

Козак Л.М.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Суровцев І.В.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Романюк О.О.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Пезенцалі Г.О.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АКУМУЛЮВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ОБМІНУ ЦИФРОВИМИ МЕДИЧНИМИ ТА ЕКОЛОГІЧНИМИ ДАНИМИ

Для створення єдиної функційної мережі необхідно поєднати медичну інформаційну систему закладу охорони здоров'я, інформаційно-діагностичні системи та системи збереження та архівування цифрових медичних даних різного виду. Багато фахівців визначають вкрай актуальним розвиток електронної охорони здоров'я, телемедицини для об'єднання фахівців для спільного прийняття рішень щодо діагностування, лікування та реабілітації пацієнтів, активного залучення пацієнтів до піклування про своє здоров'я.

Мета – проаналізувати методи акумулювання, аналізування та обмінювання цифровими медичними та екологічними даними та надати описання інформаційної технології, яку розроблено з використанням цих методів задля забезпечення доступності цифрових медичних та екологічних даних для їхнього практичного використання.

Для оптимального функціонування сховища медичних даних, для забезпечення обміну ними між пацієнтом та лікарями, було розроблено інформаційну технологію (ІТ) акумулювання та обміну цифровими медичними та екологічними даними. Розроблена інформаційна технологія підтримує принципи інтероперабельності, доступності даних та неперервності процесів діагностування, лікування, реабілітації та профілактики. На чотирьох основних етапах ІТ здійснюється одержання, первинне акумулювання, аналізування та обмінювання збереженими цифровими даними. Для оперативного визначення ризиків появи захворювань людини внаслідок споживання забрудненої питної води застосовано сучасні переносні системи швидкого визначення вмісту хімічних речовин у воді (I етап ІТ) з подальшим аналізом за моделлю оцінювання неканцерогенного ризику (III етап ІТ), що забезпечує ефективну організацію роботи з даними вимірювань – їх збирання, передавання, зберігання, оброблення та аналіз.

Ключові слова: інформаційна технологія, прогностичні моделі, збереження, цифрові медичні дані, методи Data Mining, діагностування, лікування, реабілітація, профілактика, ризиків появи захворювань.

Постановка проблеми. Збір, оброблення, зберігання та аналіз медичних даних займає провідне місце для побудови електронної системи охорони здоров'я. Різноманітність цих даних, різноманітність джерел їх отримання ставить перед розробниками інформаційно-програмних засобів певні

проблеми. Однією з таких проблем є проблема обміну даними з збереженням відповідних медичних інформаційних стандартів. Для створення єдиної функційної мережі необхідно поєднати медичну інформаційну систему (МІС) закладу охорони здоров'я, інформаційно-діагностичні

системи (ІДС) та системи збереження та архівування цифрових медичних даних різного виду.

Іншою проблемою є великі обсяги цифрових медичних даних (ЦМД), і в першу чергу, цифрових медичних зображень (ЦМЗ) у закладі охорони здоров'я (ЗОЗ), що вимагає використання великого дискового простору для зберігання та якісних ресурсів для їхнього оброблення. Використання хмарних технологій дає змогу віртуально розширити мережеві сховища даних, надати до них доступ великій кількості користувачів, що сприяє зростанню якості надання медичних послуг.

Аналіз останніх публікацій. Прогрес розвитку інформаційних технологій у сфері охорони здоров'я сприяв створенню парадигми електронного здоров'я (eHealth), яка поєднує поняття про процеси одержання та акумулювання інформації про здоров'я людини, методи аналізу цієї інформації та засоби забезпечення доступності цифрових даних для їхнього практичного використання.

Електронне здоров'я (eHealth) – це термін, який описують як сферу, що розвивається на перетині медичної інформатики, охорони здоров'я та бізнесу, посиляючись на медичні послуги та інформацію, що її надають або поширюють засобами Інтернет і суміжними технологіями. У ширшому розумінні термін характеризує не лише технічний розвиток, але й спосіб мислення, ставлення до мережевого глобального мислення для покращення охорони здоров'я за використання інформаційно-комунікаційних технологій.

