальних правил (ВП) при взаємодії  $S_D$  и  $S_z$ .

Аналогічним чином запишемо етапи перетворення інформації на етапі ЛД:  $F6: D_i \rightarrow ma_{D_i}$  – визначення підмножини необхідних ЛД при відомому  $D_i$ ;  $F7: ma_{D_i} \rightarrow Y_i$  – реалізація ЛД.

Для комплексної оцінки етапів ДЛЗ і мінімізації ризиків ЛП розглянемо більш докладно перетворення  $F3$  и  $F5$ . Перетворення  $F3$  виконується процедурою ієрархічної кластеризації множини діагностованих станів  $\{D_i\}_n$  за критерієм мінімуму помилки кластеризації в просторі ознак  $X$ . Результатом перетворення є бінарне дерево рішень  $S_D$ , коренем якого є повна множина діагнозів  $\{D_i\}_n$  в заданій предметній області, в гілках розташовуються кластери діагнозів, а листями є окремі діагнози. В процесі діагностики  $i$ -го пацієнта при відомому векторі  $X_i$  відбувається рух по дереву рішень, в кожній  $k$ -й вершині якого виконується диференційна діагностика станів  $D_q$  и  $D_l$ , шляхом обчислення ВП і прийняття рішення на користь  $D_q$  або  $D_l$ . Ризики неправильного прийняття рішення на етапі діагностики:  $\alpha$  – помилка першого роду і  $\beta$  – помилка другого роду, визначаються розташуванням еліпсоїдів розсіювання об'єктів навчальної вибірки в просторі ознак  $X_i$  без урахування їх впливу на етап вибору необхідних ЛД і їх подальшої реалізації.

Для мінімізації ризику неправильних медичних заходів, які виникають при помилковій діагностиці, шукається залежність між помилкою при діагностиці ( $D_q$  замість  $D_l$ ), і їх наслідками при реалізації ЛД ( $Y_q$  замість  $Y_l$ ). Так як реалізація ЛД повинна забезпечити множину необхідних ЛД  $Y_q \rightarrow ma_{D_q}$ , а  $Y_l \rightarrow ma_{D_l}$ , то ризик в кінцевому підсумку визначається різницею компонент множин  $ma_{D_q}$  и  $ma_{D_l}$ , і для його мінімізації в роботі пропонується перехід від традиційного простору ознак  $X$  у простір ЛД  $M_a$ . У найпростішому випадку компоненти  $ma_i \in M_a$  представляються бінарними змінними (0 – відсутня, 1 – присутня), тоді кожен діагностуємий стан  $D_i$  в просторі ЛД представляється точкою в  $i$ -й вершині гіперкуба.

Тому в данному випадку для виконання кластеризації діагностуємих станів в просторі  $M_a$  зручно представити структуру  $D_i$  потоковою моделлю [14], в якій кожний  $D_i$  представляється вершиною повнозв'язного графа, а кожній дузі графа приписується певні числові значення, які характеризують ступінь близькості між двома вершинами.

Так як ЛД є дихотомічними величинами, то в якості міри близькості вибрано зважену відстань Хеммінга :

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^g w_{ij} |ma_{ki} - ma_{kj}|. \quad (1)$$

де  $ma_{ki}, ma_{kj} \in [0,1]$  –  $k$ -е ЛД  $i$ -го і  $j$ -го діагнозів відповідно;  $g$  – розмірність простору  $M_a$ ;  $w_{ij}$  – коефіцієнт, який забезпечує збільшення відстані, в разі присутності конфліктуючих ЛД.

Застосування ієрархічної кластеризації за критерієм мінімуму сумарної зв'язку (пошук мінімального розрізу) в просторі  $M_a$  для синтезу дерева рішень  $S_D$  забезпечує мінімум ризику прийняття рішення при комплексній оцінці ДЛЗ.

