

ПРИЛАДИ

УДК 617.75.089.28:004.451.7.032.41 (045)
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.3.1/04>

Барановський Д.М.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Кучеренко В.Л.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»

ВИКОРИСТАННЯ ПРИКЛАДНИХ І ГРАДІЄНТНИХ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ БЛОКУ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ СІМЕЙНОГО ЛІКАРЯ

У статті досліджується роль систем підтримки прийняття рішень (СППР) у підвищенні ефективності роботи сімейних лікарів України з акцентом на інтеграцію прикладних і градієнтних методів оптимізації. Особлива увага приділяється розробці блоку прогнозування відмов медичного обладнання, який використовує методи машинного навчання, зокрема градієнтні методи для навчання нейронних мереж, для забезпечення надійності техніки та оптимізації ресурсів. Проаналізовано вплив інформаційних технологій, таких як eHealth, на прискорення діагностичних процесів і підвищення якості первинної медичної допомоги. Запропоновано теоретичну основу для вдосконалення СППР та їх практичного впровадження в медичну практику. Особливу увагу буде приділено інтеграції СППР у eHealth та вдосконалення СППР додаванням блоку прогнозування відмов медичного обладнання, що зменшить кількість можливих відмов та дозволить зробити процес усунення відмови до її настання більш швидким.

У статті розглядається інтеграція СППР із блоком прогнозування відмов медичного обладнання. Описано, як аналіз прогнозних даних дозволяє системі формувати обґрунтовані рекомендації щодо технічного обслуговування для забезпечення безперебійної та безпечної роботи медичних виробів. Досліджується процес навчання штучних нейронних мереж для прогнозування відмов медичного обладнання. Розглянуто підходи до обробки експлуатаційних даних, вибору архітектури моделей та підвищення точності прогнозування з метою забезпечення надійності і безпеки медичних технологій.

Ключові слова: сімейна медицина, градієнтні методи оптимізації, системи підтримки прийняття рішень, прогнозування відмов медичного обладнання, точність діагностування, якість медичної допомоги, ймовірність помилок, ризики, штучні нейронні мережі, машинне навчання, інформаційні технології, eHealth, багатовимірна нелінійна оптимізація.

Постановка проблеми. Сімейні лікарі є основою системи первинної медичної допомоги в Україні. Саме вони налагоджують перший контакт між пацієнтом та медичною системою та відповідають за профілактику, діагностику, лікування та координацію медичної допомоги. Їхня роль у підтримці здоров'я населення незамінна. Щоденна практика сімейного лікаря пов'язана з необхідністю прийняття складних рішень у ситуаціях, коли доступна інформація може бути обмеженою, а клінічні випадки – очевидними, сумнівними чи діагностично складними. Точність діагностування є одним із найважливіших

аспектів роботи сімейного лікаря, адже від неї залежить правильність вибору лікувальних методів і, зрештою, результат терапії. Помилки на етапі діагностування можуть призвести до серйозних наслідків, таких як неправильне лікування, погіршення стану пацієнта чи навіть летальні випадки. У цьому контексті сучасні інформаційні технології стають важливим інструментом, що дозволяє значно прискорити процес постановки попереднього діагнозу та підвищити його точність. Проте, незважаючи на прогрес у впровадженні інформаційних систем, таких як eHealth, залишаються актуальними

питання підвищення ефективності роботи сімейних лікарів. Зокрема, це стосується постановки заключного діагнозу відповідно до Міжнародного класифікатора хвороб (МКХ-10) та нормативних документів Міністерства охорони здоров'я України (МОЗ), оптимального вибору лікувальних методів, а також забезпечення високої якості обслуговування в умовах ресурсних обмежень [1]. СППР відкривають нові можливості для вирішення цих проблем, а їхня оптимізація за допомогою прикладних методів, таких як градієнтні методи навчання нейронних мереж, може значно підвищити ефективність медичної практики.