Запланована на 2020–2025 роки та продовжена до 2027 року Глобальна стратегія Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) визначає основні завдання цифрової охорони здоров'я задля прискорення впровадження ефективних рішень щодо підтримки процесу надання медичної допомоги із застосуванням інформаційних технологій охорони здоров'я, орієнтованих на пацієнтів. У 2024 році ВООЗ було започатковано впровадження Smart AI Resource Assistant for Health (Розумний помічник зі штучним інтелектом для охорони здоров'я), який на основі застосування методів штучного інтелекту надає інформаційну підтримку лікувально-діагностичних процесів у таких важливих сферах, як онкологія, серцево-судинні захворювання, захворювання легень та діабету [1].

Одним з принципів цифрової охорони здоров'я у Глобальній стратегії ВООЗ визначено принцип персоналізації медицини. Орієнтування на відповідність цьому принципу збільшить поширення медичної інформації, тобто зумовить значне

зростання обсягів цифрових медичних даних на всіх рівнях їх зберігання. Але неодноразово підкреслено, що необхідно забезпечити конфіденційність під час оброблення персональних даних пацієнта, автономія та конфіденційність пацієнта. Підкреслено необхідність підтримки прозорості та інтерпретованості аналізу цифрових медичних даних з врахуванням етичних стандартів, коректного використання міжнародних інформаційних стандартів їхньої реєстрації та зберігання, а також убезпечення персональних даних пацієнта під час використання штучного інтелекту в системі охорони здоров'я [2] – [4].

Базуючись на результатах численних досліджень зміни стану здоров'я пацієнтів і окремих фізіологічних систем, українські фахівці з медичної інформатики застосували методи математичного моделювання для виявлення закономірностей реагування фізіологічних систем на різноманітні зовнішні чинники, ефективності діагностування стану цих систем організму людини та наданих програм лікування та реабілітації [5] – [9]. Ці та інші різноманітні моделі, а також міжнародні медичні інформаційні стандарти покладено в основу мобільних застосунків та інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в сферах клінічної та превентивної медицини [10] – [12].

Аналізуючи сучасні напрями розвитку цифрової медицини та інформаційних систем як одного з поширенішого засобу реалізації її завдань, багато фахівців визначають вкрай актуальним розвиток електронної охорони здоров'я, телемедицини для об'єднання різних фахівців для спільного прийняття рішень щодо діагностування, лікування та реабілітації пацієнтів, активного залучення пацієнтів до піклування про своє здоров'я [13] – [15].

Постановка завдання. Наразі світовою медичною спільнотою визначено безперечне значення застосування інформаційних технологій цифрової медицини як вагомий чинник стимулювання розбудови електронної системи охорони здоров'я для підвищення рівня здоров'я населення кожної країни світу. Розроблення та застосування ефективних засобів цифрової медицини має особливе значення для України за умов воєнного стану.

Мета – проаналізувати методи акумулювання, аналізування та обмінювання цифровими медичними та екологічними даними та надати описання інформаційних технологій, які розроблено з використанням цих методів задля забезпечення доступності цифрових медичних та екологічних даних для їхнього практичного використання.

Виклад основного матеріалу. Технології

опрацювання та зберігання медичної та екологічної інформації мають як спільні риси, так і певні особливості, тому розглянемо такі технології із зазначенням їхніх характерних етапів. Сучасні інформаційні технології охоплюють сукупність методів аналізу інформації та їх збереження, тому різноманіття їхніх елементів зумовлює використання поняття технологічного модуля як функційно самостійної частини технології.

Джерела одержання цифрових медичних та екологічних даних. Початком будь якого медико-екологічного дослідження є одержання масиву даних, згідно із відповідними завданнями.

