

УДК 004.942

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.128455

РОЗРОБКА МЕДИЧНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Кравченко О. В.

Об'єктом дослідження є діагностичні системи прийняття ухвалення рішень (СПУР). Одним з найбільш проблемних місць в медичних діагностичних системах є формування бази знань на основі правил експерта, за якою надається рекомендація щодо хвороби. Проведено дослідження методів проектування медичних діагностичних систем. Розглянуто методи застосування потенціалу штучного інтелекту в медицині у вигляді формування нечітких правил або проведення діагностики на основі байєсівських мереж. Розглянуто інтелектуальні обчислювальні засоби у вигляді експертних систем на основі правил та нечіткої логіки, що застосовуються до нейронних мереж та генетичні алгоритми, що виконуються в медичній діагностиці.

Для розробки системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра було обрано метод формування бази знань на основі логічних правил «Якщо..., то...». Використання даного методу дозволяє сформулювати початкові умови вхідних даних до системи, та прискорити їх обробку в базі знань. Хоча при цьому база знань є досить громіздкою, але це не зменшує продуктивність використання системи.

В процесі дослідження описано розробку медичної діагностичної системи підтримки ухвалення рішень лікарем-педіатром за етапами проектування. Застосування даної системи дозволяє автоматизувати процес документообігу для лікаря-педіатра та пришвидшити етап попереднього оцінювання стану пацієнта.

Вбудований модуль електронного довідника педіатра не тільки автоматизує процес документообігу, що зменшує час роботи лікаря з паперами, а й дозволяє отримувати повну інформацію про пацієнта.

Виконано розрахунок економічної ефективності від впровадження СПУР лікарем-педіатром. Розрахована вартість системи має окупитися протягом 1 року.

Перспектива додавання модулів до системи за окремими хворобами та формування електронної картки з моменту народження з перспективою передачі даних до системи для дорослих є перевагами перед аналогами даного програмного продукту.

Ключеві слова: медичні системи підтримки ухвалення рішень, розробка програмного забезпечення, економічна ефективність.

1. Вступ

Застосування інформаційних технологій у всіх сферах життя людини передбачає як розробку програмного забезпечення, так і впровадження його у

всі галузі господарства, соціальної сфери, медичних закладів та ін. Сьогодення в Україні вимагає від нас швидкого руху в бік розробки та застосування прикладних медичних програм, що впливають на роботу медичного персоналу, підвищуючи його працездатність та збільшуючи економічну вигоду.

Обмін інформацією має вирішальне значення для надання допомоги на всіх рівнях системи медичної допомоги – пацієнта, лікарів, організації охорони здоров'я та політико-економічних умов в цілому [1].

Розробка медичних інформаційних систем та систем підтримки ухвалення рішень є актуальним завданням. Аналіз застосування комп'ютерної техніки в медичних закладах показує, що зазвичай її використовують для обробки текстової інформації, забезпечення процесу документообігу та ведення баз даних [2]. Частково комп'ютери застосовуються для забезпечення роботи діагностичних та лікувальних приладів [3].

Створення систем підтримки ухвалення рішень (СПУР) спеціалізованим лікарем відповідає вимогам сьогодення. Встановлення попереднього діагнозу є важливим етапом в процесі лікування пацієнта. Створення діагностичної медичної системи підтримки ухвалення рішень забезпечить процес вчасного і вірогідного встановлення діагнозу пацієнта для вибору правильного лікування. Дана система має на меті пов'язати знання лікаря, багаторічні знання та дослідження в медицині за типом захворювання з інформаційними технологіями.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є діагностичні системи прийняття ухвалення рішень.

Дослідження проводиться на прикладі СПУР лікаря-педіатра. Система діагностування дитячих захворювань має містити базу медичних даних, базу знань на основі правил експерта та формувати рекомендації педіатру для допомоги в ухваленні попередніх рішень. Також, дана система матиме модуль електронного довідника педіатра, що міститиме інформацію про немовлят, їх щеплення та дозволить формувати їх медичну картку.

Одним з найбільш проблемних місць в дослідженні є формування бази знань на основі правил експерта, за якою надається рекомендація щодо хвороби.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є процес проектування та практичної реалізації медичної діагностичної системи ухвалення рішень та розрахунок економічної ефективності від її впровадження.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Виконати дослідження методів проектування СПУР лікарем-педіатром.
2. Описати логічні зв'язки вузлів системи на етапі проектування системи підтримки ухвалення рішень лікарем-педіатром за допомогою Case-засобів.
3. Описати вагові коефіцієнти для правил бази знань системи, що відповідають наборам дитячих симптомів хвороб.

4. Навести структурну схему роботи СПУР лікарем-педіатром та основні результати її роботи.

5. Виконати розрахунок економічної ефективності від впровадження СПУР лікарем-педіатром.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Медичні інформаційні технології містять у собі засоби впливу на організм зовнішніми інформаційними факторами, опис способів і методів їх застосування та процес навчання навичкам практичної діяльності. Першим є питання про необхідність широкого впровадження в клінічну практику апробованих засобів і методів інформаційного впливу, які відповідають таким вимогам, як безпека і простота їх використання, висока терапевтична ефективність застосування [4].