Метою статті є детальне дослідження можливостей оптимізації систем підтримки прийняття рішень для сімейних лікарів України. Ми прагнемо продемонструвати, як застосування прикладних методів оптимізації, зокрема градієнтних методів для навчання штучних нейронних мереж, може покращити якість медичної допомоги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Системи підтримки прийняття рішень (СППР) є визнаним інструментом у медичній галузі, який активно досліджується як у вітчизняній, так і в зарубіжній науковій літературі. Питання медичного діагностування та системного аналізу розглядаються в роботах Н.В. Білак [2], де підкреслюється важливість структурованого підходу до прийняття рішень у складних клінічних ситуаціях. Переваги використання інформаційних технологій, зокрема роботи з центральною базою даних E-Health та медичними інформаційними системами, висвітлені в працях Є.Б. Радзішевської та О.В. Висоцької [3]. Ці дослідження демонструють, як інтеграція цифрових інструментів може оптимізувати процеси в охороні здоров'я. В наукових роботах [4] проаналізовано клінічні системи підтримки прийняття рішень, акцентуючи увагу на їхніх перевагах (підвищення точності діагностування, зменшення ймовірності помилок), ризиках (технічні збої, недостатня підготовка персоналу) та стратегіях успішного впровадження. У роботі «Розробка системи підтримки прийняття рішень сімейного лікаря на засадах системного аналізу» [1] запропоновано оптимізовану модель СППР для сімейних лікарів, яка базується на системному аналізі та враховує особливості української медичної практики. Окрім цього, в науковій літературі активно досліджуються методи оптимізації, які можна застосовувати

в медичних системах. Зокрема, градієнтні методи для навчання штучних нейронних мереж є популярним інструментом у задачах багатовимірної нелінійної оптимізації, що має пряме відношення до вдосконалення СППР. Такі підходи дозволяють обробляти великі обсяги даних і знаходити оптимальні рішення в умовах невизначеності, що є критично важливим для медичної діагностики [5].

Стаття спрямована на створення теоретичної бази для розробки блоку прогнозування відмов, подальшого вдосконалення СППР та їх впровадження в медичну практику.

Постановка завдання. Система підтримки прийняття рішень – це програмно-апаратний комплекс, який допомагає сімейним лікарям у процесі аналізу даних, постановки діагнозу та вибору лікувальних стратегій [1]. СППР складається з кількох ключових компонентів: база знань, що містить медичну інформацію, протоколи лікування та стандарти (наприклад, МКХ-10); алгоритми обробки даних, які аналізують введену інформацію (симптоми, результати обстежень); інтерфейс користувача, що забезпечує зручну взаємодію лікаря з системою та іншими медичними інформаційними системами (МІС); модуль рекомендацій, який пропонує можливі діагностичні та терапевтичні рішення.

Виклад основного матеріалу. У роботі [1] описано СППР, розроблену спеціально для сімейних лікарів України.

Ця система враховує локальні особливості медичної практики, такі як нормативні вимоги МОЗ, доступність ресурсів та типові клінічні сценарії. Вона дозволяє автоматизувати рутинні процеси, зменшувати суб'єктивний фактор у прийнятті рішень і надавати лікарям обґрунтовані рекомендації на основі аналізу даних. Для підвищення ефективності та надійності СППР для сімейних лікарів до її структури можна додати блок прогнозування відмов. Цей блок призначений для аналізу стану медичного обладнання, прогнозування можливих збоїв і забезпечення своєчасного реагування на потенційні проблеми. Цей блок інтегрується в СППР наступним чином (рис. 2).

Після додавання блоку прогнозування відмов структура СППР включає такі основні компоненти: базу знань (містить медичну інформацію, протоколи лікування та стандарти), алгоритми обробки даних (аналізують введену інформацію симптоми, результати обстежень для підтримки діагностики та рекомендацій), інтерфейс користувача (забезпечує зручну взаємодію лікаря