Для ефективного аналізу медичної інформації необхідно враховувати джерела її одержання. Для аналізу ЦМД треба розрізняти такі базові типи джерел: 1) результати лабораторних досліджень, тестувань у відділеннях функціональної діагностики поліклінік та у діагностичних центрах із застосуванням затверджених методик, протоколів та сертифікованих приладів, тобто об'єктивна інформація, за сучасними стандартами запису та верифікована медичними працівниками, і 2) результати прямого збору даних власно пацієнтом, які зараз отримуються здебільшого з використанням мобільних застосунків, тобто інформація без верифікації медичними фахівцями [16]. Для формалізації ЦМД другого типу обов'язково використовують спеціальні форми-шаблони, які мають виокремлені поля для внесення зібраних даних із забезпеченням необхідного формату.

Для одержання даних екологічного моніторингу, зокрема питної води, використовуються портативні прилади, з автономним електроживленням, надійними аналітичними властивостями, які надають можливість здійснювати моніторинг

у режимі реального часу. Таку портативну систему екологічного моніторингу води розроблено авторами в Інституті інформаційних технологій та систем НАН України, яка забезпечує швидке вимірювання концентрацій важких металів електродними методами інверсійної хронопотенціометрії [17].

Інформаційна технологія акумулювання та обмінювання цифровими медичними та екологічними даними. Для оптимального функціонування сховища медичних даних, для забезпечення обміну ними між пацієнтом та лікарями, було розроблено інформаційну технологію (ІТ) акумулювання та обміну цифровими медичними та екологічними даними (рис. 1).

Як же попередньо було зазначено, I етап – це одержання інформації з різних джерел даних про здоров'я: біометричні дані пацієнта, результати анкетування стану здоров'я, дані досліджень за допомогою інструментальних діагностичних систем (цифрові медичні зображення чи сигнали), цифрові медичні записи від лікаря-лаборанта чи сімейного лікаря тощо. Якщо мова йде про аналіз чинників довкілля, які впливають на стан здоров'я особи, на цьому етапі визначається концентрації хімічних речовин, зокрема концентрація важких металів та йонів у питній воді.

Основним процесом на II етапі є зберігання, це може бути реалізовано як у локальних цифрових сховищах закладів охорони здоров'я (ЗОЗ) чи установах екологічного контролю, так і у хмарних сховищах (зокрема PACS та інші сервери зберігання). На основі розробленого тривірневого методу зберігання використано поетапний варіант, коли дані певний час зберігаються локально, а потім переносяться на зовнішні сховища тривалого зберігання.

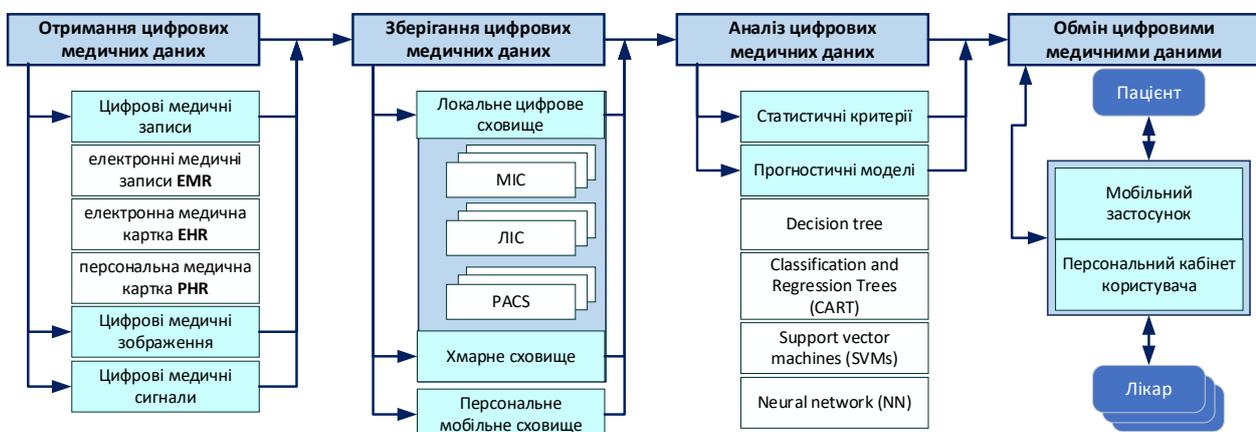


Рис. 1. Загальна структура інформаційної технології

Для персональних медичних карток пацієнта необхідно використовувати персональне мобільне сховище, яке також розміщено на хмарних сервісах. Наразі в Україні функціонує загальнодержавна Електронна система охорони здоров'я (ЕСОЗ), в центральну базу (ЦБД ЕСОЗ) якої заносяться електронні медичні записи пацієнтів лікарями ЗОЗ, проте доступ до цих даних пересічним громадянам значно обмежено, ними у певному обсязі можуть користуватися лише зареєстровані та верифіковані медичні працівники.