Наступним важливим питанням є стимулювання і заохочення розробки і створення нових засобів і методів впливу на організм людини, які відповідають принципам і постулатам інформаційної медицини. Одним з головних шляхів вирішення ряду медичних, соціальних та економічних проблем на сьогодні є інформатизація роботи медичного персоналу [5].

Базовою ланкою інформатизації є використання в лікарнях сучасних клінічних інформаційних систем, обладнаних механізмами підтримки прийняття рішень. Однак ці системи не одержали широкого розповсюдження, оскільки досі не розроблені наукові і методологічні підходи до створення клінічних інформаційних систем [5].

Робота [6] присвячена аналізу методів та інструментів медичних експертних систем. Деякі дослідники оцінюють свої медичні експертні системи у лікарнях, починаючи з експертів, і отримують різні параметри, такі як точність і чутливість. Використовуючи ці параметри, вони оцінили ефективність своїх експертних систем [7–9]. Точність разом з іншими параметрами експертної системи залежить від бази знань, що має відповідні знання. Треба хвилюватися над придбанням знань, стадією, в якій зібрані знання [10, 11].

Отже, показники експертної системи залежать від кожного з цих факторів. Можна збільшити продуктивність експертної системи шляхом створення більш точної бази знань, і надзвичайно мало роботи з використанням нейро-нечіткої, анізотропної та нечіткої логіки в рамках медичної діагностики [12].

Дослідження методів проектування медичних діагностичних систем є важливим етапом при розробці програмного забезпечення для медичних систем.

У роботі [13] обговорюються питання застосування потенціалу штучного інтелекту в медицині. Діагноз представляється на основі нечіткої експертної системи, а апробація проводиться на прикладі діагностики захворювань печінки.

Ефективними механізмами для проведення анамнезу є встановлення причинно-наслідкових зв'язків між захворюваннями та симптомами. У роботі [3] пропонують опис веб-орієнтованої системи для медичної діагностики сну на

основі байєсівських мереж. Даний метод дозволяє взаємодіяти експерту з користувачем для встановлення ймовірного діагнозу.

Опис розробки експертної системи мобільних додатків для надання допомоги лікарю в діагностиці, аналізі та лікуванні гідроцефалії наведено у роботі [14]. В роботі розглядаються інтелектуальні обчислювальні засоби у вигляді експертних систем на основі правил та нечіткої логіки, що застосовуються до нейронних мереж та генетичні алгоритми, що виконуються в медичній діагностиці.

На основі даних досліджень було обрано метод формування набору симптомів для дитячих хвороб та формування вагових коефіцієнтів для правил бази знань у формі «Якщо..., то...».

5. Методи досліджень

Медичні системи – це системи організації та оптимізації діяльності медичної установи:

- зручність роботи для персоналу;
- контроль і аналіз для керівника.

Системи дозволяють ефективно і зручно автоматизувати всі основні щоденні операції документообігу:

- реєстрація пацієнтів;
- ведення медичних записів;
- планування робіт;
- розрахунки з клієнтами;
- підготовка звітності в організаціях різного типу і масштабу.

На етапі створення концептуальної моделі для опису бізнес-діяльності використовуються моделі бізнес-прецедентів і діаграми видів діяльності, для опису бізнес-об'єктів – моделі бізнес-об'єктів і діаграми послідовностей.

На етапі створення логічної моделі СПУР лікаря-педіатра опис вимог до системи задається у вигляді моделі та опису системних прецедентів, а попереднє проектування здійснюється з використанням діаграм класів, діаграм послідовностей і діаграм станів.

На етапі створення фізичної моделі детальне проектування виконується з використанням діаграм класів, діаграм компонентів, діаграм розгортання. Контекстна діаграма СПУР лікаря-педіатра побудована в середовищі VRwin (рис. 1).

