

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ.  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**Бурцев Максим Володимирович**

УДК 004.891.3+681.5

**СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ  
ТЕРАПЕВТИЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ, ЗАСНОВАНА НА  
КОМБІНОВАНОМУ ВИРІШАЛЬНОМУ ПРАВИЛІ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидат технічних наук

Харків 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі «Обчислювальна техніка та програмування» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Поворознюк Анатолій Іванович**,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут», професор  
кафедри обчислювальної техніки та  
програмування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Аврунін Олег Григорович**,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки, професор кафедри біомедичної  
інженерії

кандидат технічних наук  
**Штофель Дмитро Хуанович**,  
Вінницький національний технічний університет,  
старший викладач кафедри проектування медико-  
біологічної апаратури

Захист дисертації відбудеться " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2014 року о \_\_\_\_\_ годині на засіданні Вченої ради К.64.052.05 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою:

61166, Україна, Харків, пр. Леніна 14.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою:

61166, Україна, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розіслано " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2014 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради

І.В. Лисицька

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Активний розвиток високотехнологічного суспільства сприяє впровадженню науково-технічних розробок в таку важливу, проте мало формалізовану сферу діяльності, як медицина, завдяки чому бурхливого розвитку набуває напрям біомедичної інженерії, який охоплює різноманітні галузі: біомеханіка; розробка нових біоматеріалів, біосенсорів, інструментів та приладів; реабілітаційна інженерія; медичний та біологічний аналіз та інші. Окреме місце серед галузей біомедичної інженерії посідає біоінформатика, яка, спираючись на досягнення в сфері інформаційних технологій, дозволяє автоматизувати діяльність медичних закладів.

На сьогодні нараховується сім рівнів комп'ютерних медичних систем: від електронних амбулаторних карт до інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з синергетичними базами даних, методами штучного інтелекту та можливостями телемедицини. Переважна більшість цих систем спрямована на автоматизацію проведення первинних обстежень, що пов'язані з обробкою біомедичних сигналів та зображень. При цьому без уваги залишається така не менш важлива галузь, як терапевтична діагностика. Для призначення ефективного лікування терапевтом потрібна своєчасна та правильна діагностика, заснована на систематичному огляді пацієнта, аналізі анамнезу, скарг та об'єктивних ознак захворювання, що були виявлені при фізичному дослідженні — огляді, перкусії та ін., а також за допомогою лабораторно-інструментальних досліджень. Виявленні ознаки (симптоми) захворювання терапевт об'єднує в синдроми (сукупність симптомів, що мають спільний патогенез), на основі яких робиться остаточний висновок про можливе захворювання. У випадку неможливості зробити однозначний висновок про захворювання, проводиться диференційна діагностика декількох схожих захворювань з додатковими лабораторними та інструментальними дослідженнями.

Не зважаючи на широке розмаїття існуючих біомедичних систем та складність задач, що ними вирішуються, однією з *актуальних* невирішених оптимізаційних задач залишається синтез діагностичного вирішального правила, яке б забезпечило достовірність та обґрунтованість поставленого діагнозу.

Серед методів синтезу вирішальних правил можна виділити два класи: детерміністичні та математичні.

Детерміністичні методи традиційно використовують у своїй практиці лікарі. Вони ґрунтуються на неформалізованому описі симптоматики у вигляді симптомів, синдромів та симптомокомплексів та представляють суб'єктивний погляд експертів на проблему діагностики.

Математичні методи отримали розповсюдження у техніці і добре зарекомендували себе при вирішенні багатьох задач, але, на сьогодні, вони не викликають довіри у практикуючих лікарів, хоча й представляють об'єктивний підхід до діагностики, який ґрунтується на статистичних даних.

Тому вирішення задачі синтезу комбінованого вирішального правила

(ВП), яке об'єднує детерміністичний та статистичний підходи, та побудова інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень на базі цього ВП визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження проводилося на кафедрі «Обчислювальна техніка та програмування» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у відповідності до держбюджетних НДР за планом МОН України: «Розробка теорії та методів побудови інтелектуальних медичних систем на основі структурної ідентифікації» (ДР № 0107U000599); «Розробка теорії та методів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в медицині на основі синтезу структурованих моделей» (ДР № 0110U001246); «Розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для діагностики, керування та оптимізації технічних та біотехнічних об'єктів» (ДР № 0113U000449). У вказаних темах здобувач є виконавцем окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є синтез комбінованого вирішального правила, яке б дозволило врахувати як об'єктивну, так і суб'єктивну складову процесу постановки діагнозу, на підставі аналізу існуючих алгоритмів вирішальних правил та обґрунтування методики реалізації системи підтримки прийняття рішень за допомогою сучасних інформаційних технологій кросплатформеного програмування, призначення якої полягає у підвищенні ефективності процесу постановки діагнозу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1) провести системний аналіз існуючих медичних систем, зокрема систем підтримки прийняття рішень, а також математичних методів, що покладено в їх основу;

2) на основі результатів аналізу методів, що використовуються при побудові вирішальних правил, обґрунтувати вибір складових комбінованого вирішального правила та виконати розробку його формальної моделі;

3) виконати побудову ієрархічної структури діагностуємих станів в заданій предметній області медицини, що буде використана комбінованим вирішальним правилом для постановки уточнюючого діагнозу;

4) обґрунтувати вибір засобів реалізації системи підтримки прийняття рішень;

5) виконати реалізацію системи підтримки прийняття рішень за допомогою технологій кросплатформеного програмування;

6) перевірити працездатність та ефективність розроблених моделей та реалізацію системи підтримки прийняття рішень на реальних медичних даних.

**Об'єктом дослідження** є процес діагностики функціонального стану підсистем організму людини.

**Предметом дослідження** є метод побудови діагностичного вирішального правила, яке використовується при створенні системи підтримки прийняття рішень у медичній діагностиці.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження й методика рішення задачі синтезу комбінованого вирішального правила базується на наступних методах: на основі системного аналізу розроблена формальна модель вирішального правила; на основі теоретико-інформаційного підходу та математичних методів генетичних алгоритмів виконано синтез ієрархічних структур діагностуємих станів; на основі теорії прийняття рішень (метод послідовного аналізу Вальда, нечітка логіка) виконано синтез комбінованого вирішального правила; на основі технологій кросплатформеного програмування виконана програмна реалізація системи підтримки прийняття рішень; на основі методів математичної статистики виконана верифікація одержаних результатів.

**Наукова новизна** полягає у тому, що:

1) Вперше розроблено метод синтезу комбінованого вирішального правила, заснований на поєднанні імовірнісного методу Вальда та апарату нечіткої логіки при описі симптомокомплексів, проаналізовано варіанти їх спільного використання. Метод дозволяє підлаштовувати рівень впливу імовірнісної та нечіткої складових в залежності від ступеня довіри до кожної складової, підвищує достовірність та обґрунтованість комп'ютерного діагнозу;

2) Вперше запропоновано метод вибору параметрів функцій приналежності для опису симптомокомплексів, заснований на використанні границь інтервалів “нижче норми – норма – вище норми” значень числових діагностичних ознак, що дозволяє його застосування у разі відсутності кваліфікованих експертів в заданій предметній області медицини на етапі навчання системи.