На III етапі здійснюється аналіз збережених даних за актуальними завданнями. Використано статистичні критерії та прогностичні моделі за методами Data Mining: методи дерев рішень, метод опорних векторів (Support vector machine -SVM), нейронні мережі. За розробленими моделями (метод дерев рішень), розрахованих за алгоритмом CART (Classification And Regression Tree), лікарю надається конкретна та точна інформація за поставленими завданнями. Так наприклад, результат класифікації ускладнень (точність 80%) надав змогу визначити найчастіші ускладнення у пацієнтів кардіологічного профілю та залежність результату лікування від визначених чинників (рис. 2).

Також на цьому етапі оцінюється ризик для здоров'я та аналізується одержані результати оцінювання ризиків появи захворювань людини внаслідок споживання забрудненої питної води. Для цього використано безпорогову модель оцінювання потенційного неканцерогенного ризику, що базується на ймовірних оцінках розвитку несприятливих ефектів.

IV етап – це обмін цифровими медичними даними між пацієнтом та медичними працівниками різних ЗОЗ. За допомогою мобільного застосунку або персонального кабінету користувача отримуються дані з різних сховищ ЗОЗ та записуються до персонального мобільного сховища пацієнта для того щоб, по-перше, інформація про стан здоров'я була повною та актуальною, по-друге, лікар мав доступ до даних які генерує пацієнт особисто, наприклад, щоденник моніторингу артеріального тиску або рівня глюкози крові, щоб розуміти динаміку зміну стану та ефективність призначених ліків. Цей етап найбільш технологічно складний, адже потрібно акумулювати дані з різних джерел до персонального сховища, а також забезпечити безпечну передачу цих даних.

Висновки. Розроблена інформаційна технологія підтримує принципи інтероперабельності, доступності даних та неперервності процесів діагностування, лікування, реабілітації та профілактики. На чотирьох основних етапах ІТ здійснюється одержання, первинне акумулювання, аналізування та обмінювання збереженими цифровими даними.

Для оперативного визначення ризиків появи захворювань людини внаслідок споживання забрудненої питної води застосовано сучасні переносні системи швидкого визначення вмісту хімічних речовин у воді (I етап ІТ) з подальшим аналізом за моделлю оцінювання неканцерогенного ризику (III етап ІТ), що забезпечує ефективну організацію роботи з даними вимірювань – їх збирання, передавання, зберігання, оброблення та аналіз.