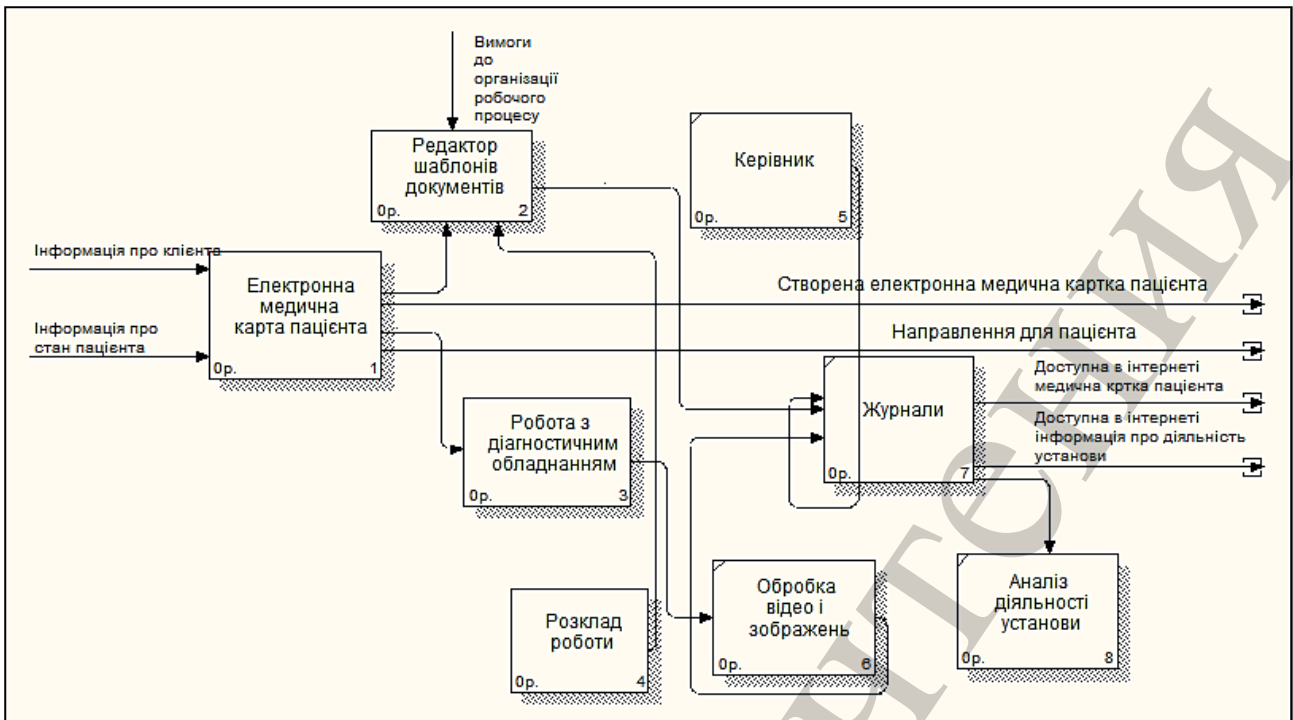


Рис. 1. Функціональна декомпозиція контекстної діаграми системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра в середовищі VRwin

Вхідним потоком (матеріал або інформація, які використовуються або перетворюються роботою для отримання результату) є інформація про пацієнта, яку приймає реєстратор СПУР лікаря-педіатра.

Управлінням (правила, стратегії, процедури або стандарти, якими керується робота) є Держстандарт роботи господарства і законодавство України.

Вихід (матеріал або інформація, що виробляються роботою) є створена електронна медична картка пацієнта та направлення до лікаря.

Механізмами (ресурси, які виконують роботу) є реєстратор.

Для дослідження технологічних процесів використовують IDEF3 діаграми. Завдяки їм описується сценарій і послідовність операцій для кожного процесу. Результат створення IDEF3 діаграми представлено на рис. 2.

