

Козак Л.М.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Романюк О.О.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Коваленко О.С.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Суровцев І.В.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Пезенцалі Г.О.

Інститут інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

МОДЕЛЬ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЦИФРОВИХ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОГО АНАЛІЗУ МЕДИЧНИХ ДАНИХ

Окремим завданням розбудови цифрової екосистеми охорони здоров'я є організація багаторазового використання медичних зображень, які характеризуються величезними об'ємами та потребують застосування сучасних методів оброблення: методів класифікації та кластеризації, методів Data Mining, зокрема нейромережевих технологій (конволюційних нейронних мереж). Великі обсяги цифрових медичних зображень вимагають використання великого дискового простору та якісних ресурсів для їхнього оброблення.

Метою цієї статті є окреслення технологічних аспектів обміну цифровими медичними зображеннями для багаторазового використання в екосистемі цифрової медицини України та розроблення моделі зберігання цифрових медичних зображень як основи для забезпечення різних рівнів локалізації їх зберігання та завчасного ефективного аналізу під час діагностування та лікування пацієнтів. Запропонована модель збереження цифрових медичних зображень (ЦМЗ) описує бізнес-процеси на різних рівнях: I рівень – зберігання в базі даних або в архіві інформаційно-діагностичної системи, де зображення формується; II рівень – тимчасове сховище, де зберігаються зображення DICOM-формату, до яких відкривається доступ для використання в лікувально-діагностичному процесі; III рівень – забезпечення зберігання зображень на основі електронних сховищ тривалого зберігання з надійними каналами зв'язку, великим дисковим простором та відповідними обчислювальними потужностями. Підкреслено потенціал використання систем архівування та обміну зображеннями (PACS) для підвищення якості медичних послуг та інтеграції української системи охорони здоров'я у світовий цифровий простір. Форматом зображень для зберігання у PACS є міжнародний стандарт DICOM, який є поєднанням зображення великої роздільної здатності, структурованого опису його метаданих та правил обміну і зберігання цієї інформації.

Ключові слова: великі обсяги медичної інформації, модель, PACS, оцінювання, ємність дискового простору, методи Data Mining, класифікація, підвищення ефективності діагностики.

Постановка проблеми. Сучасна медицина дедалі більше покладається на цифрові технології для підвищення ефективності діагностики, лікування та керування даними пацієнтів. Одним з завдань розбудови цифрової екосистеми охорони здоров'я є організація багаторазового використання медичних зображень, які, з одного боку, є первинними носіями медичної інформації – фактологічних даних, а з іншого – характеризуються величезними об'ємами, тому потребують ретельного підходу до керування. В Україні, попри очевидні переваги такого неодноразового використання інформації медичних зображень, впровадження та повноцінне функціонування системи обміну цифровими зображеннями стикається з низкою системних викликів. Серед основних перешкод розбудови такої екосистеми в Україні є застаріла інфраструктура, недостатність сучасного устаткування у лікувальних закладах, низька практична застосовність нормативно-правової бази, проблеми кібербезпеки і загальної безпеки тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цифрові медичні зображення надають значну частку інформації, яку лікарі використовують для прийняття рішень щодо діагностування стану пацієнтів, формування тактики їх лікування та реабілітації. Для оброблення та дослідження цього класу цифрових медичних даних створено великий масив різних методів класифікації, виявлення ознак та сегментації зображень, перетворення з подальшою валідацією та інші [1]. Оброблення та аналіз великих обсягів медичної інформації потребує застосування сучасних інтелектуальних методів оброблення: методів класифікації та кластеризації, інших методів Data Mining, зокрема нейромережових технологій тощо. Наразі у завданнях оброблення цифрових медичних зображень (ЦМЗ) застосовують методи створення конволюційних нейронних мереж (CNN), які не потребують ручного налаштування фільтрів і шаблонів. Результати багатьох досліджень показують, що особливо такі моделі та методи є ефективними для аналізу зображень як результатів томографії [2].