3) Вперше розроблено метод синтезу ієрархічної структури діагностуємих станів (дерево рішень) на основі генетичних алгоритмів, який реалізує оптимальну схему аналізу діагностичних ознак у конкретних пацієнтів при постановці уточнюючого діагнозу та диференціацію негативних відповідей системи у випадках, коли заданий рівень достовірності діагнозу у конкретного пацієнта не досягнуто.

4) Вдосконалено метод формування нерівномірних діагностично-значущих інтервалів чисельних ознак, які є джерелом діагностичної інформації для розробленого вирішального правила, з мінімізацією інтегральної похибки апроксимації теоретичного закону розподілу гистограмою, що на відміну від існуючих використовує частково-поліноміальну апроксимацію поліномами 2-го порядку, що дозволяє досягти зменшення граничного значення інтегральної похибки апроксимації.

**Практична цінність** роботи полягає в тому, що розроблені в дисертаційній роботі методи синтезу вирішального правила, формування ієрархічної структури діагнозів тощо слугують науково-методичною основою для розробки відповідного інформаційного, алгоритмічного та програмного забезпечення. Розроблена комп'ютерна система, яка забезпечить підтримку прийняття рішення під час діагностики терапевтичних захворювань за даними

обстежень, що засновані на вимірюванні чисельних діагностичних показників. Результати дисертаційної роботи впроваджені у вигляді алгоритмів і пакетів прикладних програм у ТОВ “Insart” (м. Харків) для розробки телемедичного інформаційного порталу з елементами соціальної мережі та можливістю підтримки прийняття рішень, а також у навчальний процес НТУ “ХПІ” на кафедрі “Обчислювальна техніка та програмування”.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати дисертаційного дослідження, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: запропоновано складові комбінованого вирішального правила, а також варіанти їх спільного використання [1, 10], розроблено алгоритм комбінованого вирішального правила [11], його інформаційну модель [14, 25], а також методику його реалізації [15]; запропоновано підхід щодо використання експертних оцінок у комбінованому вирішальному правилі [12, 18], використання нечіткої логіки для опису погляду експертів [13], алгоритм побудови функцій приналежності для опису поглядів експертів [2, 5, 16]; запропоновано варіанти побудови ієрархічної структури діагнозів, необхідної для комбінованого вирішального правила [3, 20], в тому числі шляхом структурної декомпозиції [21] / композиції [22]; запропоновано підхід до збереження знань в системі підтримки прийняття рішень [23]; проаналізовано особливості комбінованого вирішального правила як основи діагностичної підсистеми системи підтримки прийняття рішень [17]; запропонована структура системи прийняття рішень, заснованої на комбінованому вирішальному правилі [9]; розроблено архітектуру системи підтримки прийняття рішень, діагностична підсистема якої базується на розробленому комбінованому вирішальному правилі [6, 19], виконано реалізацію розробленої системи підтримки прийняття [4, 7, 24, 26, 28]; проведено апробацію розроблених алгоритмів та їхньої програмної реалізації на реальних медичних даних [8, 27].

**Апробація результатів.** Основні результати досліджень доповідалися на міжнародних наукових конференціях: XVII – XXI Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (Харків, 2009-2013); IX – XII Міжнародних науково-практичних конференціях “Проблеми інформатики і моделювання” (Харків-Ялта, 2009-2012); XI – XIII Міжнародних науково-практичних конференціях “Сучасні інформаційні та електронні технології” (Одеса, 2010-2012); Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку” (Чернівці, 2012); 2-й Міжнародній науково-практичній конференції “Компьютерные науки и технологии” (Белгород, 2011); 15-му Ювілейному Міжнародному форумі “Радіоелектроніка та молодь в XXI столітті” (Харків, 2011); 4-му Міжнародному радіоелектронному форумі “Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку” (Харків, 2011); 12-й Міжнародній конференції “Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics” (Львів, 2013).

**Публікації.** За даними дисертаційного дослідження опубліковано 28

наукових робіт, серед них 7 статей у наукових фахових виданнях України (з них 1 одноосібна), 1 стаття в іноземному журналі, 20 в матеріалах міжнародних конференцій.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, у яких викладено основні результати роботи, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 210 сторінок, серед яких 1 ілюстрація на окремій сторінці, 31 таблиця і 32 ілюстрації по тексту, 3 додатки на 64 сторінках, список використаних літературних джерел зі 117 найменувань на 12 сторінках.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, її наукова й практична цінність, сформульовані мета й завдання роботи, наведена її загальна характеристика.

У **першому розділі** розглянуто біотехнічні системи та їх призначення, зокрема системи підтримки прийняття рішень (СППР). Медичні системи підтримки прийняття рішень є інтерактивним програмним забезпеченням, яке надає підтримку медичним працівникам в процесі прийняття рішення щодо встановлення діагнозу пацієнта, спираючись на дані обстеження. СППР об'єднують спостереження за станом здоров'я пацієнта зі знаннями інформаційної мережі з метою контролю процесу лікування, що дозволяє автоматизувати управління медичною практикою. СППР є важливим інструментом, який дозволяє сформулювати судження про стан здоров'я пацієнта, спираючись на історичні дані, що зберігаються в системі, для отримання ефективної консультації чи призначення терапії у кожному конкретному випадку. СППР з активними знаннями допомагають лікарям безпосередньо на робочих місцях. Вони обробляють дані обстежень пацієнта з метою формулювання поради щодо рішення для конкретного випадку. Коли лікар вводить інформацію до системи, програмне забезпечення СППР пропонує можливі варіанти рішення щодо захворювання та перелік заходів, які необхідно застосувати для лікування.

Засновані на фактичних даних СППР надають можливість підтримки прийняття рішення на етапах попередньої діагностики, клінічних досліджень та остаточної діагностики: виконують підготовку переліку діагнозів, забезпечують можливості перегляду їх деталей / фільтрації; допомагають підтримувати історію хвороби в актуальному стані, що сприяє формулюванню більш адекватних прогнозів.

Проведено огляд існуючих зразків (як закордонних, так і вітчизняних) медичного програмного забезпечення (ПЗ), зокрема систем підтримки прийняття рішень. Встановлено, що вітчизняні зразки ПЗ зосереджені на реалізації автоматизованих робочих місць лікарів, автоматизації документообігу, проте спостерігається брак засобів підтримки прийняття рішень.

Розглянуто існуючі алгоритми, які використовуються при побудові вирішальних правил у системах підтримки прийняття рішень, зокрема метод Байєса, метод Вальда, методи розпізнавання образів, що засновані на обчисленні відстаней, лінгвістичні, структурні методи, метод потенційних функцій, детерміністичні методи, засновані на описі структури симптомокомплексів, нейронні мережі тощо. Виявлені основні переваги та недоліки розглянутих алгоритмів, а також можливість їх застосування для діагностики терапевтичних захворювань.

Пропонується синтез комбінованого вирішального правила, яке поєднає імовірнісний та детерміністичний підходи та послугує основою для створення діагностичної підсистеми СППР, з метою підвищення ефективності процесу формулювання діагностичного висновку засобами підтримки прийняття рішень комп'ютерної системи. Сформульовано мету та задачі дослідження.

