

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt207.01.059>

УДК: 004.75+004.932.2:616

CC BY-NC

**КОВАЛЕНКО О.С.**, д-р мед. наук, професор,  
зав. відд. медичних інформаційних систем  
ORCID 0000-0001-6635-0124, e-mail: askov49@gmail.com

**КОЗАК Л.М.**, д-р біол. наук, старш. наук. співроб.,  
пров. наук. співроб., відд. медичних інформаційних систем  
ORCID: 0000-0002-7412-3041, e-mail: lmkozak52@gmail.com

**НАДЖИФІАН ТУМАНДЖАНІ М.**,  
наук. співроб., відд. медичних інформаційних систем  
e-mail: naji1980bp@yahoo.com,

**РОМАНЮК О.О.**,  
молодш. наук. співроб., відд. медичних інформаційних систем  
ORCID:0000-0002-6865-1403, e-mail: ksnksn7@gmail.com

Міжнародний науково-навчальний центр  
інформаційних технологій та систем  
НАН України та МОН України,  
пр. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна

## **ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ НАДАННЯ МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ**

---

**Вступ.** Однією з чотирьох флагманських ініціатив, визначених ВООЗ як пріоритети охорони здоров'я на найближчі 5 років, є Флагманська ініціатива щодо забезпечення можливостей громадян одержувати якісну медичну допомогу із застосуванням засобів цифрової охорони здоров'я. Застосування цифрових медичних технологій для споживачів, медичних працівників, та надавачів медичних послуг слугуватиме зміцненню системи охорони здоров'я, розширенню можливостей пацієнтів та досягнення принципу «здоров'я для всіх».

**Мета роботи** — узагальнення досвіду та останніх результатів співробітників відділу медичних інформаційних систем Міжнародного центру з дослідження та розроблення медичних інформаційних систем та інформаційних технологій цифрової медицини на тлі загального процесу цифрової трансформації у медичній галузі.

**Результати.** Визначено основні характеристики та принципи побудови сучасних медичних інформаційних систем (МІС) як складників екосистеми цифрової медицини. Проаналізовано внутрішні та зовнішні інформаційні потоки електронних медичних документів МІС. Для подальшого розмежування репрезентативних атрибутів використаних документів визначимо три подібні, але різні технології, пов'язані з картою пацієнтів: електронні медичні записи (EMR), електронні медичні документи (EHR) та електронний паспорт здоров'я пацієнта (PHR), кожен з цих карток диференційовано на основі рівня орієнтації на пацієнта. Базуючись

на одному з принципів "5Ps medicine" — принципі персоналізації, визначено структуру персонального медичного сховища, яке за сучасними викликами потребують всі учасники інфраструктури цифрової медицини (пацієнти, лікарі, співробітники лабораторій та відділень функціональної діагностики тощо). Для забезпечення взаємозв'язку таких сховищ створено моделі бізнес-процесів акумулювання та обміну цифровими медичними даними та на їхній основі розроблено мобільні застосунки, модулі для акумулювання та обміну цифровими медичними даними між різними користувачами в процесі аналізу діагностичних даних. Проаналізовано взаємодію мобільних застосунків з локальним інформаційним середовищем закладу охорони здоров'я та враховано її особливості у створених спеціалізованих мобільних програмних модулях акумулювання та аналізу персональних медичних даних.

**Висновки.** Розроблена модель цифрової трансформації в медицині, яка охоплює цифрові методи отримання та аналізу біомедичних сигналів, цифрових медичних зображень, методи формування електронних медичних записів та документів, дала змогу створити методи та засоби побудови екосистеми цифрової медицини з використанням глобальних інтелектуальних ресурсів для забезпечення необхідного рівня для аналізу величезного обсягу інформації та підтримки прийняття рішень лікарями на всіх етапах надання медичної допомоги. Використання розроблених мобільних застосунків акумулювання, аналізу та обміну персональними медичними даними дає змогу здійснювати перегляд накопичених даних, оцінювання та прогнозування стану здоров'я людини за розробленими моделями Data Mining та реалізувати обмін медичними даними різного походження між пацієнтом та лікарем.

**Ключові слова:** медичні інформаційні системи, екосистеми цифрової медицини, медичні інформаційні технології, мобільні застосунки, класифікаційні моделі Data Mining.