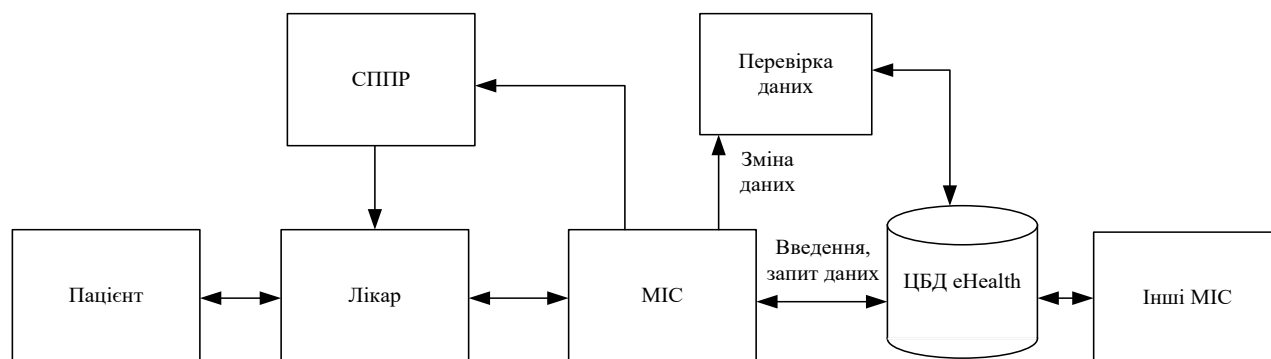


Рис. 1. Структурна схема інтеграції СППР в eHealth [1]