У другому розділі сформульовано вимоги до вирішального правила системи підтримки прийняття рішень. Воно має спиратися на об'єктивні статистичні дані медичної бази даних, проте має забезпечити можливість експертам вносити корективи в поведінку вирішального правила при діагностиці окремих випадків.

Формалізовано задачу апроксимації теоретичного закону розподілу гістограмами. Розглянуто алгоритм формулювання множини діагностично значущих інтервалів  $\tau_i$  чисельних ознак шляхом частково-поліноміальної апроксимації теоретичного закону розподілу гістограмою поліномами 2-го порядку з мінімізацією інтегральної похибки апроксимації.

Описано формальну модель розробленого комбінованого вирішального правила, яке використовується при аналізі попередньо побудованої ієрархічної структури діагнозів.

Імовірнісний підхід, що спирається на метод Вальда, передбачає обчислення об'єктивних апріорних умовних ймовірностей  $P(x_j / D_k)$  на підставі навчальної вибірки. Джерелом обчислення цих ймовірностей є сформовані послідовності діагностично значущих інтервалів  $\tau_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) чисельних ознак  $x_j$  отриманих з гістограм, що апроксимують теоретичний закон розподілу  $f(x_j / D_k)$  аналізованої ознаки, для двох діагнозів  $D_q$  і  $D_w$  в одній системі координат.

Імовірності  $P(x_{ji} / D_k)$ , що відносяться до гістограм, розраховуються як

$$P(x_{ji} / D_k) = \frac{N_{x_j D_k}}{N_{D_k}}, \quad (1)$$

де  $N_{x_j D_k}$  – кількість об'єктів навчальної вибірки зі значенням ознаки  $x_j$  при діагнозі  $D_k$ , що попадають у відповідний інтервал  $\tau_i$  (тобто  $x_{ji} \in \tau_i$ ),  $N_{D_k}$  – загальне число об'єктів навчальної вибірки з діагнозом  $D_k$ .

Підхід, заснований на нечіткій логіці, є вираженням поглядів експертів. Він полягає в обчисленні значення деякої плавної функції  $\mu(x_j / D_k)$  – функції



приналежності, отриманої виходячи з думки фахівця, що виражає ступінь відповідності значення чисельної ознаки  $x_j$  деякої лінгвістичної змінної, що описує розглянуту ознаку (наприклад, “висока температура” або “підвищений артеріальний тиск”).

Крім того, кожній з ознак  $x_j$  виставляється експертна оцінка, що виражає її вагу симптомокомплексі. Ці оцінки використовуються для зважування значення  $\mu(x_j/D_k)$  й приймають значення  $e_0, e_1, e_2, e_3$ , де  $e_0$  – вага патогномонічних симптомів;  $e_1$  – вага специфічних симптомів;  $e_2$  – вага неспецифічних симптомів;  $e_3$  – вага показників, що не входять у симптомокомплекс даного захворювання.

При цьому справедлива нерівність

$$e_0 \geq e_1 \geq e_2 \geq e_3, \sum_{i=1}^3 e_i = 1. \quad (2)$$

Таким чином, з огляду на оцінки  $e_i$ , функція принадлежности приймає вигляд

$$v(x_j/D_k) = e_i \cdot \mu(x_j/D_k)$$

Оскільки  $D_q$  та  $D_w$  можуть бути представлені деякою множиною діагнозів, то узагальнена функція принадлежности, що буде використана у вирішальному правилі має вигляд:

$$\mu^*(x_j/D_k) = \max(v(x_j/D_r)), \forall D_r : D_r \in D_k \quad (3)$$

Проаналізовано варіанти поєднання складових комбінованого ВП:  $P(x_j/D_k)$  та  $\mu^*(x_j/D_k)$  (мультиплікативна та адитивна згортки, колектив ВП по кожній складовій) та обґрунтовано варіант адитивної згортки з урахуванням вагових коефіцієнтів  $k_i$ . Остаточні складові відношення правдоподібності приймають вигляд:

$$h(x_j/D_k) = k_1 P(x_{ji}/D_k) + k_2 \mu^*(x_j/D_k), \quad (4)$$

де  $k_i > 0$ ,  $\sum k_i = 1$ ,  $i = \overline{1,2}$ , а відношення правдоподібності, що обчислюється у кожному складеному вузлі ієрархії діагнозів, приймає вигляд

$$\Omega = \prod_{j=1}^m \frac{h(x_j/D_q)}{h(x_j/D_w)}. \quad (5)$$

Значення вагових коефіцієнтів може бути визначено за допомогою генетичного алгоритму або скореговано в процесі експлуатації системи.

Отримане значення (5) рівняється з порогами:

$$A = \frac{1 - \beta}{\alpha} \quad (6)$$

$$B = \frac{\beta}{1 - \alpha}, \quad (7)$$

де  $\alpha$  – імовірність помилки прийняття діагнозу  $D_w$  при правильному діагнозі  $D_q$ ;  $\beta$  – імовірність помилково прийнятого діагнозу  $D_q$  при наявності у хворого

діагнозу  $D_w$ .

Якщо  $\Omega > A$ , то робиться висновок про наявність діагнозу  $D_q$ . Якщо  $\Omega < B$ , то робиться висновок про наявність  $D_w$ . У противному випадку виконується відмова від постановки діагнозу.

Розглянуто проблему побудови функцій приналежності на підставі даних навчальної вибірки в ситуації, коли на момент навчання системи участь експерта у процесі навчання не можлива.

Як відомо з медичних довідників, лікарі-фахівці частіше за все оперують поняттями норми того чи іншого показника, що виражається у розбитті динамічного діапазону ознаки на три інтервали: “нижче норми”, “норма”, “вище норми”.

За даними навчальної вибірки для кожного  $D_k$  для всіх ознак  $x_j$  визначається кількість об’єктів навчальної вибірки, що потрапляють в зазначені інтервали (відносно норми). Можливі ситуації:

1) Якщо максимальна кількість об’єктів припадає на інтервал “нижче норми” (“вище норми”), а інтервали “вище норми” (“нижче норми”) є порожніми, то вважається, що лінгвістична змінна, яка описує задану ознаку  $x_j$  при діагнозі  $D_k$  набуває терму “вище норми” (“нижче норми”).

2) Якщо ж переважна більшість об’єктів (при заданих  $x_j$  і  $D_k$ ) зосереджена в межах “норми”, то пропонується використання трапецієвидної функції  $\mu(x_j/D_k)$ , кут нахилу бічних сторін якої залежить від середньої величини відхилення значення ознаки  $x_j$  в той чи інший бік відносно норми.

Розглянуто метод обчислення інформативності чисельних ознак. Розраховані значення інформативності дозволяють зменшити кількість ознак, що аналізуються вирішальним правилом під час формулювання діагностичного висновку, за умови аналізу вирішальним правилом останніх в порядку спадання їхньої інформативності.

Отримано вираз для обчислення інформативності ознак:

$$I_D(x_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m P(D_i) \cdot P(x_{jk} / D_i) \cdot \log_2 \frac{P(x_{jk} / D_i)}{P(x_{jk})}. \quad (8)$$

У третьому розділі розглянуто побудову ієрархічної структури діагнозів, яка аналізується розробленим вирішальним правилом. Оскільки отримане відношення правдоподібності (5) може бути визначене лише для двох станів, а кількість станів, які необхідно діагностувати, апріорно  $> 2$ , постає необхідність побудови такої структури, яка б могла бути ітеративно оброблена за допомогою розробленого комбінованого вирішального правила. Виходячи з теорії алгоритмів та структур даних такою структурою може бути дерево арністю 2, в кожному вузлі якого буде виконуватись диференціальна діагностика.