Одним з базових принципів застосування методів аналізу ЦМЗ залишається необхідність узгодження з бізнес-процесами конкретного ЗОЗ. Останні десятиріччя були процесом переходу від локальних МІС окремих медичних установ до інтеграції таких ресурсів у більш централізовані системи [3]. Ці складні процеси і досі не знайшли повного рішення через особливості, зумовлені різною архітектурою локальних МІС, багатоплатфор-

містю, використанням різних форматів даних тощо. Також залишається вкрай актуальним завдання створення та впровадження загальнодоступних інформаційних ресурсів з розширеними функціями зберігання великих масивів даних та доступності до користування ними медичними фахівцями різного профілю, постачальників медичних послуг та пацієнтів [4, 5, 6]. Розроблено системи архівування та обміну зображеннями (Picture Archiving and Communication Systems – PACS), які використовуються в різних галузях [7, 8].

Цифрові медичні зображення є результатами інструментальних обстежень пацієнтів, зокрема це рентгенограми, ультразвукове дослідження (УЗД), магнітно-резонансна та комп'ютерна томографія та інші. Розробники таких систем досягають щорічного підвищення якості ЦМЗ, що зумовлює зростання обсягу проведених досліджень та впровадження у ЗОЗ системи архівування зображень. Наразі актуальною є інтеграція різних електронних ресурсів та різнорівневих засобів програмного забезпечення в хмарний сервіс зберігання, моніторингу та аналізу. Хмарні обчислення, які постачають обчислювальні ресурси через інтернет, мають значний внесок у підвищення ефективності on-line керування створенням, обробленням, зберіганням та обмінюванням ЦМЗ, що надає інформаційну підтримку системі охорони здоров'я для вирішення медичних, соціальних, економічних та інших проблем [9].

Отже, багаторазове використання цифрових медичних даних, зокрема ЦМЗ в екосистемі цифрової медицини України потребує аналізу особливостей зберігання цифрових медичних зображень на різних рівнях локалізації для розроблення відповідних систем зберігання цих даних, що забезпечує ефективний їх аналіз під час діагностування та лікування пацієнтів.

У розвинених країнах PACS є стандартом де-факто в більшості медичних закладів, що значно оптимізує робочі процеси, покращує діагностичну точність та сприяє розвитку телемедицини. Система PACS має задовольняти попередньо сформульованим вимогам до систем передавання, архівування та збереження ЦМЗ: багатоплатформеності, відкритого коду, здатності індексувати бази даних (БД) діагностичних систем, передавати ЦМЗ у сховище, керувати доступом до сховища тощо.

Метою цієї статті є окреслення технологічних аспектів обміну цифровими медичними зображеннями для багаторазового використання в екосистемі цифрової медицини України та розроблення

моделі зберігання цифрових медичних зображень як основи для забезпечення різних рівнів локалізації їх зберігання та ефективного аналізу для діагностування та лікування пацієнтів.

Організаційно-технологічних аспектів зберігання цифрових медичних зображень. Для якісного надання медичної допомоги лікарю необхідно мати повний спектр медичних даних про пацієнта, одним із компонентів яких і є ЦМЗ, що і є основним завданням інформаційної підтримки діяльності лікаря. Ефективність зберігання та подальшого використання ЦМЗ базується на принципах життєвого циклу цифрових медичних даних від моменту їх створення і до видалення та розрізнення модальностей (ІДС, з яких отримують зображення, часто специфічного стандартизованого формату) [10]. Для PACS таким форматом зображень є DICOM, який по суті є поєднанням зображення великої роздільної здатності, деталізованого, структурованого опису метаданих цього зображення і правил обміну і зберігання цієї інформації. DICOM є міжнародним стандартом, який наразі складається з 22 томів і широко застосовується в електронній охороні здоров'я України [11].

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 зображень (ЦМЗ). МІС налаштовується з урахуванням результатів аналізу бізнес-процесів та інформаційних потоків її клінічної частини.

Трирівнева модель зберігання цифрових медичних зображень. Аналіз проблем збереження цифрових медичних зображень надає можливість ефективного пошуку шляхів забезпечення ефектної інтеграції обміну цифровими медичними зображеннями в екосистемі цифрової медицини. За результатами аналізу бізнес-процесів обміну та зберігання ЦМЗ, розроблено трирівневу модель зберігання цифрових медичних зображень (Рис. 1).

Отримані зображення зберігаються в локальній базі ІДС. Для використання на наступних етапах лікувально-діагностичного процесу робиться запис на оптичний носій або USB-флеш-накопичувач ЦМЗ разом із програмою перегляду. Дані передаються на руки пацієнту (лікареві) і можуть переглядатися на будь-якому комп'ютері з CD/DVD приводом або USB-портом відповідно. Типовим рішенням збереження та архівування ЦМЗ є впровадження таких систем, які дають змогу зберігати та обмінюватися вищезазначеними зображеннями.