## ВСТУП

Сьогодні темпи переходу України до високотехнологічних галузей та ефективних процесів зростають з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. У Проекті глобальної стратегії цифрової охорони здоров'я на період 2020–2025 рр., наданої ВООЗ у 2019 р., визначено головні пріоритети цифровізації медичної сфери та шляхи їх реалізації [1]. Зазначено, що застосування цифрових медичних технологій для споживачів, медичних працівників, надавачів медичних послуг та підприємств — виробників медичних приладів, слугуватиме зміцненню системи охорони здоров'я, розширенню можливостей пацієнтів та втіленню принципу «здоров'я для всіх». Цей пріоритет оголошено також в Європейській програмі роботи на 2020–2025 рр. «Спільні дії для поліпшення здоров'я жителів Європи», де підкреслено, що органи охорони здоров'я повинні гарантувати реалізацію права населення на загальний доступ до якісної допомоги зі зниженням фінансових витрат [2]. Зазначено, що ВООЗ визначає 4 флагманських ініціативи як пріоритети охорони здоров'я на найближчі 5 років, серед яких є Флагманська ініціатива 2 «Розширення прав і можливостей громадян за допомогою цифрової охорони здоров'я», яка надає додаткові інструменти для практичної реалізації проекту Глобальної стратегії ВООЗ у сфері цифрової охорони здоров'я і активує процес оперативного впровадження інноваційних цифрових рішень, які з'являються в різних країнах Європи.

Співробітники Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем (Міжнародний центр) за 25 років його діяльності розробили низку інформаційних технологій для системи електронної охорони здоров'я, які спрямовано на реалізацію цифрових методів реєстрації, зберігання, аналізу та обміну медичними даними, що забезпечує інформаційний супровід надання медичної допомоги.

## **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Роботи академіків В.М. Глушкова та М.М. Амосова на початок 60-х років ХХ сторіччя заклали основи розвитку нового напрямку наукових досліджень під назвою «біологічна та медична кібернетика». Медична галузь того часу вкрай потребувала формалізації різномірної медичної інформації для подальшого автоматизованого оброблення. Саме тому першими завданнями медичної інформатики було створення формалізованих історій хвороби та розроблення інформаційного забезпечення окремих блоків медичної інформаційної системи. У 1971 р. результати перших розробок узагальнено у монографії «Медична інформаційна система» за редакції М.М. Амосова та А.О. Попова, в якій було надано підходи до трансформації форм подання медичних даних і організації їхнього автоматизованого оброблення, закладено ідеї розроблення медичних інформаційних систем на основі стандартизованих медичних документів [3]. Академік М.М. Амосов, професор А.О. Попов та його учні розробили перші стандартизовані історії хвороби, що стали зразком для майбутніх електронних медичних записів та документів.

Для підтримки інформаційних процесів у закладах охорони здоров'я створено медичні інформаційні системи (МІС), спрямовані на статистичне оброблення даних і підготування звітів. Паралельно удосконалювалися засоби формалізації медичних записів, що зумовило розроблення спеціальних термінологічних довідників та класифікаторів. Перші МІС створено для підтримки завдань охорони здоров'я на рівні медичного закладу, у їхню основу покладено стандартизовані медичні документи. Розроблювані математичні моделі аналізу медичної інформації лягли в основу створення інформаційних технологій підтримки діяльності лікаря.

Одночасно наперед вийшли завдання обміну медичною інформацією та даними із застосуванням сучасних баз даних як їхніх сховищ. Для цього стали розробляти інформаційні стандарти, які було розвинено у сучасні стандарти для регламентування подання медичної інформації різного виду та здійснення процесів її обміну [4, 5]. Вони надали можливість оптимізувати процеси обміну даними та інформацією, що зробило доступнішою медичну допомогу з одночасним забезпеченням конфіденційності персональних даних. Підвищення доступності медичної допомоги є однією з найвідчутніших переваг цифрових технологій у сфері охорони здоров'я. Досягнення у галузі телемедицини відкрили можливість для надання широкого спектру послуг. Зрозуміло, що пацієнти виграють за використання цих розробок, оскільки вони можуть отримати лікування найвищої якості в будь-який час і в будь-якому місці.

Підкреслимо, що розширення кола завдань створених медичних інформаційних систем посилювало розвиток інформаційних технологій в охороні здоров'я.

З початком ХХІ сторіччя настав новий етап розвитку інформаційних технологій в медицині — цифрова медицина, невід'ємною частиною якої стає електронна охорона здоров'я. Цифрова медицина — це сукупність методів, технологій та технічних засобів комп'ютерної підтримки лікувально-діагностичних процесів, використання яких кардинально підвищує ефективність надання медичної допомоги конкретній особі/пацієнту, а також усьому населенню чи окремій групі населення [6]. Досягнення у сферах

штучного інтелекту, великих даних, робототехніки та машинного навчання продовжують зумовлювати серйозні зміни у цифровій охороні здоров'я, головними структурно-функційними елементами якої є сучасні МІС з реалізацією інтелектуальних інформаційних технологій [7].

Пройшовши важливі етапи свого розвитку, медичні інформаційні системи охоплюють дуже широкий клас систем, від простих, призначених для збирання, зберігання та передавання медичної інформації чи даних, до спеціалізованих модулів з залученням аналітичних інформаційних технологій, які підтримують спеціальні функції, пов'язані з діяльністю системи охорони здоров'я (діагностування, підтримка прийняття рішень лікарями в процесі надання медичної допомоги, оцінювання її якості, підтримка термінологічних систем, тощо).