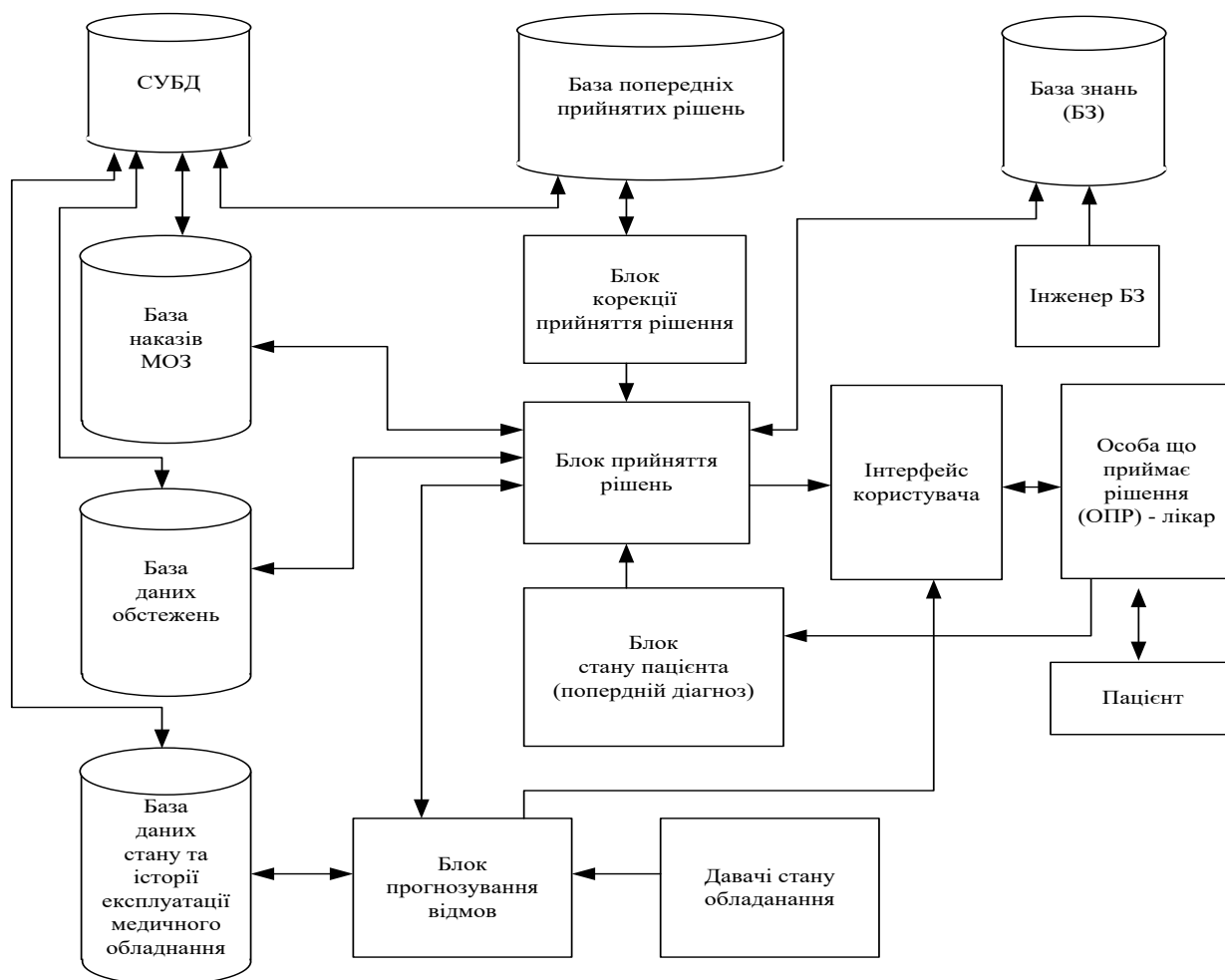


Рис. 2. Структурна схема СППР із блоком прогнозування відмов

з системою через відображення даних, рекомендацій і попереджень та сповіщень від блоку прогнозування відмов), блок прийняття рішень (пропонує можливі діагностичні та терапевтичні рішення на основі оброблених даних, враховує інформацію про стан обладнання від блоку прогнозування для коректного планування процедур, блок прогнозування відмов (аналізує дані про стан медичного обладнання знос, історія експлуатації, поточні

показники, прогнозує ймовірність відмов і видає попередження для лікарів та технічного персоналу, допомагає планувати профілактичні заходи (технічне обслуговування) та оптимізувати ресурси.

Блок прогнозування відмов додає в СППР нові можливості, спрямовані на забезпечення надійності медичного обладнання, яке використовується в первинній медичній допомозі. Прогнозування можливих відмов на основі

історичних даних і поточних показників стану обладнання (наприклад, зносу деталей, часу роботи) блок визначає ймовірність майбутніх збоїв. Попередження про потенційні проблеми – автоматично сповіщає лікарів і технічний персонал про ризик відмови, дозволяючи вчасно провести обслуговування чи заміну. Оптимізація розподілу ресурсів допомагає планувати профілактичні заходи, закупівлю запасних частин і залучення технічного персоналу, зменшуючи витрати на екстрені ремонти.

Інтеграція блоку прогнозування відмов у СППР відбувається наступним чином. Блок передає дані про стан обладнання в інтерфейс користувача для відображення попереджень. Інформація про прогнозовані відмови може впливати на рекомендації модуля, наприклад, пропонуючи відкласти процедуру до усунення проблеми з обладнанням. Технологічна реалізація: методи машинного навчання аналізують дані про обладнання для точного прогнозування відмов; інтеграція з моніторингом для отримання блоком інформації в реальному часі від сенсорів і діагностичних систем, підключених до обладнання; оптимізація розподілу ресурсів на основі прогнозів; оновлення інтерфейсу – у СППР додається розділ із повідомленнями про стан обладнання та рекомендаціями щодо дій (наприклад, «Перевірте апарат УЗД до 15.10.2025»). Інтеграція блоку прогнозування відмов у СППР підвищить надійність медичного обладнання, знизивши ризик збоїв під час критичних процедур, забезпечує безперебійну роботу системи та впевненість лікарів у справності техніки, що сприяє якісній медичній допомозі. Водночас це оптимізує витрати завдяки своєчасному виявленню проблем, запобігаючи дорогим ремонтам і простоям, а також автоматизує контроль стану обладнання, звільняючи персонал від рутинного моніторингу.

Основною перевагою СППР є її здатність інтегрувати різноманітні джерела інформації – від електронних медичних карток до результатів лабораторних досліджень – і надавати цілісну картину стану пацієнта. Однак для максимальної ефективності такої системи необхідно її вдосконалювати, застосовуючи сучасні методи оптимізації.