Для реалізації імовірнісного ВП (перетворення  $F5$ ) в роботі реалізується метод синтезу уточнюючого діагнозу [1], який є модифікацією методу послідовного аналізу (методу Вальда) і заснований на аналізі взаємодії ієрархічних структур діагностичних ознак  $S_D$ . На кожному  $i$ -му етапі ВП, при диференційній діагностиці між двома станами  $D_q$  і  $D_l$ , аналізується чергова ознака  $x_i$  і вираховується відношення правдоподібності

$$\Theta = \prod_i \frac{P(x_{ik} / D_q)}{P(x_{ik} / D_l)} . \quad (2)$$

яке порівнюється з порогами  $\Theta > A$ ,  $\Theta < B$ , де  $A$  і  $B$  – верхній і нижній пороги інтервалу невизначеності, необхідні для прийняття рішення.

При виконанні однієї з умов приймається рішення про діагноз  $D_q$  або  $D_l$  відповідно і виконується перехід на більш низький рівень ієрархії діагнозів з метою уточнення діагнозу. При невиконанні обох нерівностей необхідно додати наступну  $i + 1$  ознаку і процедура повторюється.

У послідовному аналізі межі прийняття рішень  $A$  і  $B$  пов'язані з помилками класифікацій  $\alpha$  і  $\beta$  наступними відносинами :

$$A = \frac{1-\beta}{\alpha} ; B = \frac{\beta}{1-\alpha} . \quad (3)$$

Слід зазначити, що в (2, 3), умовні імовірності і помилки  $\alpha$  і  $\beta$  визначаються в просторі ознак. Для комплексної оцінки ризиків лікарських помилок, які виникають на обох етапах ДЛЗ, в роботі пропонується метод корекції порогів інтервалу невизначеності  $[A, B]$ , враховуючи помилки, які виникають на етапі реалізації ЛД. Якщо прийняти  $\alpha = 0$  і  $\beta = 0$  – детермінований зв'язок, при якому еліпсоїди розсіювання класів  $l$  і  $q$  не перетинаються, то отримуємо:  $A = (1-0)/0 = \infty$ ,  $B = 0/(1-0) = 0$ .

Розглянемо діапазони зміни  $[A, B]$ . У разі збігу багатовимірних функцій розподілу класів (класи неможливо розділити)  $\alpha = \beta = 0,5$ .  $A = (1-0,5)/0,5 = 1$ ,  $B = 0,5/(1-0,5) = 1$ .

У просторі ЛД помилки  $\alpha$  і  $\beta$  однозначно визначаються мінімальним розрізом  $R_i$  в кожному  $i$ -му вузлі дерева рішень, що складається з  $n_i$  діагностованих станів. Значення  $R_i$  визначається як сумарна вага дуг, які належать мініальному розрізу графа  $D_i$  на підграфи  $D_q$  і  $D_l$  :

$$R_i = \sum_j \sum_k r_{jk}, j \in D_q, k \in D_l . \quad (4)$$

Слід зазначити, що  $r_{jk}$  враховують вагові коефіцієнти в (1), і є асиметричними, тобто  $r_{jk} \neq r_{kj}$ . Нормоване значення  $\bar{R}_i$  виражається формулою:  $\bar{R}_i = R_i / \sum_j \sum_k r_{jk}$ , де  $R_i$  визначається по (4), а в знаменнику сумарна вага усіх дуг повнозв'язного графа із  $n_i$  вершин.

Отриманне  $\bar{R}_i$  змінюється в діапазоні  $[0, 1]$  : якщо  $\bar{R}_i = 0$ , то два стани  $D_q$  і  $D_l$  в просторі ЛД не розрізняються (два діагнози не відрізняються методами лікування, тому навіть максимальна помилка не призводить до лікарської помилки, тобто  $\alpha = \beta = 0,5$ ). Якщо  $\bar{R}_i = 1$ , то  $D_q$  і  $D_l$  максимально відрізняються один від іншого (вершини знаходяться на головній діагоналі гіперкуба), і до помилок кластеризації необхідно застосовувати найжорсткіші вимоги, тобто  $\alpha = \beta = 0$ .