**Метою** статті є узагальнення досвіду та останніх результатів співробітників відділу медичних інформаційних систем Міжнародного центру у дослідженнях та розробленнях медичних інформаційних систем та інформаційних технологій цифрової медицини на тлі загального процесу цифрової трансформації у медичній галузі.

## **МЕДИЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК СКЛАДНИКИ ЕКОСИСТЕМИ ЦИФРОВОЇ МЕДИЦИНИ**

Сучасна **медична інформаційна система** (МІС) є організаційно-технічною системою, яка реалізує інформаційні технології підтримки діагностичного і лікувального процесів та передбачає апаратне, програмне та інформаційне забезпечення надання медичної допомоги.

Будь-яка МІС, незалежно від сфери її застосування, програмного та апаратного забезпечення, має за мету надання повної, достовірної та своєчасної інформації. Доцільно виділити такі дві основні групи МІС: системи цільового аналітично-діагностичного призначення та системи забезпечення зберігання та обміну медичними даними з функціями керування взаємодією користувачів з різним рівнем доступу до цієї інформації.

На сьогодні процес створення МІС-підтримки діагностування та лікування охопив всі галузі медицини, створено та вдосконалюються діагностичні комплекси для точнішого аналізу та діагностування, розширюється коло завдань та покращується зручність використання систем. Розроблення таких комплексів охоплює широкий спектр завдань, насамперед, спрямованих на визначення складників моделі МІС: «Об'єкт» (знання про об'єкт — про пацієнта) та «Бізнес-моделі діагностичного та лікувального процесів» (з використанням математичних методів аналізу стану об'єкта) [8].

За результатами аналізу інформаційно-функційних процесів в системі охорони здоров'я ми надали узагальнену модель МІС як елемента екосистеми цифрової медицини, яка об'єднує такі складники:

- 1) функції МІС відповідно до її призначення;
- 2) різні види подання інформації про надання медичної допомоги, до яких належать електронні медичні записи та документи, цифрові медичні зображення, цифрові медичні сигнали, графічні матеріали тощо;
- 3) інформаційні потоки між МІС нижнього рівня та учасниками екосистеми ЦМ.

Такий погляд на МІС дав можливість оптимізувати інформаційні потоки та інтеперабельність в самій екосистемі.

Таблиця 1. Основні характеристики різних видів ЕМД

Ознаки	Вид електронного документа		
	EMR	EHR	PHR
Кінцевий користувач	Медичні фахівці одного відділення	Лікарі, працівники лабораторій та аптек, пацієнти	Пацієнти
Тип інформації	Медичний анамнез, рецепти, поточний стан здоров'я	Електронні записи інформації про здоров'я людини.	Інформація, яку вводять самі пацієнти, а також дані з інших джерел, (аптек, лабораторій та медичних закладів
Доступ до інформації	Записи можуть створювати, коригувати уповноважені лікарі і персонал одного закладу	Записи можуть створювати, коригувати уповноважені лікарі і персонал декількох закладів	Записи можуть створювати, коригувати пацієнти.

### Інформаційні потоки та види персональних медичних записів.

Медичні інформаційні системи є окремими вузлами інфраструктури цифрової медицини, наявна функційність визначає їхнє призначення та застосування. Створюється ієрархія вузлів-елементів, в якій можуть послідовно активуватися ті чи інші МІС для виконання необхідних завдань, спрямованих на задоволення потреб учасників цифрової екосистеми. Наприклад, МІС медичного закладу охорони здоров'я спрямовано на обмін інформацією між відділеннями цього закладу та підготовку звітної інформації, яка надається зовнішнім учасникам. МІС, яка забезпечує збереження та обмін електронними записами і цифровими медичними зображеннями, буде обов'язково пов'язана з джерелами цих даних та робочими місцями лікарів і цифровими сховищами тощо. МІС, які підтримують виконання специфічних функцій в охороні здоров'я, таких як контроль якості надання медичної допомоги, фінансові розрахунки, прогнозування діяльності закладів тощо, працюють як окремі модулі та застосовуються за потреби.

Отже, електронна охорона здоров'я складається з певної множини МІС, пов'язаних між собою, що створює мережу між закладами, пацієнтами та медичними працівниками. Сюди належать також і телемедичні системи, які можуть бути окремими мережами, але обов'язково пов'язаними з керувальними МІС ЕСОЗ.