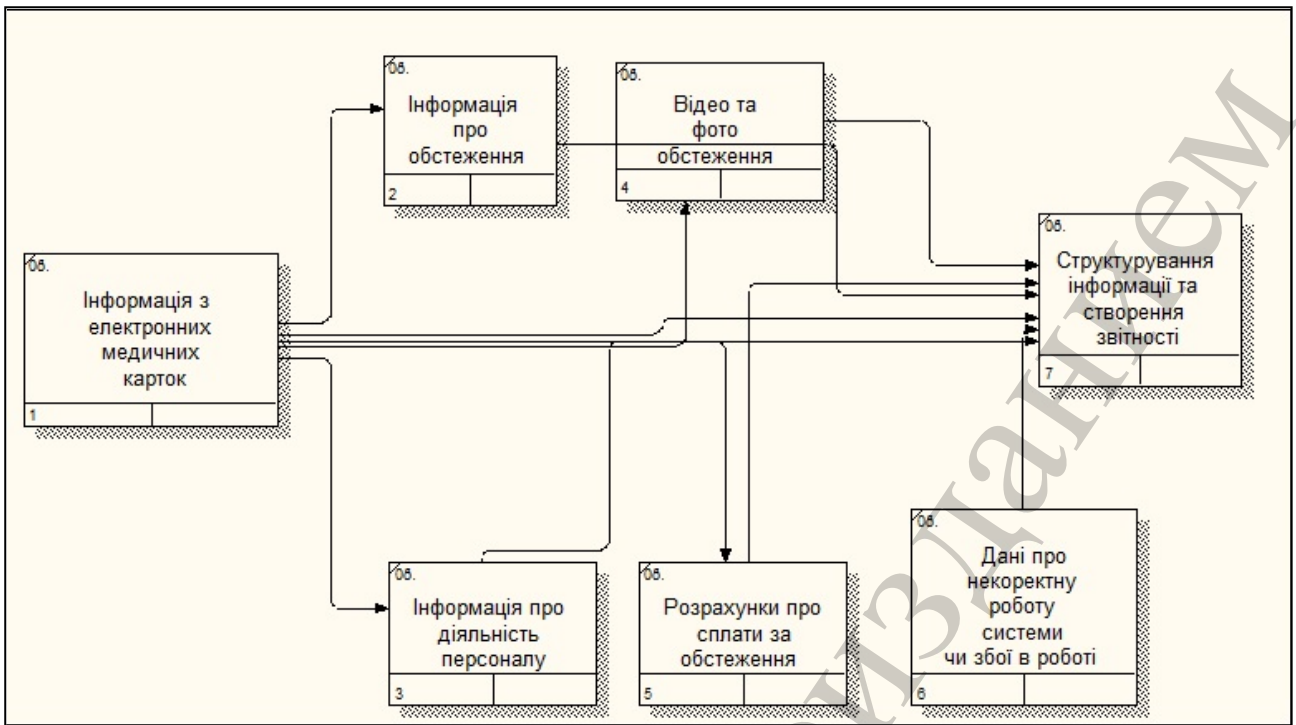


Рис. 2. Створення IDEF3 діаграми

СПУР лікаря-педіатра складається з декількох модулів, що взаємопов'язані між собою (рис. 3).

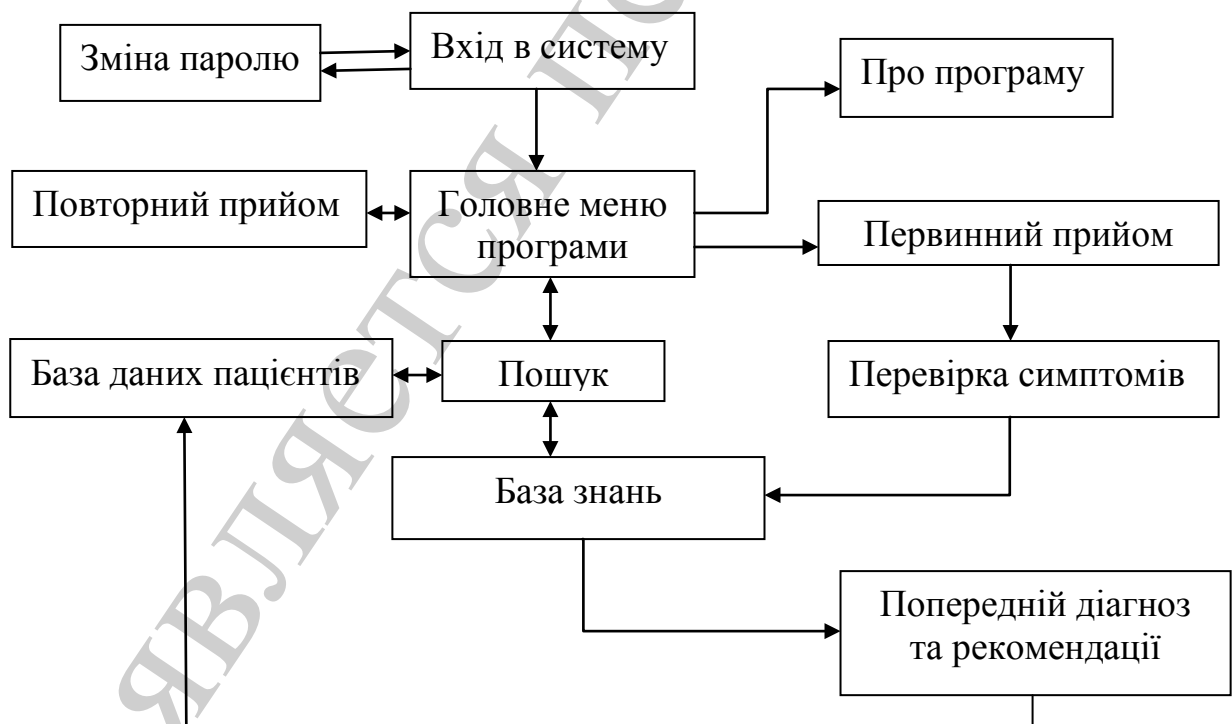


Рис. 3. Структура системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра

На основі медичних довідників в процесі розробки СПУР лікаря-педіатра сформуємо набір правил в базу знань, що характеризують хвороби за симптомами.

На рис. 4 представлена задача формування попереднього діагнозу у вигляді мережі, де a_i – симптоми, отримані від пацієнта в процесі проведення опитування ($i = \overline{1, n}$), b_j – симптоми, що характеризують хворобу за знаннями експерта ($j = \overline{1, m}$), c_k – сформований попередній діагноз. Дуги виражають причинні зв'язки між змінними a_i, b_j, c_k .