Виходячи з вище викладеного, знаходиться зв'язок між  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\bar{R}_i$  :

$$\alpha = 0,5(1 - \bar{R}_{ql}) \quad \beta = 0,5(1 - \bar{R}_{lq}) . \quad (5)$$

Визначені за допомогою (5) похибки задають пороги  $A$  і  $B$ , які визначаються по (3) та використовуються в ВП (2).

### Багатокритеріальне призначення лікарських препаратів

З огляду на те, що в якості ВД для більшості патологій застосовується медикаментозне лікування, розглянемо більш докладно реалізацію ЛД для даного випадку, тобто  $ta_i = f_i$ . В результаті перетворення  $F6$  формується множина необхідних фармакологічних дій  $f_{D_i}$ , які спрямовані як на ліквідацію причин

захворювань (антивірусні, антибактеріальні та інші), так і на ліквідацію симптомів (жарознижуючі, нормалізації тиску, серцевого ритму і т.д.).

Перетворення  $F7$  вирішує задачу формування комплексу лікарських препаратів (КЛП) з урахуванням  $f_{D_i}$  і індивідуальних особливостей  $i$ -го пацієнта. У формалізованому вигляді зазначена задача є задачею формування множини лікарських препаратів  $Y_i = \{y_1, \dots, y_{n_i}\}$ , які забезпечують процес одужання  $i$ -го пацієнта (перехід зі стану  $D_i$  в стан  $D_0$  – практично здоровий), при оптимізації інтегрального критерію якості процесу реабілітації

$$Q = \min(t, C, \alpha, \beta), \quad (6)$$

де  $t$  – час процесу реабілітації;  $C$  – вартість процесу реабілітації;  $\alpha, \beta$  – ризики негативних наслідків застосування лікарських препаратів під час процесу лікування і в після-реабілітаційний період.

Кожен лікарський препарат  $y_i$  характеризується вектором фармакологічних дій  $F_{y_i} = \{f_1, \dots, f_{m_i}\}$  і вектором характеристик  $S_{y_i} = \{s_1, \dots, s_r\}$ , кожен компонент якого використовується як локальний критерій при багатокритеріальному порівнянні препаратів-аналогів (ефективність, доступність, ціна, бренд виробника, ризики побічних дій і т.д.). Взаємодія окремих препаратів  $y_k$  і  $y_l$  характеризується показником  $V_{kl}$  ( $V_{kl} = 0$  – препарати  $y_k$  і  $y_l$  не взаємодіють;  $V_{kl} > 0$  – препарати  $y_k$  і  $y_l$  посилюють дію один одного;  $V_{kl} < 0$  – препарати  $y_k$  і  $y_l$  послаблюють дію один одного, а в граничному випадку  $V_{kl} = -1$  – їх спільне застосування неприпустимо). Крім того, у кожного  $i$ -го пацієнта може спостерігатися індивідуальна непереносимість до окремих препаратів.

При формуванні КЛП необхідно сформувати підмножину  $Y_i = \{y_1, \dots, y_{n_i}\}$ , при виконанні умови  $\forall k, l V_{kl} \geq 0, k, l = \overline{1, N}$ , де  $N$  – загальне число доступних препаратів, спільна фармакологічна дія яких  $F_{y_1} \cup \dots \cup F_{y_i} \cup \dots \cup F_{y_{m_i}}$  покриває множину необхідних фармакологічних дій для пацієнта  $F_{D_i}$ . Варіантів такого покриття може бути багато, але треба забезпечити таке покриття, яке мінімізує критерій якості  $Q$ .

Так як перетворення  $F7$  служить для формування декількох рішень (вектор  $Y_i$ ), то для їх реалізації використовується модифікована дискретна штучна нейронна мережа (ШНМ) адаптивної резонансної теорії – ART-1 [15], у якій до базової архітектури ART-1 доданий шар реєструючих нейронів з метою отримання декількох рішень.