Найвищий обсяг дискового простору сховища тимчасового зберігання накладає обмеження на час зберігання ЦМЗ у сховищі. Час зберігання зображень у сховищі визначається тривалістю лікувально-діагностичного процесу та звітного періоду роботи ЗОЗ (близько 1-го року).

Модель базується на принципах життєвого циклу цифрових медичних даних від моменту їх створення і до видалення та виду модальності.

Перший, найнижчий рівень зберігання медичної інформації. Стандартний протокол використання діагностичних ЦМЗ базується на формуванні та використанні зображення на автоматизованих робочих місцях (АРМ), в інструментальній діагностичній системі для аналізу та постановки попереднього діагнозу або для візуалізації перебігу лікувальних процедур.

Для використання ЦМЗ після перевищення терміну зберігання в тимчасовому сховищі (наприклад, у разі повторного звернення пацієнта) необхідно використовувати системи довготривалого зберігання медичної інформації.

На першому рівні передбачено забезпечення роботи лікаря з медичною інформацією на своєму робочому місці (АРМ).

Якщо пацієнт, який має результати дослідження на портативному носії в цифровому вигляді, передає їх для ознайомлення лікарю-консультанту, тоді опис процесу будемо розглядати таким чином:

$$\forall (p \in P) \sqsubseteq \exists \text{ has.}$$

$$(\text{PortableDevice} \sqcap \text{ImageData.T}) \rightarrow$$

$$\text{TreatmentDoctor} \sqsubseteq \exists \text{ has.MedicalImageData}$$

де: p = patient – пацієнт з множини пацієнтів P .

Лікар переносить дані до свого АРМ та переглядає результати дослідження:

$$\text{TreatmentDoctor} \sqsubseteq \exists \text{ has.}(\text{PC} \sqcap \text{Software}) \sqcap \exists \text{ uses.MedicalImageData}$$

Після консультації дані з робочого місця лікаря видаляються

$$\text{TreatmentDoctor} \sqsubseteq \forall \text{ has.} \neg \text{MedicalImageData.}$$

За умови, що у пацієнта відсутні необхідні медичні дані чи вони потребують уточнення, лікар скеровує його на необхідні діагностичні процедури.

Другий рівень охоплює тривале зберігання і використання ЦМЗ в захищеному середовищі PACS (Picture Archiving and Communication Systems). Система отримання, аналізу, оброблення, обмінювання та архівування медичних зображень – PACS, задовольняє вимоги до систем передавання, архівування та збереження

ЦМЗ: багатоплатформеність, відкритий код, здатність виконувати функції індексування бази даних (БД) діагностичних систем, передавання ЦМЗ у сховище, керування доступом до сховища тощо.

На цей час пацієнт проходить заплановане обстеження, після чого формуються цифрові медичні зображення, які передаються в БД певної ІДС;

$\forall (p \in P) \sqsubseteq \exists \text{has.Appointment} \sqcap \text{MedicalExamination.T} \rightarrow$
 $\text{Modality} \sqsubseteq \exists \text{creates.}(\text{MedicalImageData} \sqcap \text{DICOM}),$

Далі результати дослідження передаються на DICOM-сервер PACS-системи:

$\text{MedicalImageData} \sqsubseteq \text{isStoredIn.}$
 $(\text{PACS} \sqcap \text{DICOMServer})$

Для цього використано один з таких варіантів:

а) PACS-система сканує підключені ІДС на появу нових досліджень:

$\text{PACS} \sqsubseteq \exists \text{scansFor.MedicalImageData} \sqcap \exists \text{copies.NewMedicalImageData}$

та копіює ці дані;

б) дублюються дані на DICOM-сервер PACS-системи:

$\text{Modality} \sqsubseteq \exists \text{creates.NewMedicalImageData} \sqcap \exists \text{copiesTo.}(\text{LocalStore} \sqcap \text{DICOMServer});$

в) якщо у ІДС відсутній зв'язок з PACS-системою:

$\exists \text{Modality} \sqsubseteq \text{has.PACSConnection} \neg \text{T} \rightarrow$
 $\text{ConversionMod} \sqsubseteq \text{scan.NewMedicalImageData} \sqcap$
 $\sqcap \text{conversion.}(\text{Transliteration} \sqcap \text{Format}) \sqcap \text{send.}$
 $(\text{DICOMServer} \sqcap \text{PACS})$

застосовують модуль конвертації ЦМЗ, який сканує ІДС на рахунок появи нових зображень, проводить процес конвертації (зміна розширення, транслітерація тощо) та передає файли на вхідну папку DICOM-сервера.