Таким чином, розроблене комбіноване вирішальне правило у своїй основі має обхід дерева діагнозів, у кожному складеному вузлі якого обчислюється відношення правдоподібності.

Розглянуто структуру елементів ієрархії діагнозів. Кожний простий вузол

містить кінцевий діагноз, а складений – дві групи діагнозів, щодо яких здійснюється діагностика, а також послідовності наборів діагностично значущих інтервалів чисельних ознак і функції приналежності, що описують симптомокомплекси відповідних захворювань.

Розглянуто побудову ієрархічної структури діагнозів шляхом структурної композиції / декомпозиції. Сформована ієрархічна структура стає фреймом знань системи.

При структурній композиції побудова ієрархічної структури починається з листя, що містить конкретні діагнози (N рівень дерева), при цьому стан «абсолютно здоровий» виключається. Для побудови N-1 рівня обчислюються ймовірності попарних сполучень діагнозів, представлених на N рівні. Найбільш ймовірні пари беруть участь в побудові N-1 рівня.

Аналогічним чином виконується побудова всіх вище лежачих рівнів дерева, шляхом попарного угруповання вузлів нижчого рівня, поєднання яких найбільш ймовірно. Таким чином, 1 рівень дерева буде включати один вузол, що містить усі відомі захворювання. Потім формується 0 рівень дерева, також включає стан «абсолютно здоровий», після чого 1 рівень дерева являє собою поділ станів «здоровий» і «хворий».

Даний підхід дозволяє встановити множину найбільш ймовірних діагнозів для об'єкта діагностики, в тому випадку якщо в ході роботи вирішального правила для деякого складного вузла дерева розраховане значення відношення правдоподібності потрапляє в межі області невизначеності і не можливо встановити один конкретний діагноз.

При структурній декомпозиції здійснюється послідовний поділ множини станів (діагнозів) на дві групи  $D^q$  і  $D^w$  доти, доки сформовані групи містять більш одного діагнозу. Вихідна множина станів у тому числі включає стан «умовно здоровий». Формування підмножин  $D^q$  і  $D^w$  на кожному кроці можна виконувати застосуванням генетичного алгоритму. Структура гена являє собою об'єднання двох частин. Перша містить кількість діагнозів, що включаються в  $D^q$ , друга – випадковим образом сформовану послідовність діагнозів, що входять у поділювану підмножину.

До генів застосовуються генетичні оператори схрещування (обмін частинами між двома генами), і мутації (якісні й кількісні зміни в складах  $D^q$  і  $D^w$ ).

Оцінка якості гена проводиться на підставі кількості правильно класифікованих об'єктів навчальної вибірки за допомогою КРП у рамках поділюваного вузла.

Розглянуто підходи до корекції існуючих знань системи при надходженні нових даних обстежень, у випадку коли до вже навченої системи із збудованими фреймами знань надходять відомості про новий діагноз (за даними обстеження із статичним набором ознак встановлюється діагноз, який раніше не визначався за цими ознаками). Перебудова знань може бути виконана одним з наступних способів:

- 1) Створення нового кореня дерева. Ієрархія діагнозів модифікується

таким чином, що створюється новий корінь дерева, який включає всі раніше відомі діагнози. В цій вершині дерева проводиться диференціальна діагностика нового стану та всіх раніше відомих згідно існуючих ознак.

2) Вбудова нового стану в піддерево існуючого фрейма. Для кожного з відомих діагнозів визначається еталонний об'єкт

$$\psi_e^{D_k} : x_j(\psi_e^{D_k}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_j(\psi_i^{D_k}).$$

Обчислюється відстань між об'єктом, що надходить у систему, якому відповідає новий стан, та еталонами всіх відомих станів. Кінцева вершина дерева (простий вузол), що містить діагноз, еталон якого є найближчим до нового об'єкту, модифікується: до вершини додається новий діагноз (вузол стає складеним), виконується побудова всіх необхідних атрибутів складеного вузла, що описано вище, а також модифікуються всі батьківські вершини, шляхом розширення однієї з диференційованих груп діагнозів додаванням нового стану, після чого додаються два нових простих вузла, як дочірні до щойно створеного.

3) Повна перебудова ієрархічної структури.

**У четвертому розділі** наведено обґрунтування реалізації системи підтримки прийняття рішень. Найбільш привабливими засобами розробки програмного забезпечення на сьогодні є ті, що дозволяють створювати додатки, які є кросплатформним на рівні запуску. Лідерами в цій галузі є платформи. NET (Microsoft) і Java (Oracle Corporation (раніше Sun Microsystems)). При цьому, останні версії. NET Framework доступні тільки для ОС Windows (на відміну від Java: Oracle надає реалізацію Java Runtime Environment (JRE) як для Windows, так і для NIX-систем). До того ж, комерційний характер програмного забезпечення від Microsoft в ряді випадків робить його менш привабливим: бюджет вітчизняних медичних установ в більшості своїй не в змозі забезпечити необхідну суму для придбання всього необхідного ліцензійного програмного забезпечення. Java позбавлена цього недоліку, будучи вільно поширюваним інструментом. Враховуючи економічну складову і наявність останніх версій середовищ виконання для більшості сучасних платформ (Windows, UNIX, Linux) в якості платформи розробки обрано Java.

В системі підтримки прийняття рішень, що заснована на запропонованому вирішальному правилі, можна виділити обов'язкові складові: ядро системи (має забезпечити роботу з даними, формування знань, здійснювати діагностику), базу даних та інтерфейс користувача (відповідність шаблону MVC в архітектурному плані).

Оскільки в якості основної платформи розробки обрано Java, то систему пропонується реалізувати у вигляді web-дodatка, що найкращим чином відповідає вимогам до системи, що описано раніше. Спрощена структура системи подана на рис. 1. Ядро складається з Java-класів, що згруповано у пакети за виконуваними функціями. Деталізована структура ядра зображена на рис. 2.

Структура має характерну для JEE додатків багаточарову структуру. На нижньому рівні існують сутності, які описують компоненти бізнес-моделі. Ці

сутності відображаються на базу даних.