Розроблено алгоритм навчання і формування множини рішень ШНМ в  $F1$  і  $F4$ , а також алгоритм настроювання ваг зв'язків реєструючого шару, які відповідають глобальним пріоритетам  $q_k$  препаратів-аналогів  $y_k$ , отриманим на основі обробки експертних оцінок (парних порівнянь щодо системи локальних пріоритетів) препаратів-аналогів за МАІ [15].

### Програмна реалізація

В якості основної платформи обґрунтований вибір Java [16], в якій забезпечується можливість розгортання системи в різних апаратно-програмних середовищах, непропріетарний характер платформи, наявність безлічі відкритих бібліотек, підтримуваних спільнотою розробників. Проектування архітектури виконувалося з використанням шаблонів проектування [17]. В архітектурі системи виділені три основних модуля: модуль взаємодії з користувачем, базу даних (БД), що включає в себе базу знань (БЗ) і модуль побудови знань.

Модуль взаємодії з користувачем представлений графічним інтерфейсом користувача і дозволяє здійснювати збір даних обстежень, адміністративних даних, а також даних наданих експертами, які використовуються при формуванні знань системи.

При цьому визначені наступні типи користувачів: адміністратор, лікар-експерт і лікар-користувач. Адміністратор визначає, якими повноваженнями наділити іншим користувачів, проте не має можливості самостійно вносити зміни в БД і БЗ, а також проводити верифікацію рішення системи, оскільки не є лікарем.

Найбільшими повноваженнями володіє лікар-експерт. Він має можливість не тільки переглядати, але і коректувати БД (видаляти, змінювати дані), вносити зміни в БЗ, а також коригувати рішення системи. Однак, основне завдання експерта – це формування БЗ. Користувач-лікар має можливість лише переглядати БД і, ввівши індивідуальні дані пацієнта, отримати рішення системи щодо діагнозу та списку рекомендованих препаратів. Крім того, йому надається можливість вносити зміни в отримане рішення, виконавши його верифікацію. Залежно від типу користувача змінюється і інтерфейс системи.

Модуль побудови знань відповідає за формування фреймів знань, представлених ієрархічною структурою  $S_D$ , параметрами ВП, множинами  $f_{di}$ , описами лікарських препаратів, експертними оцінками щодо локальних і глобальних пріоритетів препаратів-аналогів.

Розгортання системи можливо на одному або на різних серверах з кластеризацією найбільш навантажених модулів, а також конфігурація балансувальника навантаження (loadbalancer).

Працездатність і ефективність роботи системи підтверджується її тестуванням на реальних медичних даних. Підсистема діагностики тестувалася з використанням навчальної вибірки з 400 пацієнтів. В якості предметної області вибрано захворювання крові, задано 4 класи по 100 пацієнтів в кожному ( $D_0$  – умовно здорові,  $D_1$  – залізодефіцита анемія,  $D_2$  – анемія внаслідок нестачі білків,  $D_3$  – анемія внаслідок ферментних порушень). Діагностичними ознаками являються 13 показників клінічного аналізу крові. Середня достовірність комп'ютерного діагнозу – 96,5%.

Підсистема призначення лікарських препаратів тестувалася з використанням навчальної вибірки з 194 пацієнтів. Предметна галузь медицини – дерматологія. Діагностика ведеться по 3 основним діагнозом (псоріаз, екзема, лікарська хвороба), при цьому 117 пацієнтів мають супутні захворювання.