Більшість даних, які циркулюють між учасниками інфраструктури цифрової медицини, є електронними медичними документами (ЕМД), тобто сукупністю електронних медичних записів, які формують один чи різні автори (лікарі, медичні сестри тощо). Для подальшого розмежування репрезентативних атрибутів ЕМД визначимо три подібні, але різні технології, пов'язані з картою пацієнтів: електронні медичні записи (EMR), електронні медичні документи (EHR) та електронний паспорт здоров'я пацієнта (PHR). Кожну з них диференційовано на основі рівня орієнтування на пацієнта (табл. 1). EMR часто розглядають як цифрові версії паперових карт у кабінеті клініциста [9]. Ці медичні записи пацієнтів у цьому разі орієнтовано на

постачальника послуг і майже недоступні для інших медичних працівників або для самих пацієнтів. На відміну від них, системи EHR пропонують ширше уявлення про пацієнта, сприяючи інтеграції з МІС за межами організації, яка збрала первинну інформацію про пацієнта [9]. Ці системи можуть узагальнювати дані про пацієнтів, отримані з багатьох медичних закладів, щоб створити єдиний облік пацієнтів з можливістю доступу різних медичних працівників [10, 11]. Нарешті, PHR функціонують під наглядом пацієнтів чи їхніх представників, і ці системи мають повну або часткову інформацію про стан здоров'я пацієнтів протягом усього життя [12].

Велика частка сучасної медичної інформації має вигляд цифрових медичних зображень, які можуть бути частиною ЕМЗ чи самостійно входити до відповідних БД і бути пов'язаними з ЕМЗ за допомогою персонального ідентифікатора (ID). Також інформація (та дані) може бути надана як різні графічні зображення чи відео.

Структура інформаційно-програмного забезпечення МІС кожного закладу охорони здоров'я складається з кількох баз даних відповідно до структури і виду збереженої медичної інформації та даних. Всі БД об'єднують у загальну мережу, доступ до якої реалізують для всіх учасників інфраструктури цифрової медицини за допомогою ID.

**Персоналізація медичної допомоги.** Сучасна медицина знаходиться на перехідному етапі, доповнюючи традиційну модель медицини, коли лікар лікує пацієнта у спеціальних медичних закладах, моделлю медицини майбутнього за п'ятьма базовими принципами — так звану "5Ps medicine", першим принципом якої є персоналізація для кожного пацієнта процесу надання медичної допомоги на всіх рівнях системи охорони здоров'я у діагностиці, терапії та моніторингу стану пацієнта.

Зазначимо один з аспектів сприяння технологій та засобів цифрової медицини для персоналізації медичної допомоги. Накопичення індивідуальних даних розширює спектр даних про здоров'я населення. Зручність збирання цифрових даних дає змогу формувати репрезентативні вибірки зі збалансованими розмірами груп. Цифрові пристрої є чутливими та об'єктивними і дають можливість збирати дані практично безперервно, що допомагає розрізнити захворювання за їхнім специфічним перебігом, сприяє саме персоналізації, точнішій класифікації захворювання та своєчасному лікуванню. Наразі більшість фенотипних даних про стан здоров'я генерується у клініці щодо пацієнтів з активною стадією захворювання, коли наявними є чіткі симптоми, і цим пацієнтам проводять або проводили діагностичні процедури. Бракує даних для порівняння зі станом здорового населення та з тими, захворювання яких має дуже ранні стадії розвитку. Аналіз цифрових даних за репрезентативними вибірками і збалансованими розмірами груп забезпечує створення надійніших прогнозних моделей.

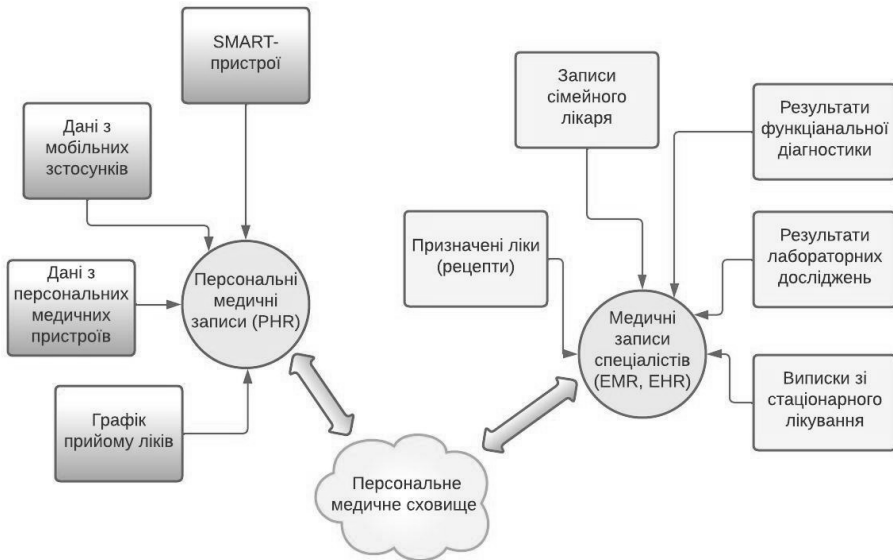


Рис.1. Узагальнена структура персонального медичного сховища

Підкреслимо, що за сучасними викликами всі учасники інфраструктури цифрової медицини (пацієнти, лікарі, співробітники лабораторій та відділень функційної діагностики тощо) потребують персональних медичних сховищ, які в узагальненому виді мають структуру, зображену на рисунку 1.