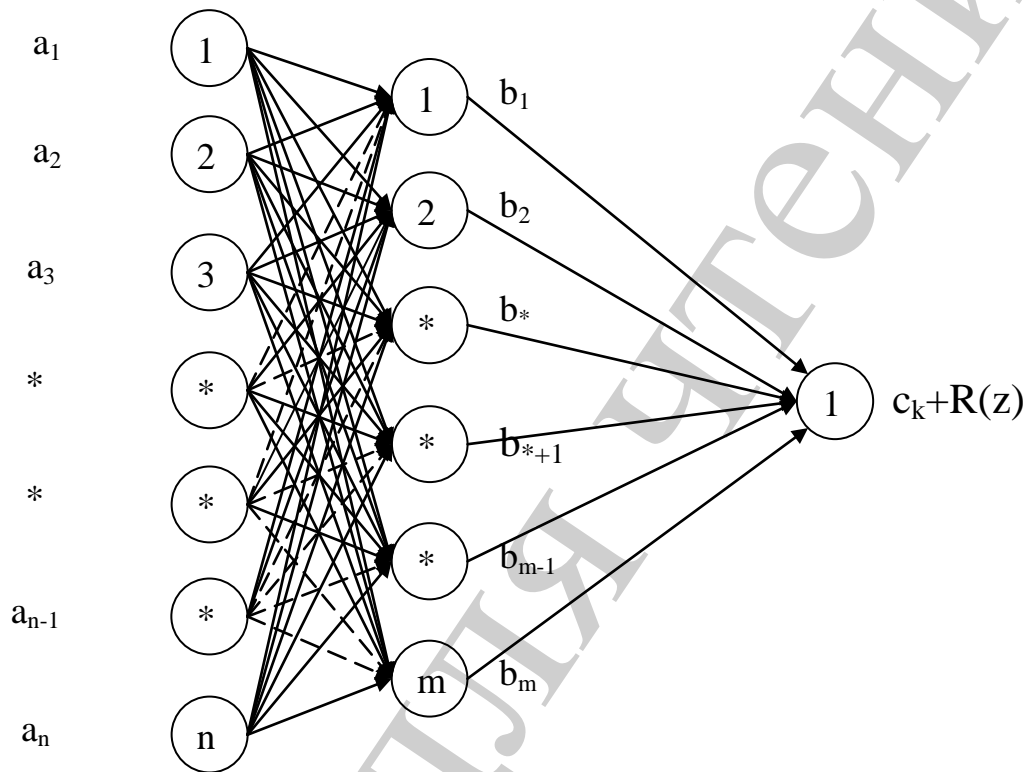


Рис. 4. Представлення задачі формування попереднього діагнозу у вигляді мережі

Обробку діагностичної інформації, що формує базу знань в загальному вигляді, опишемо у вигляді загального правила «Якщо..., то...».

$$\text{Якщо } \begin{cases} a_1 \neq p_1 x & (i) \\ \vdots \\ a_n \neq p_n x & (n) \end{cases}, \text{ то } \left[c_k \geq \sum_{i=1}^n p(x_i) \right] + R(z),$$

де $a_1 \dots a_n$ – симптоми при опитуванні пацієнта;

$b_1 \dots b_m$ – симптоми хвороби за визначенням експерта;

$p(x_i)$ – вагові коефіцієнти симптому отримані від експертів;

c_k – попередній діагноз;

$\sum_{i=1}^n p(x_i)$ – сумарний ваговий коефіцієнт діагнозу за ваговими коефіцієнтами симптому;

$R(z)$ – набір рекомендацій щодо лабораторних досліджень, що мають підтвердити попередній діагноз.

В кожному правилі для відповідного захворювання вказується набір симптомів та вагові коефіцієнти їх важливості для даного захворювання (табл. 1). Коефіцієнти визначаються на основі знань лікарів-експертів.

Таблиця 1

Набір симптомів та вагові коефіцієнти для правил бази знань системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра

Симптом	Вагові коефіцієнти
Аденоїди	
Відкритий рот	15
Хропіння	10
Задишка	7
Кашель	5
Попередній діагноз – аденоїди. Для перевірки діагнозу слід провести дослідження ротової порожнини та носоглотки за допомогою ендоскопа	
Аденовірусна інфекція	
Нежить	10
Кашель	8
Збільшення лімфовузлів	7
Кон'юктивіт	5
Попередній діагноз – аденовірусна інфекція. Для перевірки діагнозу слід провести дослідження ротової порожнини та носоглотки за допомогою ендоскопа. Також бажано провести лабораторне дослідження крові та ЕКГ (електрокардіограму), процедури РЗК (реакція зв'язування комплементу) та РГГА (реакція гальмування гемаглютинації)	
Ангіна	
Біль у горлі	15
Головний біль	9
Слабкість	7
Підвищена температура	7
Попередній діагноз – ангіна. Для перевірки діагнозу слід провести дослідження ротової порожнини. Також бажано провести лабораторне дослідження крові та ЕКГ, процедури РЗК та РГГА	

За результатами хвороб формується можливий попередній діагноз та рекомендації щодо поглиблених медичних досліджень.

Наведемо приклади комбінацій симптомів для декількох хвороб з можливим попереднім діагнозом.

6. Результати дослідження

6.1. Програмна реалізація діагностичної СПУР лікаря-педіатра

СПУР лікаря-педіатра створена для автоматичного визначення діагнозу пацієнта на основі вибраних симптомів та ведення картки фізичних даних дитини (рис. 5).

Повторний прийом

Дата прийому: 10.10.2016

Повторно прийти: Не визначено

Запис № 1 з 9

Дані

Прізвище: Коваль В. М.

Адреса: вул. Незалежності, 34

Додаткова інформація:

Скарга не самопочуття не має. Зріст та вага в межах норми. Тиск має незначне підвищення.