Оптимізація СППР для сімейних лікарів може бути реалізована на кількох ключових етапах їхньої роботи:

1. Розподіл ресурсів. Ефективне використання часу, обладнання та персоналу є критичним у первинній медичній допомозі, де ресурси

часто обмежені. Методи оптимізації дозволяють розподіляти ці ресурси таким чином, щоб забезпечити максимальну якість обслуговування з мінімальними затратами [5]. Наприклад, СППР може визначати пріоритетність обстежень для різних груп пацієнтів, враховуючи їхній стан і доступність обладнання.

2. Розробка протоколів лікування. Оптимізація допомагає створювати стандартизовані протоколи лікування, які враховують як загальні рекомендації, так і індивідуальні особливості пацієнтів. Це сприяє підвищенню ефективності терапії та зниженню ймовірності помилок.

3. Планування обстежень і лабораторних досліджень. Методи оптимізації дозволяють визначати оптимальний час і послідовність проведення діагностичних процедур, що забезпечує максимальну інформативність з мінімальними витратами часу та ресурсів.

4. Вибір лікувальних методів. Найбільш критичним етапом є вибір оптимального лікування для конкретного пацієнта. Тут методи оптимізації, зокрема градієнтні методи для навчання штучних нейронних мереж, відіграють ключову роль.

Навчання штучних нейронних мереж (НМ) полягає у знаходженні таких параметрів мережі (ваг і зміщень), які дозволяють їй найкраще виконувати поставлене завдання – наприклад, прогнозувати кількість відмов обладнання. Цей процес зводиться до задачі багатовимірної нелінійної оптимізації, де мета – мінімізувати цільову функцію, таку як середня квадратична похибка.

Розглянемо формальний опис задачі:

Нехай задано функцію

$$y = f(w, x),$$

де w – вектор параметрів мережі; x – вектор вхідних даних (історія експлуатації, поточний стан обладнання); y – вихідні дані (ймовірність відмови).

Маємо набір відомих реалізацій y^* при заданих x . Завдання – знайти w , при якому різниця між y та y^* буде мінімальною. Для цього мінімізується цільова функція:

$$F(w) = \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k Q(\varepsilon(w, m)),$$

де k – кількість ітерацій;

$\varepsilon(w, m) = y(w, x^{(m)}) - y^{*(m)}$ – вектор помилки;

$Q(\varepsilon(w, m)) = \varepsilon^T(w, m) R \varepsilon(w, m)$ – миттєвий критерій якості;

R – додатно визначена матриця.

Гradientні методи, такі як gradientний спуск, оновлюють параметри w у напрямку найбільшого зменшення $F(w)$. Базовий алгоритм gradientного спуску має вигляд:

$$w_{t+1} = w_t - \eta \nabla F(w_t)$$

де η – швидкість навчання, а $\nabla F(w_t)$ – gradient функції втрат.

Цей підхід дозволяє поступово наближати параметри w до таких значень, які мінімізують середню зважену помилку моделі. Проте класичний gradientний спуск може бути повільним для складних мереж. Тому застосовуються його модифікації (пришвидшений gradient Нестерова, Adam, RMSprop і Adagrad) [6]. У медичних задачах кількість параметрів w може сягати мільйонів чи навіть мільярдів, залежно від архітектури мережі. Це робить gradientні методи незамінними для обробки великих масивів даних, таких як параметри стану медичного обладнання та прогнозування його відмов.

Принцип роботи блоку прогнозування відмов.

Блок прогнозування відмов у СППР – це інтелектуальний модуль, призначений для оцінки стану медичного обладнання, прогнозування його можливих збоїв та запобігання раптовим поломкам. Він базується на сучасних технологіях аналізу даних, машинного навчання та сенсорних систем, щоб забезпечити безперебійну роботу техніки, яка використовується в первинній медичній допомозі. Першим етапом роботи блоку є збір даних про поточний стан обладнання та історію його експлуатації, що стане основою для подальшого аналізу та прогнозування. Під час обробки зібраних даних виявляються закономірності, які можуть сигналізувати про потенційні відмови. Аналіз даних відбувається методами статистичного аналізу, машинного навчання (штучних нейронних мереж), порогових значень. Моделі машинного навчання навчаються на історичних даних, котрі потім застосовуються до поточних показників для прогнозування. На основі оброблених даних блок генерує прогнози щодо ймовірності та часу можливих збоїв. Регресійна модель аналізує тренди (наприклад, поступове зростання температури) і екстраполює їх у майбутнє. Нейронна мережа враховує комбінацію факторів (наприклад, температура + знос + частота використання) для точнішого прогнозу. Прогноз оновлюється в реальному часі при надходженні нових даних із сенсорів. Блок не лише прогнозує, але