## МОБІЛЬНА МЕДИЦИНА ТА ВЗАЄМОДІЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ З ЛОКАЛЬНИМ ІНФОРМАЦІЙНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ЗАКЛАДУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Потреба у доступнішій медичній допомозі зумовила розвиток **телемедичних технологій** (ТМ) у перше десятиріччя XXI сторіччя, що стимулювало запровадження великої кількості локальних телемедичних систем для надання консультацій за окремими медичними питаннями. Створення ефективної міжрегіональної телемережі України базувалося на запропонованій нами теорії телемедичних систем (ТМ) з визначенням принципів організації цих систем, критеріїв і методів аналізу цифрових медичних даних та безпечних способів передавання необхідної медичної інформації [13, 14]. Використання запропонованих принципів: забезпечило узгодження структури ТМ мережі з організацією системи охорони здоров'я, в інформаційному середовищі якої функціонує ця мережа (принцип ієрархічної побудови мережі ТМ); надало можливість розвивати мережу з використанням нових технологічних платформ для розширення цільового простору та підвищення ефективності медичної допомоги шляхом модернізації інформаційно-комунікаційної бази ТМ (принцип адаптивності); забезпечило «вертикальну» подібність з різними рівнями структури ТМ мережі та визначило гнучкий процес підготовки та обміну медичними даними шляхом реалізації функції подібності (принцип фрактальності); зумовило «горизонтальну» організацію мережі ТМ, що забезпечує можливість тиражування програмних

продуктів на регіональному рівні та на рівні окремих медичних закладів (принцип масштабування). Така організація міжрегіональної телемедичної мережі ефективно забезпечує взаємодію телемедичних центрів та висококваліфікованих фахівців-консультантів (суб'єкти консультування) з об'єктами консультування — медичними установами та лікарями, які потребують кваліфіковану підтримку у прийнятті рішень.

Сьогодні для підвищення ефективності сучасних телемедичних систем використовують комунікаційні хмарні технології, можливість зберігання значних обсягів даних та надання доступу до їхнього використання за допомоги ґрид технологій, а також розвинені протоколи телемедичної взаємодії.

За останні десятиріччя мобільну медицину поповнено великою кількістю мобільних гаджетів, які є засобами самостійного вимірювання окремих показників стану здоров'я людини. Треба зазначити, що такі засоби мають вкрай обмежені функції без надійної вірогідності здійснюваних вимірювань і, особливо підкреслимо, здебільшого без застосування методів інтелектуального аналізу одержаної інформації, без належного її зберігання і без ефективною взаємодії з медичними системами підтримки діагностичних та лікувальних рішень лікарями, які надають медичні послуги пацієнтам — користувачам таких мобільних пристроїв. Саме тому проаналізуємо вимоги до забезпечення надійної та безпечною взаємодії мобільних застосунків та пристроїв з МІС та персональними медичними сховищами, які формують локальне інформаційне середовище закладу охорони здоров'я (ЗОЗ) України.

**Взаємодія мобільних застосунків з локальним інформаційним середовищем закладу охорони здоров'я** здійснюється двома шляхами. Перший з них задіяно у разі використання даних, що зберігаються в БД ЗОЗ. Доступ до нього мають тільки користувачі, яких зареєстровано в цій системі, а саме лікарі, керівники закладу тощо. Вони використовують свої інформаційні ресурси за допомогою мобільних застосунків на підставі прав доступу чи/та наявності електронного підпису. Як вже зазначено, кожний з користувачів має своє персональне сховище, яке має бути пов'язаним зі сховищем закладу охорони здоров'я.

Другий алгоритм реалізує опосередкований зв'язок (також за допомогою мобільних застосунків) з зовнішніми абонентами, які мають право на доступ до даних ЗОЗ. Це можуть бути консультанти та інші учасники інфраструктури цифрової медицини. До них належать також інші ЗОЗ, працівники Національної служби охорони здоров'я, користувачі чи працівники E-health України тощо.