Дані останнього дослідження

Вік: 12 років

Ріст: 155 см. (середній)

Вага: 48 кг. (середня)

Тиск: 135 / 90 (високий)

Діагностика захворювань

Звіт

Зберегти

Редагувати

Видалити

Профілактичний огляд

Вихід

Рис. 5. Вікно картки пацієнта програми системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра

Після заповнення даних програма автоматично обраховує вік пацієнта, норми росту, ваги та тиску.

За допомогою форми «Діагностика» лікар-педіатр відмічає симптоми в процесі формування анамнезу.

Після вибору наявних симптомів відкриється вікно перегляду вибраних симптомів та діагнозів, що співпадають з цими симптомами. Також, кожному діагнозу відповідає певна оцінка, що дає можливість визначити найбільш вірогідний діагноз.

Після попереднього опитування пацієнта СПУР лікаря-педіатра формує попередній діагноз у формі звіту і пропонує призначити лабораторні дослідження для підтвердження того чи іншого діагнозу (рис. 6).

ЗВІТ

Прізвище пацієнта: **Коваль В. М.**

Симптоми	Діагноз	Оцінка
Кашель	Аденоїди	5
Головний біль	Аденоїдна інфекція	13
Кон'юнктивіт	Ангіна	24
Біль у горлі	Анемія	6
Порушення сну	Вади серця	3
	Гайморит	14
	Дифтерія	10
	Коклюш	15
	Отити	7
	Паротит	5

Попередній діагноз: Ангіна. Для перевірки діагнозу слід провести дослідження ротової порожнини. Також бажано провести лабораторне дослідження крові та ЕКГ, процедури РЗК та РГГА

Рис. 6. Вікно звіту системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра

В даному звіті буде відображено всі вибрані симптоми, діагнози, що мають відношення до них та оцінки цих діагнозів. Також тут відображено повідомлення про попередній діагноз, що є найбільш вірогідним.

6.2. Розрахунок економічної ефективності від впровадження СПУР лікарем-педіатром

Аналіз системи на основі вибраних оцінок і критеріїв – це складний та інтелектуально-насичений процес. Всі витрати та вигоди потрібно виразити в грошовому еквіваленті й на підставі цифр балансового звіту, щоб прийняти відповідне рішення. Найскладнішим є розрахунок кількісної оцінки ефективності від впровадження програмного продукту. Для цього треба виконати детальний аналіз фактичної користі від впроваджуваної системи та визначити чинники, які характеризують різні напрями отримання вигоди [15, 16].

Розраховується річний економічний ефект від впровадження нового програмного продукту за формулою:

$$\Delta E = \left(\frac{E_1}{Q_1} - \frac{E_2}{Q_2} \right) \cdot Q_2 \text{ дол. США/рік,} \quad (1)$$

$$\Delta E = \left(\frac{29900}{2550} - \frac{38452.44}{10200} \right) \cdot 10200 = 8058 \text{ дол. США/рік,}$$

де E_1 – експлуатаційні витрати при використанні існуючого програмного продукту (або без його використання взагалі), дол. США/рік;

E_2 – експлуатаційні витрати при використанні нового програмного продукту, дол. США/рік;

Q_1 – умовний обсяг роботи, що виконується за рік при використанні існуючого програмного продукту або без його використання взагалі (умовні одиниці, кількість функцій тощо);

Q_2 – умовний обсяг роботи, який виконується за рік при застосуванні нового програмного продукту (умовні одиниці, кількість функцій тощо).

Розрахунок терміну окупності T_0 витрат, які були використані на розробку, можна розрахувати за формулою:

$$T_0 = \frac{B}{\Delta E} = \frac{79385.55}{80580} = 0.98 \text{ рік.} \quad (2)$$

Оскільки $T_0 < 1 - 3$ роки новий програмний продукт вважається економічно ефективним.

Далі, виконаємо розрахунок капітальних вкладень, які необхідні для розробки кожного із запропонованих варіантів програмного продукту, а також величину експлуатаційних витрат для кожного із цих варіантів.

Собівартість одиниці нової розробки S можна розрахувати за формулою:

$$S = \frac{B_{nn} \cdot K \cdot 100 \%}{\Pi \%} \text{ дол. США,} \quad (3)$$

де B_{nn} – величина певної статті прямих витрат для нової розробки, яка вибрана за основу, дол. США;

Π – питома вага цієї статті витрат в собівартості аналога, %;

K_n – коефіцієнт, який ураховує конструктивні та технологічні особливості нової розробки, $K_n = 1 - 1.2$.

В якості прямих витрат було прийнято винагороду розробникам, яка буде сплачуватись з кожного матеріального носія з записаним програмним продуктом (так звану вартість інтелектуальної власності). Окрім цього відомо, що в виробі аналогічного типу питома вага складає 40–45 %.

$$S = \frac{500 \cdot 1.1 \cdot 100 \%}{43 \%} = 1279.1 \text{ дол. США.}$$

Величина капітальних вкладень K може бути розрахована за формулою:

$$K = B \cdot A \cdot S = 1.5 \cdot 2 \cdot 1279.1 = 3837.3 \text{ дол. США,} \quad (4)$$

де B – коефіцієнт, який ураховує витрати на розробку, придбання, транспортування, монтаж, налагодження нової розробки тощо, $B \approx 1.2 - 2.0$;

A – коефіцієнт, який ураховує прогнозований прибуток та податки, які повинен сплачувати виробник, $A \approx 1.7 - 2.3$;

S – собівартість нової розробки, розрахована спрощеним способом, дол. США.