й активно інформує користувачів про потенційні проблеми та пропонує рішення. Блок не працює ізольовано – він тісно пов'язаний з іншими модулями СППР (рис. 2). Взаємодія відбувається таким чином: якщо обладнання ненадійне, СППР може змінити рекомендації для лікарів (наприклад, перенести процедуру на інший апарат). Дані про відмови та ремонти оновлюють базу даних, покращуючи моделі прогнозування. Блок коригує прогнози, враховуючи нові дані. Блок допомагає ефективно використовувати ресурси медзакладу. Персонал планує роботу техніків так, щоб уникнути перевантажень. Попередження раптових збоїв зменшує витрати на термінові ремонти. Блок прогнозує, що через 2 місяці 3 апарати потребуватимуть заміни фільтрів, і рекомендує закупити їх заздалегідь. Для реалізації блоку прогнозування відмов у системі підтримки прийняття рішень (СППР) медичного обладнання необхідно виконати кілька етапів від збору даних до інтеграції з системою. Алгоритм роботи блоку прогнозування відмов зображено на рисунку 3.

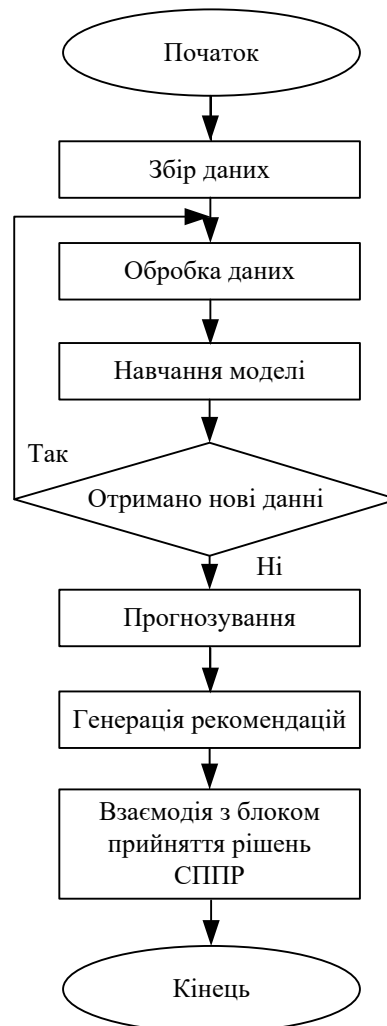


Рис. 3. Алгоритм блоку прогнозування відмов

На першому етапі відбувається збір наступних даних: історичні дані про відмови обладнання, поточні показники з сенсорів (температура, вібрація, знос), експлуатаційні параметри (кількість процедур, час роботи). Інформація надходить як у ручному режимі техніками, так і в автоматичному за допомогою IoT-сенсорів або інтеграції з системою управління обладнанням. Обробка даних включає очищення від аномалій та нерелістичних значень, нормалізацію даних, структурування, перетворення та зберігання інформації в зручний для навчання моделі формат. Далі відбувається навчання моделі, та її тренування з використанням історичних даних про відмови.

Перед створенням прогнозу відбувається перевірка надходження нових відомостей для навчання моделі. Якщо отримано нові дані, відбувається повторне навчання. У разі, коли оновлення інформації відсутнє, запускається процес створення прогнозу. Модель прогнозує час до відмови або ймовірність відмови. Далі відбувається генерація рекомендацій, порівняння отриманого прогнозу з встановленими критичними значеннями. Якщо прогноз перевищує поріг,

видається попередження. Наприклад, «Замініть деталь» або «Проведіть діагностику». В блок прийняття рішень надходять результати прогнозів відмов, а рекомендації виводяться напряму в інтерфейс користувача.