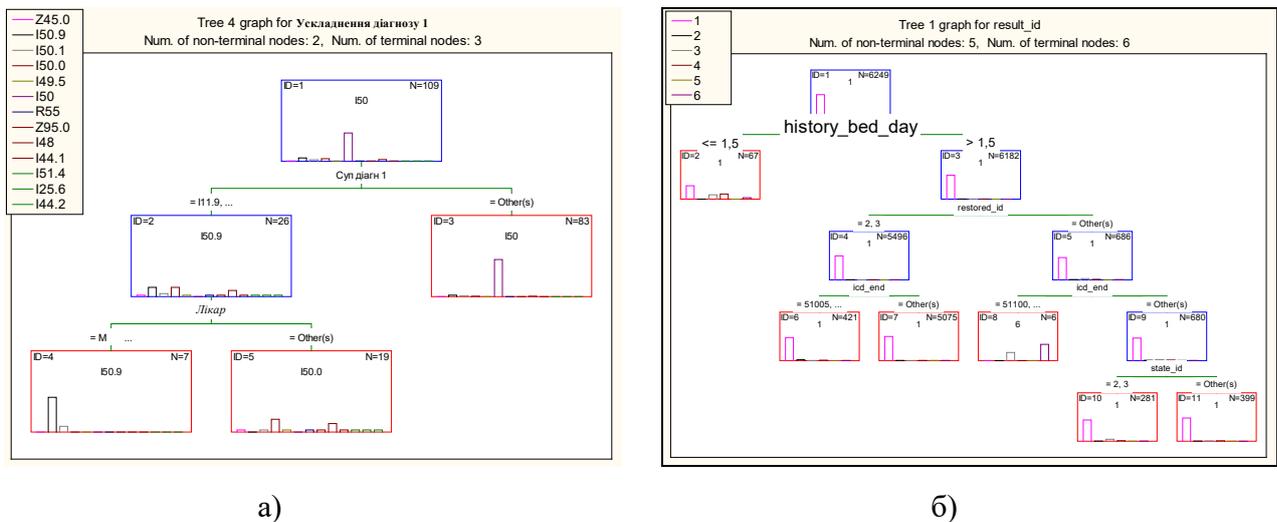


Рис. 2. Визначення ускладнень (а) та залежності результату лікування від чинників: діагноз, кількість ліжко-днів, повторюваність госпіталізації (б)

Список літератури:

1. Hagen J. World Health Assembly extends Global Strategy on Digital Health to 2027. May 23, 2025. URL: <https://www.mobihealthnews.com/news/world-health-assembly-extends-global-strategy-digital-health-2027>
2. Jeyaraman M., Balaji S., Jeyaraman N., Yadav S. Unraveling the ethical enigma: artificial intelligence in healthcare. *Cureus*. 2023. 15(8). e43262. <https://doi.org/10.7759/cureus.43262>
3. Hovhannisyan K., Bogacki P., Colabuono C.A., Lofù D., Marabello M. V., Maxwell B. E. “Towards a Healthcare Cybersecurity Certification Scheme,” 2021 International Conference on Cyber Situational Awareness, Data Analytics and Assessment, Dublin, Ireland, 2021, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1109/CyberSA52016.2021.9478255>
4. Caine K., Hanania R. Patients want granular privacy control over health information in electronic medical records. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2013. Vol. 20, no. 1. P. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.1136/amiajnl-2012-001023>
5. Fainzilberg L. S. New Opportunities of Phasegraphy in Medical Practice *Science and Innovation*. 2017. Vol. 13. Issue 3 P. 37-50. <https://doi.org/10.15407/scine13.03.037>
6. Kaplin I. V., Kochina M. L., Demin Yu. A., Firsov O. H. The System of Intraocular Pressure Assessment Using Interference Eye Pictures. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2019, 1(195), pp. 64-81. <https://doi.org/10.15407/kvt195.01.064>
7. Yermakova I. I., Potter A. W., Raimundo A. M., Xu X., Hancock J. W., Oliveira A. V. M. Use of thermoregulatory models to evaluate heat stress in industrial environments. *Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19 (13), 7950. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137950>
8. Yermakova I.I., Montgomery L.D., Potter A.W. Mathematical model of human responses to open air and water immersion. *Journal of Sport and Human Performance*. 2022. vol. 10(1). pp. 30–45. <https://doi.org/10.12922/jshp.v12i1.196>
9. Kopilevich V. A., Surovtsev I. V., Galimova V. M., Maksin V. I. , Mank V. V. Control of Trace Amounts of Selenium in Drinking Waters Using the Pulse Inverse Chronopotentiometry Method. *Journal of water chemistry and technology*. 2018. Vol. 40. No. 6. P. 343–347. <https://doi.org/10.3103/S1063455X1806005X>
10. Vovk M. I., Halian Ye. B., Kutsiak O. A. Computer Software & Hardware Complex for Personal Oral Speech Restoration after a Stroke. *Sci. innov*. 2020. Vol. 16, № 1(91). pp. 54–68. <https://doi.org/10.15407/scine15.05.054>
11. Kovalenko O. S., Mishchenko R. F., Kozak L. M. Transformation of Clinical Decision Support Systems into FHIR Structures to Ensure Quality of Medical Care. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2019. 4(198). pp. 78–94. <https://doi.org/10.15407/kvt198.04.078>
12. Kryvova O. A., Kozak L. M. Information Technology for Classification of Donosological and Pathological States Using the Ensemble of Data Mining Methods. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2021. 1(203). pp 77–96. <https://doi.org/10.15407/kvt203.01.077>
13. Abbasgholizadeh Rahimi S., Légaré F., Sharma G., et al. Application of Artificial Intelligence in Community-Based Primary Health Care: Systematic Scoping Review and Critical Appraisal. *J Med Internet Res*. 2021 Sep 3. 23(9). e29839. <https://doi.org/10.2196/29839>.
14. Bouhadana D., Lu X. H., Luo J. W., et al. Clinical Applications of Machine Learning for Urolithiasis and Benign Prostatic Hyperplasia: A Systematic Review. *J Endourol*. 2023 Apr. 37(4). 474–494. <https://doi.org/10.1089/end.2022.0311>
15. Lupton D. Critical perspectives on digital health technologies. *Sociology compass*. 2014. Vol. 8, no. 12. P. 1344–1359. <https://doi.org/10.1111/soc4.12226>
16. Romanyuk O., Kozak L., Kovalenko O. Formation of an interoperable information environment of digital medicine: personal medical data. *Science and innovation*. 2021. Vol. 17, No. 5. Pp. 50–62. <https://doi.org/10.15407/scine17.05.050>
17. Surovtsev I., Stepashko V., Galimova V., Savchenko-Syniakova Ye. System Modeling of a Multicomponent Differential Signal of Stripping Chronopotentiometry. In: Kazymyr, V., et al. Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2025. vol 1391. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-90735-7_3
18. Kozak L. M., Kovalenko O. S., Surovtsev I. V. Basic Components of the Software Modules Construction for Obtaining, Storing and Exchanging Medical and Environmental Information. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2023. 3(213). pp 53–68. <https://doi.org/10.15407/kvt213.03.053>
19. França R.P., Monteiro F.C.B, Arthur R., Iano Yu. An overview of the impact of PACS as health informatics and technology e-health in healthcare management. In: Cognitive Systems and Signal Processing in Image Processing. *Academic Press*. 2022. Pages 101–128. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128244104000076>