Експлуатаційними витратами є такі витрати, які забезпечують нормальне функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку за рік.

Величина експлуатаційних витрат E за рік може бути розрахована за формулою:

$$E = k \cdot C \cdot \beta = k \cdot A \cdot S \cdot \beta \text{ дол. США/рік} \quad (5)$$

$$E = 0.4 \cdot 2 \cdot 1279.1 \cdot 0.4 \text{ дол. США/рік,}$$

де C – ціна реалізації нової розробки, якщо вона була відома або визначена раніше, дол. США/шт.;

k – коефіцієнт, який ураховує витрати на обчислювальну техніку $k=0.4-0.7$;

A – коефіцієнт, який ураховує прогнозований прибуток та податки, які повинен сплачувати виробник, $A \approx 1.7 - 2.3$;

S – собівартість нової розробки, розрахована спрощеним способом, дол. США;

β – частка часу, який витрачає працівник на обслуговування нової технічної або інтелектуальної розробки в загальному часі своєї роботи.

Від впровадження нового програмного продукту річний економічний ефект складає 80580 дол. США, всі витрати будуть окуплені протягом 1 року.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Сильною стороною системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра є її структура, яка містить базу медичних даних, базу знань на основі правил експерта та модуль формування рекомендації педіатру для допомоги в ухваленні попередніх рішень. Наявність бази знань з правилами у формі «Якщо..., то...» дозволяє зменшити час відгуку системи на запит користувача.

Вбудований модуль електронного довідника педіатра, що містить інформацію про немовлят, їх щеплення та автоматично формує медичну картку дитини. Модуль автоматизує процес документообігу, що зменшує час роботи лікаря з паперами. Також, лікар отримує повну інформацію про пацієнта у форматі 24/7.

Додатковою перевагою є ціна програмного продукту, який при впровадженні має окупитися за 1 рік.

Weaknesses. Недоліком створеного програмного продукту є початковий етап впровадження системи, що потребуватиме електронного заповнення даних пацієнтів, але він окупиться в процесі експлуатації.

Opportunities. В подальшому дана система дозволяє додавати модулі для всіх лікарів дитячої поліклініки. Програма реалізована з врахуванням цієї можливості. При цьому історія хвороби пацієнта буде доступна кожному фахівцю. Перспектива формування електронної картки у формі таблиць дозволить зменшити часові затрати при переносі дитячих карток до картотеки дорослих.

Threats. Загрозами, що матимуть негативні наслідки для системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра можна вважати:

- недостатнє фінансування охорони здоров'я при закупці програми;
- витрати на навчання персоналу клінік;
- необхідність введення до персоналу клініки фахівця, що відповідатиме за супроводження програмного продукту;
- початкові витрати часу при наповненні бази даних пацієнтів.

У світі існує велика кількість медичних діагностичних систем, що присвячені дослідженню певної кількості хвороб (однієї або декількох). Застосування їх дозволяє економити час, а в подальшому і кошти при широкому їх впровадженні. Аналогами програмного продукту можна вважати експертну систему MYCIN [17], що має простий і логічний інтерфейс та експертну систему медичної діагностики «Consilium» [18], за допомогою якої відбувається діагностика і лікування певних класів інфекційних захворювань крові. Дані системи розроблені для американської охорони здоров'я, отримали державне фінансування та запроваджені в багатьох клініках. Розроблений програмний продукт враховує переваги аналогів на ринку, але має дешевшу вартість та має переваги в простоті використання, що необхідно для сучасних лікарів.

8. Висновки

1. Виконано дослідження методів проектування СПУР лікарем-педіатром при розгляді існуючих рішень проблеми. Розглянуто методи застосування потенціалу штучного інтелекту в медицині у вигляді формування нечітких правил або проведення діагностики на основі байєсівських мереж. Розглянуто інтелектуальні обчислювальні засоби у вигляді експертних систем на основі правил та нечіткої логіки, що застосовуються до нейронних мереж та генетичні алгоритми, що виконуються в медичній діагностиці.

Для розробки системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра було обрано метод формування бази знань на основі логічних правил «Якщо..., то...».

2. Описано логічні зв'язки вузлів на етапі проектування системи підтримки ухвалення рішень лікарем-педіатром за допомогою Case-засобів. Наведено контекстну діаграму системи підтримки ухвалення рішень лікаря-педіатра, що відображає основні види діяльності дитячої лікарні, які потребують автоматизації. Дослідження технологічних процесів надали можливість отримати інформацію про відкритість та закритість циклів документообігу.

3. Описано вагові коефіцієнти для правил бази знань системи, що відповідають наборам дитячих симптомів хвороб. Дані правила формують базу

знань програмного продукту. Форма правил «Якщо..., то...» обрана у відповідності до розглянутих методів проектування СПУР.