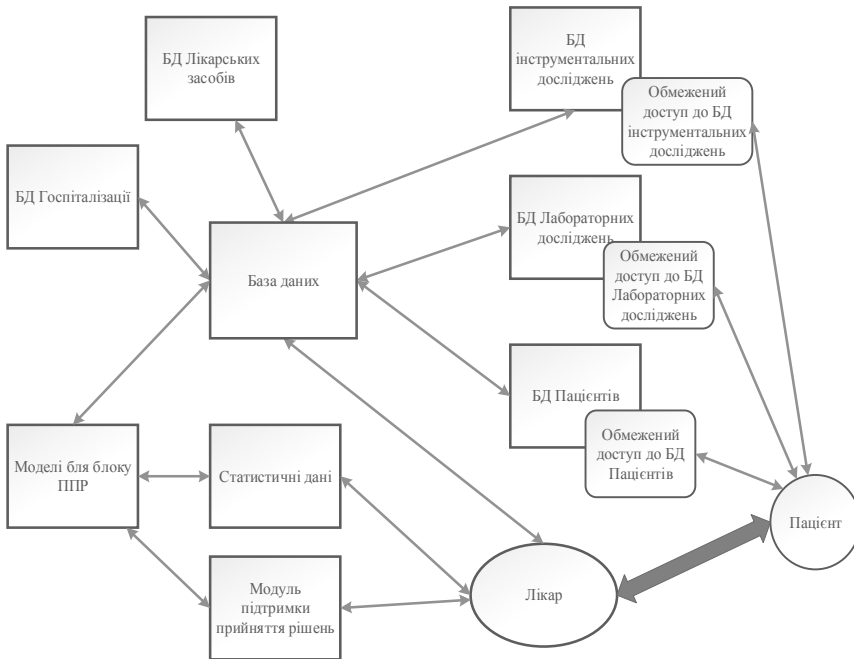
У базовій структурі мобільного застосунку ядро (платформа на базі Android, IOS або Windows Mobile) слугує об'єднальником функційних блоків, кількість і специфіка яких відповідає завданням конкретного мобільного застосунка для певної групи користувачів. Як зазначено у Проєкті глобальної стратегії цифрової охорони здоров'я [1], на сьогодні коло користувачів значно розширено та охоплює постачальників медичних послуг різного рівня, менеджерів систем охорони здоров'я, служб медичних даних, зокрема державних чи приватних лікарень, різних лабораторій чи клініко-діагностичних центрів, сімейних лікарів, фельдшерів та фармацевтів. За такого широкого спектру користувачів — учасників інтегративного середовища цифрової медицини, підвищено вимоги до визначення рівнів доступу до медичної інформації та можливості змінювати цю



інформацію. Користувачів можна розділити на дві умовні категорії: медичний працівник певного рівня та пацієнти, кожна з яких може мати набір підкатегорій. Залежно від моделі взаємодії суб'єктів охорони здоров'я кількість підкатегорій може змінюватися. Припустимо, ми розглядаємо «домашній стаціонар» або систему паліативної допомоги, і в цьому випадку серед медичного персоналу буде лікар (терапевт), фельдшер або медсестра. Пацієнт може користуватися мобільним засобом особисто або за це відповідають родичі. Якщо взяти масштаб вторинного рівня медичної допомоги, то варто додати лікарів-діагностів, лікарів-консультантів та у разі госпіталізації — лікарів стаціонару.

Аналізуючи діяльність ЗОЗ у повному обсязі, зазначимо, що програмні блоки цілісної МІС охоплюють своєю інформаційною підтримкою практично всі сфери роботи такого закладу, зокрема взаємодію з різними мобільними застосунками (рис. 2). Розглянемо наші результати дослідження та розроблення мобільних застосунків для діагностування стану пацієнта, акумулювання та збереження одержаних даних для подальшого аналізу.

За розробленими моделями бізнес-процесів акумулювання та обміну цифровими медичними даними (ЦМД), характеристиками показників діагностування досліджуваних систем організму людини та сформованими специфікаціями БД створено програмний комплекс мобільних застосунків для обміну цифровими медичними даними між різними користувачами в процесі аналізу даних. Першим завданням було розробити програмний модуль «ExchangeDMD», який об'єднує алгоритми акумулювання і обміну цифровими медичними даними, вже одержаними у результаті діагностування, корегування та профілактики захворювань [15].



**Рис 2.** Структура взаємозв'язку програмних блоків цілісної МІС та мобільних застосунків з урахуванням завдань різних користувачів з відповідних баз даних