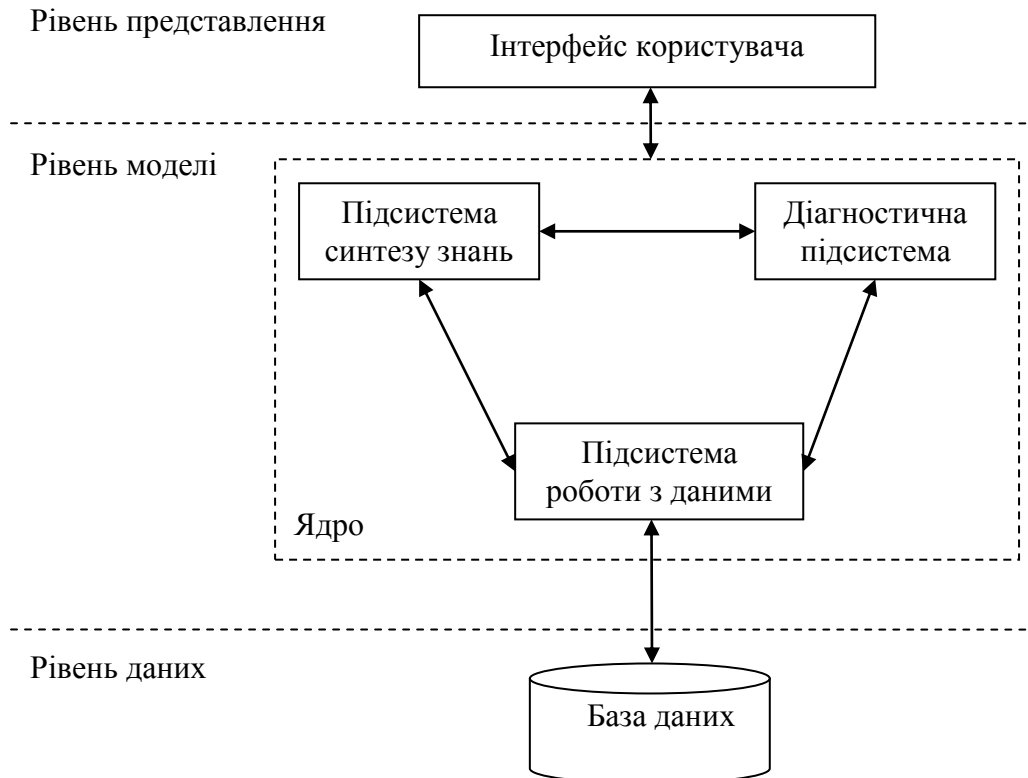


Рисунок 1 – Структурна схема системи підтримки прийняття рішень

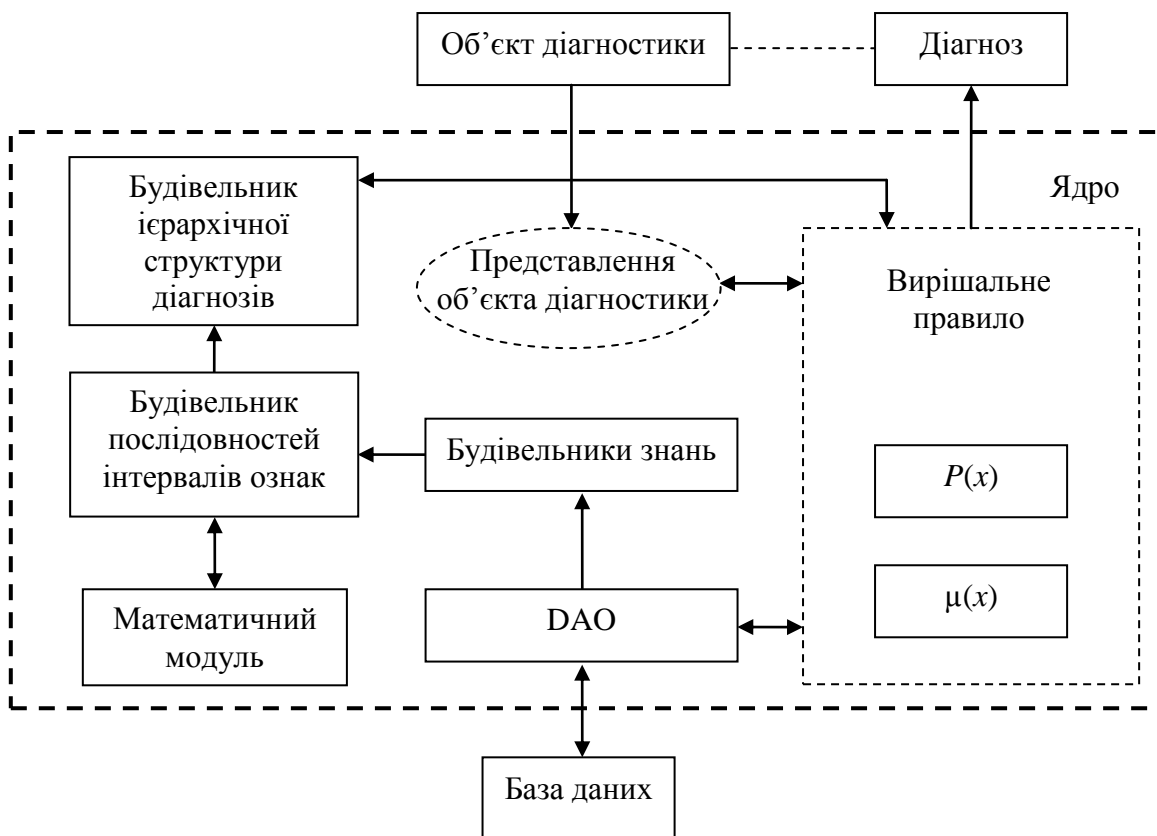


Рисунок 2 – Деталізована структура ядра

Об'єкти доступу до даних (реалізують шаблони проектування DAO – Data Access Object) організують CRUD-операції над сутностями, а також виконують різноманітні багатокритеріальні вибірки даних для побудови знань, відображення у інтерфейсі користувача.

Над шаром DAO розташований шар сервісів, які містять усю бізнес-логіку системи. Сервіси включають такі, що працюють з окремою сутністю, а також службові компоненти (будівельники знань та інші).

Будівельники знань (реалізують шаблон проектування “будівельник” (англ. “builder”)) разом з будівельником послідовностей інтервалів ознак виконують побудову знань системи, зокрема послідовностей діагностично-значущих нерівномірних інтервалів числових ознак. Оскільки сервіси як компоненти системи можуть використовуватися різними обчислювальними потоками необхідно забезпечувати потокобезпечність внутрішніх даних цих компонентів системи.

Будівельник послідовностей інтервалів взаємодіє з математичним модулем, який містить класи, які забезпечують вирішення систем алгебраїчних рівнянь, виконують регресійний аналіз та ін. Також він взаємодіє з будівельником ієрархічної структури діагнозів/ознак, який створює необхідну для роботи вирішального правила структуру даних, заповнюючи вузли дерева послідовностями інтервалів.

Об'єкт діагностики представляється у вигляді асоціативного масиву ознак, з яким взаємодіє комбіноване вирішальне правило, котре, спираючись на дані, отримані від будівельника ієрархічної структури діагнозів/ознак, виконує процедуру постановки діагнозу.

Кінцева реалізація системи підтримки прийняття рішень має вигляд Web-додатку, розгорнутого на Tomcat 7.

**У п'ятому розділі** наведено результати апробації розробленої системи підтримки прийняття рішень при діагностиці захворювань органів кровотворення.

За даними обстежень дітей віком до 16 років сформовано навчальну вибірку для розробленої СППР. Дані являють собою результати клінічного аналізу крові (табл. 1), за якими встановлено діагностичні стани, що описані в табл. 2.