Після запланованого терміну або в залежності від заповнення дискового простору ІДС, дослі-

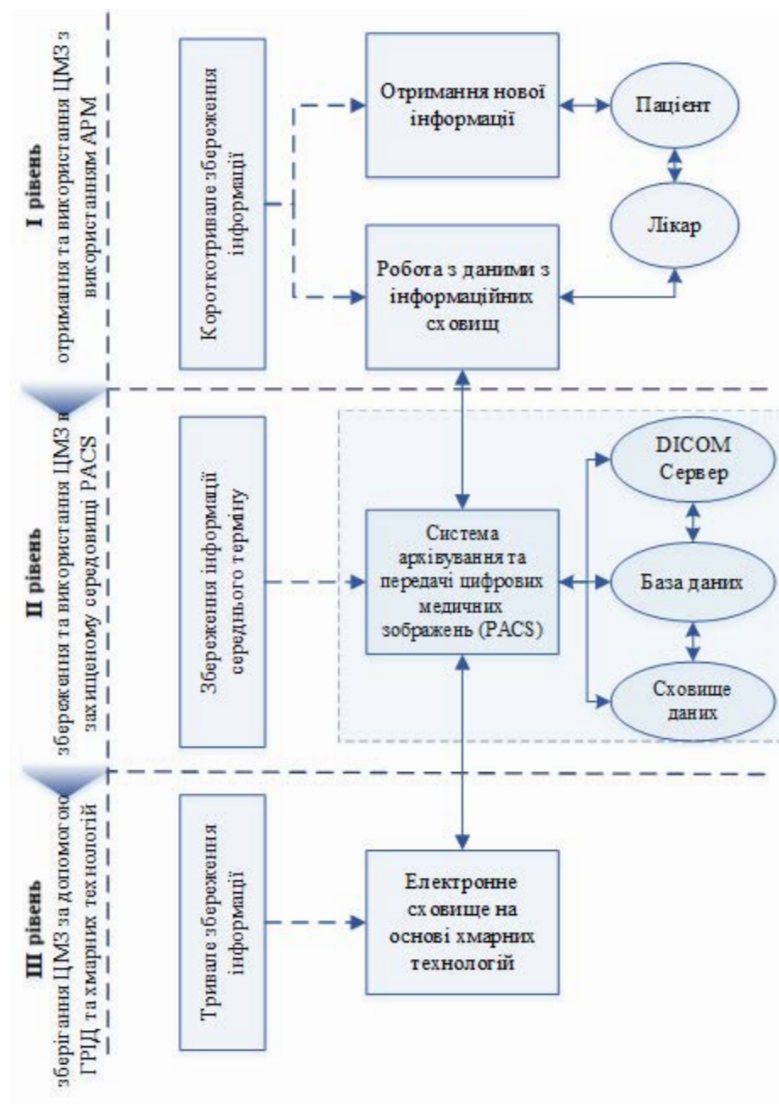


Рис. 1. Трирівнева модель одержання та зберігання ЦМЗ

дження видаляються, лишаючись архівом в PACS-системі:

$\exists \text{MedicalImageData} \neg \exists \text{clear.}$
 $(\text{FullStorage} \neg \text{WaitTime}) \sqcup \text{PACSDData}$

Отже, після проведення кожного діагностичного дослідження, отримані результати автоматично переносяться в систему зберігання та архівування з можливістю подальшого перегляду цих даних (середній рівень зберігання).

Оскільки PACS функціонують, як правило, локально (в окремому закладі охорони здоров'я), тоді для об'єднання територіально роз'єднаних закладів охорони здоров'я і для збільшення обсягу зберігання медико-технологічної інформації варто використовувати технології для тривалого зберігання.