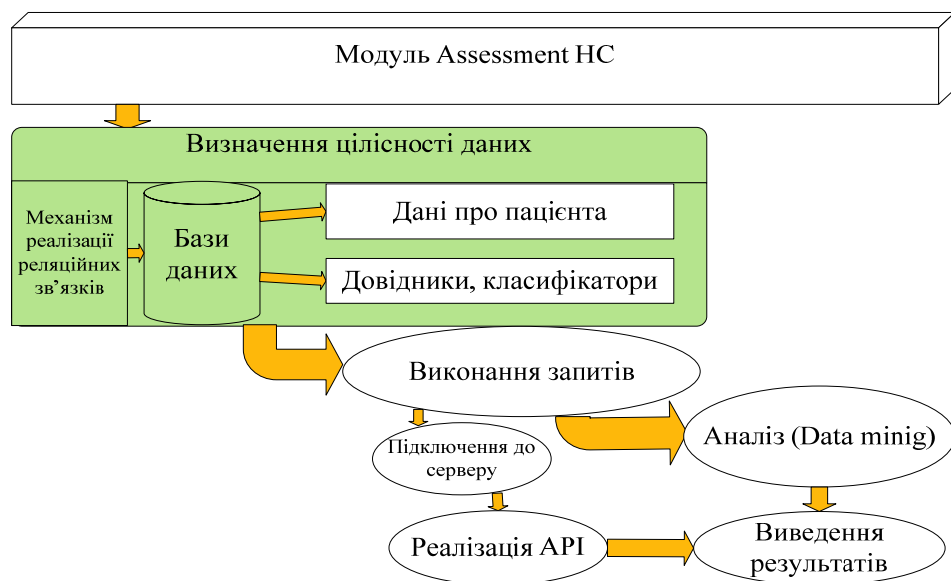


Рис 3. Структура мобільного модулю «AssessmentHC»

Для розширення функційних можливостей мобільних засобів застосовано розроблену інформаційну технологію класифікування та прогнозування стану пацієнта [16] у мобільному модулі «AssessmentHC», структура якого складається з трьох функційних блоків (рис. 3).

Перший блок модуля реалізує аналіз стану пацієнтів, для чого надано можливість послідовного чи вибіркового використання методів Data Mining: відсіювання неінформативних ознак і фільтрації змінних, кластерного аналізу (узагальненого EM, методу  $k$ -середніх), загальних дерев класифікації і регресії (GTrees), загальних моделей CHAID (Chi-square Automatic Interaction Detection), зростання дерев (Boosted Trees), випадкового лісу (Random Forest), методу опорних векторів (SVM), методу  $k$ -найближчих сусідів (KNN), методів нейронних мереж (різних архітектур з інструментами для автоматичного вирішення проблеми). Другий блок має функцію акумулювання та накопичування даних, тобто є БД, створена на MySQL, яка розташована на віддаленому сервері чи на хмарі. БД складається з електронних медичних записів та пов'язана з першим блоком. Структура такої БД залежить від набору показників, які застосовуються з метою відповідного аналізу. Третій блок забезпечує передавання наявних даних за запитом користувачів.

Отже, використання розроблених мобільних застосунків «ExchangeDMD» і «AssessmentHC» забезпечує контроль за станом здоров'я пацієнта, дає змогу реалізувати обмін медичними даними різного походження між ними та здійснювати перегляд накопичених даних, оброблення, аналізування та прогнозування стану здоров'я людини.

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЦИФРОВОЇ МЕДИЦИНИ**

Останніми роками багато аналітиків та творчих колективів присвятили свої дослідження визначенню пріоритетів розвитку медицини майбутнього. Переліки таких пріоритетів мають різну деталізацію, несуть своєрідність авторських формулювань, виділені за різними критеріями: визначення пріоритетів суто за нозологіями, як це було надано у доповіді Інституту медицини Національних академій наук, техніки та медицини [17], виділення та аналізу одного, головного, за думкою авторів, напряму, зокрема нанотехнологій у медицині [18] тощо. Підкреслимо визначення серед пріоритетів цифрової охорони здоров'я тощо, зазначаючи, що ключ до усвідомлення її переваг знаходиться у застосуванні інформатики, вдосконалених інструментів прийняття клінічних рішень та досліджень штучного інтелекту [19, 20].

Акцентуючи увагу на цифровій медицині, зазначимо, що її розвиток буде спрямовано на вирішення таких проблем:

- персоналізація надання медичної допомоги на основі застосування інтелектуальних технологій, які допоможуть підвищити якість лікувально-діагностичних процедур та ефективність застосування медичних стандартів на рівні системи охорони здоров'я;

- перехід до збільшення частки оздоровчої медицини у наданні медичної допомоги, що ґрунтуватиметься на цифрових методах прогнозування результатів реабілітації та оздоровчих технологій та виявленні ранніх стадій розвитку захворювань, виходячи з методів аналізу даних здоров'я населення певного регіону;

- глобалізація цифрової медицини, яка забезпечить можливість цифровізації медичної допомоги на міждержавному рівні.

Цифрова медицина має потенціал для трансформації охорони здоров'я в усьому світі. Багато цифрових продуктів для покращення системи охорони здоров'я вже перевірено, вони є легкодоступними та адаптованими до будь-яких країн. Цифрові технології демонструють свій потенціал під час теперішньої коронавірусної кризи, полегшуючи міжнародну співпрацю між дослідниками в галузі охорони здоров'я та зменшуючи потребу в медичних працівниках для підтримки надання медичної допомоги населенню. Отже, застосування цифрових технологій підвищить ефективність та якість медичних послуг. Цифрова медицина уможливить об'єднання ресурсів, досвіду і стратегій розвитку медицини, а також дасть можливість медичній спільноті реалізувати справжній потенціал цифрового здоров'я.