Зазначені діагнози (основні і супутні) відповідають 41 фармакологічній дії [18]. Для реалізації зазначених фармакологічних дій, в БД лікарських засобів, відповідно до [11] внесено 340 лікарських препаратів. Сформована БЗ експертних оцінок і параметрів ШНС. Результати верифікації рішень системи щодо КЛП лікарем-користувачем наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати верифікації рішень системи

Основний діагноз	N	N1	Верифікація результатів лікарем-користувачем			
			підтвердив		коригував	
			од.	%	од.	%
Псоріаз	116	68	99	85	17	15
Лікарська хвороба	45	27	40	89	5	11
Екзема	33	22	29	88	4	12
Всього	194	117	168	87	26	13

\* позначення в табл. 1 : N – Загальне число пацієнтів, N1 – з них мають супутні захворювання.

#### Обговорення результатів

Таким чином, в 87% проведених експериментів лікар погодився з рішенням системи. Якщо ж лікар не згоден з рішенням системи і виконує його корекцію, то в системі передбачений режим навчання ШНС з учителем, який дозволяє системі "підлаштовуватися" під думка лікаря.

В умовах розглянутого прикладу (діагноз – псоріаз, пацієнт належить третій групі) по дезінтоксикаційній терапевтичній дії з усіх препаратів-аналогів, які володіють цією дією, системою був обраний реосорбілакт. При цьому глобальні пріоритети препаратів-аналогів наступні: неогемодез – 0,199; реосорбілакт – **0,343**; ентеросгель – 0,104; кардонат – 0,188; магнію сульфат – 0,183.

Припустимо, лікар не згоден з таким рішенням системи, і із запропонованих йому препаратів-аналогів вибирає кардонат. Встановивши значення навчального коефіцієнта  $\alpha = 0,1$  за виразом

$$g_j^{new} = (g_j + \alpha q_j) / (1 + \alpha), \quad j = \overline{1, n1}, \quad (7)$$

визначаються нові значення глобальних пріоритетів препаратів, тобто вагових коефіцієнтів нейронної мережі: неогемодез – 0,181; реосорбілакт – **0,312**; ентеросгель – 0,095; кардонат – 0,262; магнію сульфат – 0,166.

Якщо лікар знову підтверджує свій вибір, тобто знову вибирає кардонат, то значення вагових коефіцієнтів нейронної мережі матимуть вигляд: неогемодез – 0,165; реосорбілакт – 0,284; ентеросгель – 0,086; кардонат – **0,329**; магнію сульфат – 0,151.

Таким чином, вже після двох кроків навчання система буде вибирати саме той препарат, на призначенні якого наполягає лікар.

Залежно від значення навчального коефіцієнта варіюється "швидкість" навчання системи. Наприклад, при  $\alpha = 0,02$  в умовах розглянутого прикладу навчання пройде за сім кроків (за умови, що лікар підтверджує свій вибір). Таким чином, значення навчального коефіцієнта визначає ступінь довіри до даного лікаря-користувача, який проводить верифікацію рішення системи. У граничному випадку, коли  $\alpha = 0$ , система взагалі не буде орієнтуватися на думку лікаря.

### Висновки

Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття рішень при проведенні ДЛЗ на основі формалізації етапів проведення ДЛЗ при їх комплексній оцінці, що дозволяє мінімізувати ризики лікарських помилок, підвищити достовірність і обґрунтованість рішень.

Для комплексної оцінки етапів діагностично лікувального процесу з метою мінімізації ризиків лікарських помилок виконується перехід з традиційного простору діагностичних ознак в простір лікарських дій.

Аналіз діагнозів в просторі лікарських дій дозволив вирішити наступні задачі: мінімізувати ризики неправильного прийняття рішення на етапі діагностики з урахуванням їх наслідків на етапі ЛД при синтезі дерева рішення; розробити метод корекції порогів інтервалу невизначеності в діагностичному вирішальному правилі.

Виконана програмна реалізація її тестування на реальних медичних базах даних. Архітектура програмного забезпечення системи дозволяє легко адаптуватися до різних предметних галузей медицини. Подальші дослідження спрямовані на використання більш складного представлення лікарських дій, включаючи при необхідності рангові і числові компоненти, формуючи відповідний простір при реалізації інших видів лікарських дій (хірургічне втручання, лікувально-терапевтичний вплив, реабілітаційні заходи).