*Таблиця 1*

### Структура клінічного аналізу крові

Ознака	Одиниця вимірювання	Норма	
		Нижня границя	Верхня границя
Сироваткове залізо	мкмоль / л	8.95	21.48
Загальна залізо зв'язуюча здатність сироватки (ЗЗЗС)	мкмоль / л	44.75	76.1
Коефіцієнт насичення залізом		15	54
Загальний білірубін	мкмоль / л	8.5	20.5

Завершення таблиці 1

Зв'язаний білірубін	мкмоль / л	6.4	15.4
Вільний білірубін	мкмоль / л	2.3	5.1
Вільний гемоглобін	мкмоль / л	5	10
Проба Кумбса		0.001	0.001
Гемоглобін	г / л	118	143.6
Кольоровий показник		0.85	1.05
Еритроцити	$\times 10^{12}$ / л	3.71	4.39
Ретикулоцити	$\times 10^9$ / л	5	15

Норми показників вказано з урахуванням віку (до 16 років).

Таблиця 2

### Структура навчальної вибірки

МКХ-10	Назва	Кількість осіб
D50	Залізодефіцитна анемія	100
D53.0	Анемія внаслідок недостатності білків	100
D55	Анемія внаслідок ферментних порушень	100
-	Умовно здоровий	100

Результати діагностики наведено в таблиці 3. В таблиці прийнято наступні умовні позначення:

- 1)  $P(x)$  – результати застосування методу Вальда (об'єктивна складова);
- 2)  $\mu(x)$  – результати застосування детерміністичної логіки з описом симптомокомплексів за допомогою нечіткої логіки (суб'єктивна складова);
- 3)  $\Omega$  – результати використання розробленого комбінованого вирішального правила;
- 4)  $N$  – кількість вірно розпізнаних об'єктів;
- 5) % – відсоток вірно розпізнаних об'єктів від загальної кількості.

В ході діагностики вагу кожної зі складових комбінованого вирішального правила встановлено рівною 0.5, тобто результати роботи кожної зі складових є рівноправними,  $\alpha = 0.05$ ,  $\beta = 0.05$ .

Таблиця 3

### Результати діагностики

МКХ-10	Кількість об'єктів	Результати діагностики					
		$P(x)$		$\mu(x)$		$\Omega$	
		$N$	%	$N$	%	$N$	%
D50	100	100	100	100	100	100	100
D53.0	100	97	97	99	99	100	100
D55	100	99	99	100	100	100	100
-	100	93	93	87	87	100	100
Разом	400	389	97.2	386	96.5	400	100

Як видно з результатів, при діагностиці анемії розробленою СППР кількість вірно класифікованих об'єктів складає 100%, що підтверджує

працездатність системи у випадку, коли для діагностики використовуються дані обстежень, що містять патогномонічні та специфічні ознаки. При цьому в кожному вузлі ієрархічної структури аналізується досить невелика кількість ознак (~ 3).

Розроблений інтерфейс користувача (рис. 3) дозволяє забезпечити підтримку прийняття рішень під час занесення даних про обстеження до медичної бази даних системи. Першим кроком є вибір типу обстеження.

Даные Обследования    Диагноз    Подтверждение

Имя	Значение	Единица измерения
Эритроциты	3.2	*10 <sup>12</sup> /л
Ретикулоциты	5.0	*10 <sup>9</sup> /л
Гемоглобин	89.0	г/л
Сывороточное железо	5.2	мкмоль/л
Свободный гемоглобин	6.0	мкмоль/л
Общий билирубин	19.0	мкмоль/л
Свободный билирубин	15.0	мкмоль/л
Связанный билирубин	4.0	мкмоль/л
Проба Кумбса	0.001	
Коэффициент насыщения железом	14.0	
Цветной показатель	0.85	
ОЖСС	40.0	мкмоль/л

→ Далее

а)

Даные Обследования    Диагноз    Подтверждение

Источник Диагноза

Решающее Правило     Метаданные     МКБ-10

МКБ-10	Описание
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> D53.0	Анемия вследствие недостаточности белков

← Назад    → Далее

б)

Даные Обследования    Диагноз    Подтверждение

Даные Обследования

Имя	Значение	Единица измерения
Эритроциты	3.2	*10 <sup>12</sup> /л
Ретикулоциты	5.0	*10 <sup>9</sup> /л
Гемоглобин	89.0	г/л
Сывороточное железо	5.2	мкмоль/л
Свободный гемоглобин	6.0	мкмоль/л
Общий билирубин	19.0	мкмоль/л
Свободный билирубин	15.0	мкмоль/л
Связанный билирубин	4.0	мкмоль/л
Проба Кумбса	0.001	
Коэффициент насыщения железом	14.0	
Цветной показатель	0.85	
ОЖСС	40.0	мкмоль/л

Диагнозы

МКБ-10	Описание
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> D53.0	Анемия вследствие недостаточности белков

Подтвердить

← Назад

в)

Рисунок 3 – Фрагменты интерфейсу користувача системи:  
а) введення даних обстеження; б) вибір діагнозу; в) підтвердження діагнозу.



Кожному типу обстеження відповідають метадані, які було побудовано заздалегідь (ознаки, їх норми, можливі діагнози тощо). Після вибору типу обстеження система пропонує форму для введення даних обстеження (рис. 3а) для обраного пацієнта. Після введення даних обстеження розпочинає роботу вирішальне правило, яке пропонує можливі діагнози відповідно до введених даних (рис. 3б). Можливим джерелом діагнозом можуть бути: результати роботи вирішального правила, перелік діагнозів, які пов'язані з метаданими обстеження чи повний перелік захворювань МКХ-10. Останнім кроком є підтвердження діагнозу (рис. 3в).

У Додатках наведено документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, UML-діаграми розробленого програмного забезпечення, коди розрахункових модулів.

## ВИСНОВКИ

В ході дисертаційного дослідження вирішено актуальну науково-технічну задачу розробки комбінованого вирішального правила, що поєднує об'єктивну (імовірнісну) та суб'єктивну (опис симптомокомплексів захворювань за допомогою нечіткої логіки) складові, на базі якого розроблено систему підтримки прийняття рішень в медицині з використанням сучасних інформаційних технологій, застосування якої, як наслідок, підвищує ефективність процесу діагностики.

Можна відзначити наступні наукові та практичні результати дисертаційної роботи:

1. Аналіз існуючих вітчизняних медичних програмних продуктів, дозволив виявити нестачу систем, які містять у собі можливості підтримки прийняття рішень, на відміну від зарубіжних аналогів, що дозволило сформулювати мету та задачі дослідження.

2. На підставі аналізу методів, що використовуються для побудови вирішальних правил у системах підтримки прийняття рішень, запропоновано складові комбінованого вирішального правила: об'єктивна (імовірнісний метод Вальда, що дозволяє здійснювати постановку уточнюючого діагнозу) та суб'єктивна (заснована на поданні симптомокомплексів захворювань за допомогою апарату нечіткої логіки).

3. Вдосконалено метод побудови діагностично значущих нерівномірних інтервалів чисельних ознак шляхом апроксимації теоретичного закону розподілу гістограмою.

4. Запропоновано підхід до побудови функцій приналежності для опису симптомокомплексів захворювань на підставі навчальної вибірки у разі відсутності кваліфікованого експерта.