4. Наведено структурну схему роботи СПУР лікарем-педіатром та основні результати її роботи як приклад опису програмної реалізації діагностичної СПУР лікаря-педіатра. Створена система має 5 основних модулів: захист інформації, первинний прийом, повторний прийом, база даних, база знань. Взаємодія між модулями відбувається за допомогою головного меню програми та внутрішньої взаємодії з боку бази знань.

5. Виконано розрахунок економічної ефективності від впровадження СПУР лікарем-педіатром. Розрахована вартість системи має окупитися протягом 1 року.

References

1. Building a Better Delivery System A New Engineering / ed. by Reid P. P., Compton W. D., Grossman J. H., Fanjiang G. Washington: National Academies Press, 2005. 276 p. doi:[10.17226/11378](https://doi.org/10.17226/11378)

2. Kitporntheranunt M., Wiriyasuttiwong W. Development of a Medical Expert System for the Diagnosis of Ectopic Pregnancy // Journal of the Medical Association of Thailand. 2010. Vol. 93, No. 2. P. 43–49.

3. Milho I., Fred A. A User-Friendly Development Tool for Medical Diagnosis Based on Bayesian Networks // Enterprise Information Systems II. Dordrecht: Springer, 2001. P. 113–118. doi:[10.1007/978-94-017-1427-3_16](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1427-3_16)

4. Reddy K. Developing Reliable Clinical Diagnosis Support System. 2009. 56 p. URL: <http://www.kiranreddys.com/articles/clinicaldiagnosisupportsystems.pdf>

5. Kovalchuk O. Ya., Ivanytskyi R. I. Ekspertni systemy v medytsyni. Ternopil: Ternopilska derzhavna medychna akademiia imeni I. Ya. Horbachevskoho, 2004. URL: <http://studcon.org/perspektyvy-rozvytku-medychnyh-informaciyh-system>

6. Musabekova L. M., Irsimbetova A. I. Overview of methods and tools for the expert systems in medicine // Eurasian Economic Club of Scientists Association. February 20, 2017. URL: <http://group-global.org/en/node/58678>

7. A knowledge-based system for tutoring bronchial asthma diagnosis: proceedings / Prasad B. et al. // Second Annual IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems. 1989. doi:[10.1109/cbmsys.1989.47356](https://doi.org/10.1109/cbmsys.1989.47356)

8. Bursuk E., Ozkan M., Ilerigelen B. A medical expert system in cardiological diseases: proceedings // IEEE Engineering in Medicine and Biology 21st Annual Conference and the 1999 Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society. 1999. doi:[10.1109/iembs.1999.804376](https://doi.org/10.1109/iembs.1999.804376)

9. Expert system for early diagnosis of eye diseases infecting the Malaysian population: proceedings / Ibrahim F. et al. // IEEE Region 10 International Conference on Electrical and Electronic Technology. TENCON 2001. 2001. doi:[10.1109/tencon.2001.949629](https://doi.org/10.1109/tencon.2001.949629)

10. Gebremariam S. A Self Learning Knowledge Based System for Diagnosis and Treatment of Diabetes: Master's thesis. Ethiopia: Addis Ababa University. URL: <http://etd.aau.edu.et/handle/123456789/8770>

11. Fatima B., Amine C. M. A Neuro-Fuzzy Inference Model for Breast Cancer Recognition // International Journal of Computer Science and Information Technology. 2012. Vol. 4, No. 5. P. 163–173. doi:[10.5121/ijcsit.2012.4513](https://doi.org/10.5121/ijcsit.2012.4513)
12. Singla J., Grover D., Bhandari A. Medical Expert Systems for Diagnosis of Various Diseases // International Journal of Computer Applications. 2014. Vol. 93, No. 7. P. 36–43. doi:[10.5120/16230-5717](https://doi.org/10.5120/16230-5717)
13. SushilSikchi S., Sikchi S., Ali M. S. Artificial Intelligence in Medical Diagnosis // International Journal of Applied Engineering Research. 2012. Vol. 7, No. 11. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/5bf4/2fe6806ac76065dea9db434c0f8acb5034ef.pdf>
14. Medical Diagnosis: Are Artificial Intelligence Systems Able to Diagnose the Underlying Causes of Specific Headaches?: proceedings / Farrugia A. et al. // Developments in eSystems Engineering. 2013. doi:[10.1109/dese.2013.72](https://doi.org/10.1109/dese.2013.72)
15. Veres O. M. Otsiniuvannia proektu systemy pidtrymky pryiniattia rishen // Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika». Informatsiini systemy ta merezhi. 2010. Vol. 673. P. 69–77.
16. Oksamytna L. P., Kravchenko O. V. Rozrobka avtomatyzovanoi systemy obliku medychnykh doslidzhen // Visnyk Cherkaskoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. 2016. Vol. 4. P. 46–52.
17. Ekspertna systema MYCIN. URL: <http://www.aiportal.ru/articles/expert-systems/expert-systems.html>
18. Skryninhovi kompiuterni diahnostychni systemy. URL: <http://pdnr.ru/d155912.html>