### Список літератури

1. Поворознюк А. И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил / А. И. Поворознюк – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 314 с.
2. Кобринський, Б. А. Ретроспективний аналіз медичних експертних систем / Б. А. Кобринський // Новини штучного інтелекту. – 2005. – № 2. – С. 6–18.
3. Sadegh-Zadeh K. The Logic of Diagnosis / K. Sadegh-Zadeh // Philosophy of Medicine – 2011. – P. 357–424.
4. Innocent P.R. Fuzzy Methods and Medical Diagnosis / P.R. Innocent, R.I. John, J.M. Garibaldi // The Centre for Computational Intelligence Department of Computer Science De Montfort University, Leicester, UK. – 2004. – С. 4–17.
5. Ceylana R. A novel approach for classification of ECG arrhythmias: Type-2 fuzzy clustering neural network / R. Ceylana, Y. Özbaya, B. Karlibk // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36 (3). – P. 6721–6726.
6. Trends in the growth of literature of telemedicine: A bibliometric analysis / Yang Y. T., Iqbal U., Horn-Yu Ching J. [et al.] / Computer Methods and Programs in Biomedicine – Vol. 122 (3) – 2015. – P. 471–479.
7. Владзимирский А. В. Телемедицина : монография / А. В. Владзимирский. – Донецк: ООО «Цифровая типография», 2011. – 437 с.
8. Monitoring Progress and Adherence with Positive Airway Pressure Therapy for Obstructive Sleep Apnea: The Roles of Telemedicine and Mobile Health Applications / D. Hwang // Sleep Medicine Clinics – Vol. 11 (2) – 2016. – P. 161–171.
9. Файнзильберг Л. С. Обобщенный метод обработки циклических сигналов сложной формы в многомерном пространстве параметров / Л. С. Файнзильберг // Проблемы управления и информатики. – 2015. – № 2. – С. 58–71.
10. Trzuppek M. Intelligent image content semantic description for cardiac 3D visualisations / M. Trzuppek, M. R. Ogiela, R. Tadeusiewicz // Engineering Applications of Artificial Intelligence – Vol. 24 (8) – 2011. – P. 1410-1418.
11. Компендиум 2015 – лекарственные препараты /Под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>.
12. Саати Томас Л. Принятие решений при зависимостях в обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Научн. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
13. Design of decision support system when undertaking medical-diagnostic action / A. I. Povoroznyuk, A. E. Filatova, W. Surtelb, and others // Optical Fibers and Their Applications. – 2015. – Proc. of SPIE Vol. 9816. – P. 9816101–98161017.
14. Филлиппс Д. Методы анализа сетей. Пер. с англ. / Д. Филлиппс, А. Гарсиа-Диас – М: Мир, 1984. – 648 с.
15. Дмитриенко В. Д. Многокритериальная оценка лекарственных препаратов / В. Д. Дмитриенко, О. А. Поворознюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, ВНТУ. – 2009 – №3 – С.144–148.
16. Эккель Б. Философия Java / Б. Эккель – СПб.: Питер, 2009. – 640 с.

17. Бек К. Шаблоны реализации корпоративных приложений / К. Бек – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2008. – 176 с.

18. Рациональна діагностика та лікування в дерматології та венерології / За ред. І.І. Маврова // "Довідник лікаря Дерматолог – Венеролог". – К.: ТОВ "Доктор-Медіа", 2007. – 344 с.

#### **Відомості про авторів**

**Поворознюк Анатолій Іванович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри обчислювальної техніки та програмування; м. Харків, Україна.

**Поворознюк Оксана Анатоліївна** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування; м. Харків, Україна.

**Мумладзе Георгій Романович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри обчислювальної техніки та програмування; м. Харків, Україна.