5. Обґрунтовано складові елемента ієрархічної структури, яка аналізується КРП в ході формулювання діагностичного висновку: дві групи діагнозів, між якими виконується диференціальна діагностика, послідовність

ознак, впорядкована згідно убуння їхньої інформативності, а також побудовані послідовності діагностично значущих інтервалів цих ознак, функції приналежності, що описують симптомокомплекси захворювань.

6. Запропоновано методи побудови ієрархічної структури діагнозів (фреймів знань СППР) шляхом структурної композиції та структурної декомпозиції. Детально розглянуто програмну реалізацію знань СППР шляхом структурної декомпозиції. Розглянуто підходи до корегування існуючих фреймів знань у випадку надходження інформації про нові діагностичні стани.

7. На підставі порівняльного аналізу можливостей сучасних технологій розробки програмного забезпечення визначено засоби проектування ПЗ (UML), основну платформу розробки (Java), систему керування базою даних (MySQL). Сформульовано вимоги до функціональних можливостей системи, виконано проектування СППР на основі розробленого КРП, визначено основні структурні елементи та відносини між ними, виконано проектування бази даних для збереження даних та знань системи.

8. Виконано апробацію наступних методів та їхньої програмної реалізації при обробці реальних медичних даних: метод формування нерівномірних діагностично значущих інтервалів чисельних ознак шляхом апроксимації теоретичного закону розподілу гістограмою, метод побудови функцій приналежності для опису симптомокомплексів захворювань на основі даних навчальної вибірки, метод побудови ієрархічної структури діагнозів шляхом структурної декомпозиції з використанням генетичного алгоритму, розроблене комбіноване вирішальне правило. Результати апробації показали, що методи та їхня програмна реалізація є працездатними.

9. Виконано комплексну перевірку розробленої системи, для чого сформована медична база даних, яка містить повний класифікатор МКХ-10, опис 19 діагностичних ознак та їх норм, а також дані обстежень за двома формами клінічного аналізу крові, які загалом характеризують 11 діагностуємих станів. Також БД містить фрейми знань для кожного з типів обстежень.

При діагностиці анемії (4 діагностуємих стани за 12 ознаками, при середній кількості ознак, що аналізуються, 3) 100% рішень системи підтверджено лікарем.

На підставі цих даних побудовано фрейми знань системи, які використовуються при роботі розробленої СППР для здійснення діагностики. При діагностиці анемії за даними клінічного аналізу крові кількість вірно діагностованих пацієнтів складає 100%, рішення системи підтримано лікарем. При цьому, в ході діагностики на кожному рівні ієрархічної структури діагнозів аналізується в середньому 3 ознаки з 12.

10. Результати дисертаційної роботи впроваджені у вигляді моделей, алгоритмів і пакетів прикладних програм для рішення задачі підтримки прийняття рішення в ТОВ «Insart» для розробки телемедичного інформаційного порталу з елементами соціальної мережі, з можливістю підтримки прийняття рішень; в навчальному процесі кафедри «Обчислювальна техніка і програмування» НТУ «ХП».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бурцев М.В. Синтез комбинированного решающего правила в задаче медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – №43. – С. 27–33.
2. Бурцев М.В. Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решающем правиле / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 10–15.
3. Бурцев М.В. Построение иерархической структуры диагнозов для комбинированного решающего правила в компьютерных системах медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник аціонального технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: інформатика і моделювання. Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – С.29–34.
4. Бурцев М.В. Программная реализация комбинированного решающего правила для задач медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 21. – С. 11–16.
5. Бурцев М.В. Нечеткая составляющая комбинированного решающего правила для системы поддержки принятия решений в медицине / Бурцев М.В., Поворознюк А.И. // Системи управління, навігації та зв'язку. Випуск 1(21). Т.2. – Київ: ДП "ЦНДІНУ", 2012. – С. 81-83
6. Бурцев М.В. Архитектура системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле / Бурцев М.В., Поворознюк А.И. // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 26-31.
7. Поворознюк А.И. Информационные технологии поддержки принятия решений при проведении диагностически-лечебных мероприятий / А.И. Поворознюк, О.А. Поворознюк, М.В. Бурцев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. История, Политология, Экономика, Информатика. Выход 25/1. – Белгород: НИУ«БелГУ» . – 2013. – №1 (144). – С.129-137.
8. Бурцев М.В. Применение системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле, при диагностике заболеваний крови / М.В. Бурцев // Системи обробки інформації. Випуск 6 (113). – Х. ХУПС, 2013. – С. 220–223.
9. Бурцев М.В. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Інформаційні технології: наука, техніка, освіта здоров'я [Текст]: матеріали XVI міжнар. наук.-практ. конф., 4-6 червня 2008 р. Харків : у 2 ч. – Ч. 2 / оргкомітет : Л.Л. Товажнянський (голова). – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – С. 75.
10. Бурцев М.В. Применение метода последовательного анализа в задаче

постановки уточняющего диагноза / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Проблемы информатики і моделювання. Матеріали восьмої науково-технічної конференції. – Х.: НТУ "ХПІ", 2008. – С. 6

11. Бурцев М.В. Разработка алгоритма комбинированного решающего правила при постановке уточняющего диагноза / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // III Університетська науково-практична студентська конференція магістрів НТУ «ХПІ», 14-16 квітня 2009 року. Тези доповідей : у 4 ч. – Ч. 4. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – С. 31–33.

12. Бурцев М.В. Використання експертних оцінок при реалізації процедури послідовного аналізу / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Інформаційні технології: наука, техніка, освіта здоров'я: матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф., 20-22 травня 2009 р. Харків. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – С. 61.

13. Бурцев М.В. Особенности учета мнения экспертов в комбинированном решающем правиле, применяемом в компьютерных системах медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Проблемы информатики і моделювання. Матеріали дев'ятої науково-технічної конференції. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – С. 9

14. Бурцев М.В. Комбинированное решающее правило для задачи медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Труды XI международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии", 24-28 мая 2010 г., Украина, г. Одесса, Том 1. – О.: "Политехпериодика", 2010. – С. 24.

15. Бурцев М.В. Реалізація комбінованого вирішального правила для комп'ютерних систем медичної діагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Інформаційні технології: наука, техніка, освіта здоров'я: матеріали XVIII міжнар. наук.-практ. конф., Ч.ІІІ (12-14 травня 2010 р., Харків) – Х.: НТУ "ХПІ", 2010. – С. 77.

16. Бурцев М.В. Проблема выбора функций принадлежности для субъективной составляющей комбинированного решающего правила / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Проблемы информатики і моделювання. Тезиси десятої науково-технічної конференції. – Х.: НТУ "ХПІ", 2010. – С. 23

17. Бурцев М.В. Комбинированное решающее правило для системы поддержки принятия решений в медицине / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // 15-й Юбилейный Международный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.9. – Харьков: ХНУРЭ. 2011. – С. 616–617.

18. Бурцев М.В. Представление мнения экспертов при описании симптомокомплексов для комбинированного решающего правила в медицинской диагностике / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Труды XII международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии", 23-27 мая 2011 г., Украина, г. Одесса – О.: "Политехпериодика", 2011. – С. 37.

19. Бурцев М.В. Проектирование архитектуры системы поддержки принятия решений в медицине / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XIX

міжнародної науково-практичної конференції, Ч. III (01-03 червня 2011 р., Харків) / за ред. проф. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. - Харків, НТУ "ХПІ". – С. 94.