Третій рівень моделі – це довготривале зберігання ЦМЗ за допомогою хмарних технологій. Доступність використання хмарних технологій, підвищення швидкості роботи з хмарними системами, робота з віртуальними носіями інформації та інші переваги цих технологій слугували спонукальними чинниками для використання таких технологій для широкого застосування в мережі закладів охорони здоров'я. Варто зазначити, що потрібно забезпечити, з одного боку, використання анонімізованих ЦМЗ з метою захисту персональних даних пацієнтів і, з іншого – впровадження механізмів ідентифікації та пошуку анонімізованих ЦМЗ відповідного пацієнта у сховищі довгострокового зберігання, а також забезпечення можливості відтворення персональних даних пацієнта для подальшого використання на базі МІС.

Оцінювання та класифікація закладів охорони здоров'я за кількістю виконаних досліджень. Розроблена модель тісно пов'язана можливостями та завданнями конкретного медичного закладу, де планується розгорнути певну систему зберігання цифрових медичних даних. Система збереження та архівування цифрових медичних зображень налаштовується з урахуванням конкретним комплексом інформаційно-діагностичних систем (ІДС). У складі такого комплексу можуть бути, наприклад, цифрова рентгенографія – DX (Digital Radiography), комп'ютерна томографія – СТ (Computed Tomography), магнітно-резонансна томографія – MR (Magnetic Resonance), ультразвукова діагностика – US (Ultrasound), рентгеновська ангіографія – ХА (X-Ray Angiography) тощо. Усі вони мають підтримувати міжнародний стандарт представлення ЦМЗ DICOM 3.0.

Беручи до уваги різні обсяги діагностичних досліджень у ЗОЗ, у кожному конкретному випадку

потрібно за аналізом запропонованої моделі визначати оптимальну систему архівування та зберігання ЦМД. Одним з основних критеріїв, за якими можна оцінити та класифікувати ЗОЗ для правильного вибору засобів зберігання необхідних даних, є ємність дискового простору (ЄДП), що потребують наявні діагностичні комплекси з урахуванням кількості пацієнтів та матеріальне забезпечення закладу:

$$\text{ЄДП} = N * V_i * t,$$

де N – кількість досліджень на рік; V_i – об'єм 1-го дослідження (Мб); t – час зберігання результатів конкретного дослідження, який вибирають опційно, залежно від завдань конкретного закладу охорони здоров'я.

Здійснено класифікацію ЗОЗ за зазначеним критерієм та за вирішувальними правилами визначено три основні класи ЗОЗ за об'ємом необхідної до зберігання інформації.

Клас I: If $\text{ЄДП} < 1 \text{ Тб}$, then C1. До цього класу належать заклади в яких відсутні або є тільки одна ІДС. Заклади I класу не потребують додаткового програмного забезпечення для створення цифрових сховищ.

Клас II: If $1 \text{ Тб} \leq \text{ЄДП} < 5 \text{ Тб}$, then C2. Заклади цього класу мають кілька налаштованих ІДС, тому потрібно встановлювати додатково систему PACS для надійного зберігання.

Клас III: If $\text{ЄДП} \geq 5 \text{ Тб}$, then C1. Заклади цього класу надають широкий спектр діагностичних послуг, тому їм необхідно задіювати механізми тривалого збереження даних за допомогою зовнішнього цифрового сховища.

Для якісного надання медичної допомоги лікарю необхідно мати повний спектр медичних даних про пацієнта, одним із компонентів яких і є ЦМЗ, що і є основним завданням інформаційної підтримки діяльності лікаря.

Усі рівні моделі характеризують процеси зберігання ЦМЗ в різних ЗОЗ, використовуючи різні механізми дублювання даних, але логіка процесу лишається незмінною. Використання хмарних технологій дає змогу віртуально розширити мережеві сховища даних, надати до них доступ великій кількості користувачів, що сприяє зростанню якості надання медичних послуг.

Отже, 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 зображень (ЦМЗ). МІС налаштовується з урахуванням результатів аналізу бізнес-процесів та інформаційних потоків її клінічної частини.

Висновки. Розроблена трирівнева модель зберігання цифрових медичних зображень базується на принципах життєвого циклу цифрових медичних даних від моменту їх створення і до видалення та виду модальності. Модель поєднує три рівня зберігання цифрових медичних зображень: Перший рівень надає забезпечення роботи лікаря з медичною інформацією на своєму робочому місці, другий рівень підтримує тривале зберігання результатів інструментального дослідження пацієнта і їхнє використання в захищеному середовищі PACS, третій рівень моделі – довготривале

зберігання ЦМЗ за допомогою хмарних технологій із забезпеченням, з одного боку, використання анонімізованих ЦМЗ задля захисту персональних даних пацієнтів і, з іншого – механізмів ідентифікації та пошуку анонімізованих ЦМЗ відповідного пацієнта у сховищі довгострокового зберігання.