Висновки. Системи підтримки прийняття рішень, оптимізовані за допомогою прикладних методів, зокрема градієнтних методів для навчання нейронних мереж, мають потенціал значно покращити роботу сімейних лікарів. Штучний інтелект уже сьогодні трансформує медицину, надаючи нові можливості для діагностування, персоналізованого лікування та досліджень. Додавання блоку прогнозування відмов у структуру СППР для сімейних лікарів значно підвищує надійність медичного обладнання та ефективність роботи системи. Цей компонент не лише забезпечує безперебійну роботу техніки, а й оптимізує ресурси, що сприяє якіснішій і безпечнішій медичній допомозі для пацієнтів. Рекомендуємо подальші дослідження у напрямку вдосконалення СППР, зокрема з акцентом на практичне впровадження ШІ у систему первинної медичної допомоги України.

Список літератури:

1. Барановський Д. М. Розробка системи підтримки прийняття рішень сімейного лікаря на засадах системного аналізу. Технічна інженерія. 2023. № 2 (92). С. 89–95.
2. Білак Н. В. Основи системного аналізу та прийняття рішення: конспект лекцій / Н. В. Білак. Київ : НАУ, 2023. 81 с.
3. Радзішевська Є. Б. Інформаційні технології в медицині E-Health : підручник / Є. Б. Радзішевська, О. В. Висоцька. Харків : ХНМУ, 2019. 73 с.
4. Sutton R. T. An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success / R. T. Sutton, D. Pincock, D. C. Baumgart, D. C. Sadowski, R. N. Fedorak, K. I. Kroeker / npj Digital Medicine [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.nature.com/articles/s41746-020-0221-y>
5. Барановський Д. М. Застосування прикладних методів оптимізації при розробці системи підтримки прийняття рішень сімейного лікаря, The 10 th International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education”(August 29–31, 2024) Perfect Publishing, Toronto, Canada. 2024. 367 p.
6. O. G. Avrunin, E. V. Mustetsova, N. I. Zabolotna, D. M. Baranovskiy, A. M. Dyvak, Possibilities of apnea diagnostics by fuzzy logic methods, Information technology in medical diagnostics II, p. 39–47, 2018.

Baranovskyi D.M., Kucherenko V.L. USE OF APPLIED AND GRADIENT OPTIMIZATION METHODS FOR DEVELOPMENT OF A FAILURE PREDICTION BLOCK IN A FAMILY DOCTOR'S DECISION SUPPORT SYSTEM

The article explores the role of decision support systems (DSS) in increasing the efficiency of family doctors in Ukraine with an emphasis on the integration of applied and gradient optimization methods. Special attention is paid to the development of a medical equipment failure prediction block that uses machine learning methods, in particular gradient methods for training neural networks, to ensure the reliability of equipment and optimize resources. The impact of information technologies, such as eHealth, on accelerating diagnostic processes and improving the quality of primary health care is analyzed. A theoretical basis for improving DSS and their practical implementation in medical practice is proposed. Special attention will be paid to the integration of DSS into eHealth and improving DSS by adding a medical equipment failure prediction block, which will reduce the number of possible failures and make the process of eliminating failure before it occurs faster.

The article considers the integration of DSS with a medical equipment failure prediction block. It describes how predictive data analysis allows the system to generate informed maintenance recommendations to ensure the smooth and safe operation of medical devices. The process of training artificial neural networks to predict medical equipment failures is investigated. Approaches to processing operational data, choosing model architectures, and improving prediction accuracy are considered to ensure the reliability and safety of medical technologies.

Key words: *family medicine, gradient optimization methods, decision support systems, prediction of medical equipment failures, diagnostic accuracy, quality of medical care, probability of errors, risks, artificial neural networks, machine learning, information technology, eHealth, multidimensional nonlinear optimization.*