Kozak L.M., Surovtsev I.V., Romanyuk O.O., Pezentsali H.O. INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ACQUISITION, ANALYSIS AND EXCHANGE OF DIGITAL MEDICAL AND ENVIRONMENTAL DATA

It is necessary to combine the medical information system of a healthcare institution, information and diagnostic systems and systems for storing and archiving digital medical data of various types to create a single functional network. Many experts consider the development of electronic healthcare and telemedicine to be extremely relevant for uniting different specialists for joint decision-making on the diagnosis, treatment and rehabilitation of patients, and for actively involving patients in caring for their health.

The purpose of this article is to analyze the methods of accumulating, analyzing and exchanging digital medical and environmental data and to provide a description of the information technology developed using these methods to ensure the availability of digital medical and environmental data for their practical use.

For the optimal functioning of the medical data repository, to ensure their exchange between the patient and physicians, an information technology (IT) for accumulating and exchanging digital medical and environmental data was developed. This information technology supports the principles of interoperability, data availability and continuity of the processes of diagnosis, treatment, rehabilitation and prevention. At the four main stages of IT, the obtaining, initial accumulation, analysing and exchanging of stored digital data are carried out. To promptly determine the risks of human diseases due to the consumption of contaminated drinking water, modern portable systems for rapid determination of the content of chemicals in water (stage I of IT) were used with subsequent analysis using the non-carcinogenic risk assessment model (stage III of IT), which ensures effective organization of work with measurement data – their collection, transmission, storage, processing and analysis.

Key words: *information technology, prognostic models, storage, digital medical data, statistical criteria, Data Mining methods, diagnosis, treatment, rehabilitation, prevention, risks of diseases, content of chemicals in water.*

Дата надходження статті: 24.11