Для правильного вибору засобів зберігання одержаних даних треба орієнтуватися на оцінювання ЗОЗ за критерієм ємності дискового простору, враховуючи наявні діагностичні комплекси, кількості пацієнтів та матеріальне забезпечення закладу охорони здоров'я.

Список літератури:

1. Toennies K.I.D. Guide to Medical Image Analysis Methods and Algorithms. Springer, London. 2012. 468 p. URL: <https://archive.org/details/guidetomedicalim0000toen>
2. Apostolopoulos I.D., Mpesiana T.A. COVID-19: Automatic detection from X-ray images utilizing transfer learning with CNNs. *Phys Eng Sci Med*. 2020. 43(2). 635–640. <https://doi.org/10.1007/s13246-020-00865-4/>
3. 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>
4. 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>
5. Shah A., Muddana P.S., Halabi S. A Review of Core Concepts of Imaging Informatics. *Cureus*. 2022 Dec 22. 14(12). e32828. doi: 10.7759/cureus.32828. PMID: 36694517; PMCID: PMC9864478 .
6. Clifton Ch. Data mining | machine learning, AI & big data. *Encyclopedia Britannica*. 2025. URL: <https://www.britannica.com/technology/data-mining> (date of access: 13.09.2025).
7. Khamiss N., Hussein N.H. Implementation of Web-based Management System for Pacs Network. *International Journal of Engineering Practical Research*. 2014. Vol.3. <https://doi.org/10.14355/ijep.2014.0301.03>
8. Kragsterman P. Medical Imaging Research: Breakthroughs in AI and Advanced Technologies 2025. *Research Radiology Radiography Technology Academia*. 2024. URL: <https://collectiveminds.health/articles/medical-imaging-research-breakthroughs-in-ai-and-advanced-technologies> (date of access: 15.07.2025)
9. Masrom M., Rahimli A. A review of cloud computing technology solution for healthcare system. *Research journal of applied sciences, engineering and technology*. 2014. Vol. 8, no. 20. P. 2150–2153. <https://doi.org/10.19026/rjaset.8.1212> (date of access: 03.08.2025).
10. Romanyuk O., Kovalenko A., Kozak L. Information support for interoperability of instrumental diagnostic studies systems and long-term storage system of digital medical images in health care. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2016, Vol. 184, 56–71. <https://doi.org/10.15407/kvt184.02.056>
11. DICOM. Current Edition. URL: <https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/> [Accessed 17.Sept.2025]

Kozak L.M., Romanyuk O.O., Kovalenko O.S., Surovtsev I.V., Pezentsali G.O. DIGITAL MEDICAL IMAGE STORAGE MODEL TO ENSURING QUALITY ANALYSIS OF MEDICAL DATA

A special task of developing a digital healthcare ecosystem is to organize the multiple use of medical images, which are characterized by huge volumes of data and require the use of modern processing methods: classification and clustering methods, Data Mining methods, in particular neural network technologies (convolutional neural networks). Large volumes of digital medical images require the use of large disk space and high-quality resources for their processing.

The purpose of this article is to outline the technological aspects of exchanging digital medical images for multiple use in the digital medicine ecosystem of Ukraine and to develop a model for storing digital medical images as a basis for ensuring different levels of localization of their storage and early effective analysis during the diagnosis and treatment of patients. The proposed model for storing digital medical images (DMI) describes business processes at different levels: Level I – storage in a database or in the archive of the information and diagnostic system, where the image is formed; Level II – temporary storage, where DICOM-format images are stored, which are accessed for use in the medical and diagnostic process; Level III –

ensuring image storage based on long-term electronic storage with reliable communication channels, large disk space and appropriate computing power. The potential of using picture archiving and communication systems (PACS) to improve the quality of medical services and integrate the Ukrainian healthcare system into the global digital space is emphasized. The format of images for storage in PACS is the international DICOM standard, which is a combination of a high-resolution image, a structured description of its metadata and rules for exchanging and storing this information.

Key words: *large volumes of medical information, model, PACS, evaluation, disk space capacity, Data Mining methods, classification, diagnostic efficiency.*

Дата надходження статті: 23.09.2025

Дата прийняття статті: 15.10.2025

Опубліковано: 16.12.2025