20. Бурцев М.В. Построение иерархической структуры диагнозов для комбинированного решающего правила в компьютерных системах медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Проблемы информатики і моделювання. Тезиси одинадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Х.: НТУ "ХПІ", 2011. – С. 10.

21. Бурцев М.В. Применение структурной декомпозиции при построении иерархии диагнозов в компьютерных системах медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Компьютерные науки и технологии: сборник трудов Второй Международной научно-технической конференции. 3-5 октября 2011, г. Белгород. – Белгород: ООО «ГиК», 2011. – С. 159–162.

22. Бурцев М.В. Применение структурной композиции при построении иерархии диагнозов в компьютерных системах медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // 4-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011. Сборник научных трудов. Том III. Конференция «Актуальные проблемы биомедицины». – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. 2011. – С. 133–134.

23. Бурцев М.В. Подсистема хранения данных и знаний системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку (ІТЕП-2012): матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, 28-31 березня 2012 р. / У 2 частинах. Ч. 1 / МОНМСУ, ПВНЗ «Буковинський університет». – Чернівці : Книги – ХХІ, 2012. – С. 45-46

24. Бурцев М.В. Выбор сервера приложений для развертывания системы поддержки принятия решений в медицине / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей ХХ міжнародної науково-практичної конференції, Ч.ІІІ (15-17 травня 2012 р., Харків) / за ред. проф. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 75.

25. Бурцев М.В. Информационная модель комбинированного решающего правила для задачи медицинской диагностики / Бурцев М.В., Поворознюк А.И. // Труды XIII международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии", 4-8 июня 2012 г., Украина, г. Одесса. – О.: "Политехперіодика", 2012. – С. 126.

26. Бурцев М.В. Архитектура системы поддержки принятия решений в медицине, основанная на комбинированном решающем правиле / Бурцев М.В., Поворознюк А.И. // Проблемы информатики і моделювання. Тезиси дванадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2012. – С. 11.

27. Бурцев М.В. Применение комбинированного решающего правила при диагностике заболеваний органов кровообразования / Бурцев М.В., Поворознюк А.И. // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей ХХІ міжнародної науково-практичної конференції,

Ч.ІІІ (29-31 травня 2013 р., Харків) / за ред. проф. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 89.

28. M. Burtsev Design of computer-based intelligent support decision systems for medicine / M. Burtsev, A. Povoroznjuk, O. Povoroznjuk, A. Filatova // Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2013 12th International Conference on the. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – 2013. – P. 45-52

## АНОТАЦІЇ

**Бурцев М.В. Система підтримки прийняття рішень при діагностиці терапевтичних захворювань заснована на комбінованому вирішальному правилі. – Рукопис**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади та системи – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2014.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – синтезу діагностичного вирішального правила, яке б забезпечило підвищення точності та вірогідності діагностування терапевтичних захворювань, а також створенню на його основі біомедичної системи підтримки прийняття рішень.

Розроблене вирішальне правило покликане об'єднати об'єктивний (статистичний) та суб'єктивний (опис структури симптомокомплексів) підходи до формулювання діагностичного висновку.

В роботі формалізовано задачу та розроблено методи синтезу вирішального правила, побудови ієрархічної структури діагнозів, побудови діагностично значущих інтервалів чисельних ознак на підставі апроксимації теоретичного закону розподілу поліномами 2-го порядку, вибору функцій приналежності для опису структури симптомокомплексів, запропоновано підхід до побудови, збереження, а також модифікації знань системи підтримки прийняття рішень.

Розроблено структуру, інформаційне, алгоритмічне та програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень, виконано її тестову перевірку на реальних медичних даних.

Ключові слова: вирішальне правило, підвищення точності та вірогідності діагностування, біомедична система, підтримка прийняття рішень, симптомокомплекс.

**Бурцев М.В. Система поддержки принятия решений при диагностике терапевтических заболеваний, основанная на комбинированном решающем правиле. – Рукопись**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2014.

Работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи –

синтезу диагностического решающего правила, которое бы обеспечило повышение точности и достоверности диагностики терапевтических заболеваний, а также созданию на его основе биомедицинской системы поддержки принятия решений (СППР).

Анализ существующих отечественных медицинских программных продуктов, позволил выявить недостаток систем, которые содержат в себе возможности поддержки принятия решений, в отличие от зарубежных аналогов, что позволило сформулировать цель и задачи исследования.

На основании анализа методов, используемых для построения решающих правил в системах поддержки принятия решений, предложены составляющие комбинированного решающего правила, выражающие два подхода к формулированию диагностического вывода: объективная (вероятностный метод Вальда, позволяющий осуществлять постановку уточняемого диагноза) и субъективная (основана на представлении симптомокомплексов заболеваний с помощью аппарата нечеткой логики).

Предложены метод построения диагностически значимых неравномерных интервалов численных признаков на основании аппроксимации теоретического закона распределения полиномами 2-го порядка, метод построения функций принадлежности для описания симптомокомплексов заболеваний на основании обучающей выборки в случае отсутствия квалифицированного эксперта в заданной предметной области медицины на момент обучения системы, метод построения иерархической структуры диагнозов (фреймов знаний СППР) путем структурной композиции и структурной декомпозиции. Подробно рассмотрена программная реализация построения знаний СППР путем структурной декомпозиции с применением генетического алгоритма. Рассмотрены подходы к корректировке существующих фреймов знаний в случае поступления информации о новых диагностических состояниях.

На основании сравнительного анализа возможностей современных технологий разработки программного обеспечения определены средства проектирования ПО (UML), основную платформу разработки (Java), систему управления базой данных (MySQL). Сформулированы требования к функциональным возможностям системы, выполнено проектирование СППР на основе разработанного комбинированного решающего правила, определены основные структурные элементы и отношения между ними, выполнено проектирование базы данных для хранения данных и знаний системы.

Выполнена комплексная проверка разработанной системы на реальных медицинских данных, которая подтвердила эффективность работы системы.

Ключевые слова: решающее правило, повышение точности и достоверности диагностики, биомедицинская система, поддержка принятия решений, симптомокомплекс.

**Burtsev M.V. Decision Support System in the diagnosis of therapy disease based on the combined decision rule. – Manuscript**

Dissertation for the philosophy doctor degree in the technical sciences area for

specialty 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems – Kharkov National University of Radio Electronics Kharkov, 2014.

This work is dedicated to solving important scientific and technical tasks - synthesis of diagnostic decision which purpose is to improve the accuracy and reliability of diagnosing therapeutic diseases, and development on its basis biomedical decision support system.

The developed decision rule is intended to combine objective (statistical) and subjective (symptom complex structure description) approaches for the diagnostic conclusion formulation.

This paper formalizes the problem and describes the methods of decision rule synthesis, the construction of the diagnoses hierarchical structure, the construct of diagnostic meaningful intervals of numerical signs based on the theoretical distribution approximations with polynomials of the 2nd order, choice of membership functions for symptom complexes description, an approach to building, maintaining, and modification of decision support system knowledge.

Developed structure, information and algorithmic software of decision support system was tested on real medical data.

Keywords: decision rule, improving the accuracy and reliability of diagnosis, biomedical systems, decision support, clinical signs.