Глобальна цифрова система охорони здоров'я знаходиться лише на стадії зародження і, як будь-який новий процес, проходить етапи поступового ускладнення завдань, методів і засобів їхньої реалізації: від інноваційних методів формалізації електронних даних до вдосконалення методів їхнього аналізу, передачі та зберігання з метою вдосконалення якості медичної допомоги пацієнтам у будь-який час і в будь-якій точці світу.

Підсумовуючи аналіз переваг цифрових технологій в галузі охорони здоров'я та сучасних МІС, зазначимо, що догляд за пацієнтами стає безпечнішим, ефективнішим та надійнішим. Лікарі, медичні сестри та інший медичний персонал використовують мобільні пристрої для запису та обміну необхідними даними пацієнтів у режимі реального часу, оперативно одержують лабораторні результа-

ти, рентгенівські знімки та іншу важливу інформацію про пацієнтів, що може мати вирішальне значення для забезпечення ефективного догляду за пацієнтом. Спеціальні програмні модулі та мобільні застосунки, створені на основі міжнародних медичних інформаційних стандартів, уможлиблюють поглиблене визначення перебігу захворювань та їхніх симптомів, використання доступних баз даних, що надає можливість медичним працівникам ефективно відстежувати основні прояви хвороби, виявляти їх та надавати пацієнтам кращу допомогу.

## ВИСНОВКИ

Розроблена модель цифрової трансформації в медицині включає такі компоненти, як цифрові методи отримання та аналізу біомедичних сигналів і цифрових медичних зображень, методи формування електронних медичних записів і документів, методи та засоби побудови екосистеми цифрової медицини і здійснення обміну даними та інформацією на основі принципів інтероперабельності. Це все дає підстави для створення великих інформаційних мереж із застосуванням медичних інформаційних систем як складників глобальних інтелектуальних ресурсів для потреб сучасної охорони здоров'я, з використанням хмарних технологій для зберігання інформації, інтелектуальних інформаційних технологій для забезпечення належного аналізу цього величезного обсягу інформації та підтримки прийняття рішень лікарями на всіх етапах надання медичної допомоги.

Запропонований програмний комплекс мобільних застосунків для аналізу та обміну цифровими медичними даними між різними користувачами під час надання медичної допомоги, який складається з мобільних застосунків аналізу та прогнозування стану пацієнта, акумулювання та обміну цифровими медичними даними, забезпечує контроль за станом здоров'я пацієнта. Використання розроблених мобільних застосунків дає змогу здійснювати перегляд накопичених даних, аналіз та прогнозування стану здоров'я людини за розробленими моделями Data Mining та реалізувати обмін медичними даними різного походження між пацієнтом та лікарем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Draft global strategy on digital health 2020–2025. July 2020 by WHO <https://www.who.int/docs/default-source/documents/gS4dhdaa2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf> (Last accessed: 29.12.2021)
2. The European Programme of Work, 2020–2025: United Action for Better Health. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021 <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339209/WHO-EURO-2021-1919-41670-56993-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Медицинская информационная система. К.: Наук. думка, 1975. 508 с.
4. EN ISO 12052: 2011. Health informatics. Digital work, including workflow and data management URL: <http://iso.org>. (Last accessed: 20.10.2017)
5. Oosterwijk H. DICOM Basics (Third Edition). O Tech. 2005.
6. Kozak L.M., Kovalenko A.S., Kryvova O.A., Romanyuk O.A. Digital Transformation in Medicine: From Formalized Medical Documents to Information Technologies of Digital Medicine. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2018. 4(194). С. 61–78.
7. The Digital Imperative. The imperative for a consumer-centric, digitally enabled health ecosystem. Delloite. 10 p.: <https://www.kff.org/health-costs/poll-finding/data-note-americans-challenges-with-health-care-costs/>

8. Haider J. Warraich, Robert M. Califf, Harlan M. Krumholz The digital transformation of medicine can revitalize the patient-clinician relationship. Інформаційний ресурс: [www.nature.com/npjdigitalmed](http://www.nature.com/npjdigitalmed)
9. What are the differences between electronic medical records, electronic health records, and personal health records? Інформаційний ресурс: <https://www.healthit.gov/faq/what-are-differences-between-electronic-medical-records-electronic-health-records-and-personal>;
10. Hoerbst A., Ammenwerth E. Electronic Health Records. A Systematic Review on Quality Requirements. *Methods Inf Med*, 2010; 49(04): 320–336.
11. Nguyen L., Bellucci E., Thuy Nguyen L. Electronic health records implementation: An evaluation of information system impact and contingency factors. *International Journal of Medical Informatics*. Vol. 83, Iss. 11, November 2014, pp.779–796
12. Chén O.Y., Roberts B. R. Personalized Health Care and Public Health in the Digital Age. *Front. Digit. Health*, 30 March 2021. V. 3. Article 595704. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2021.595704>. (Last accessed: 22.05.2021)
13. Коваленко А.С., Козак Л.М., Осташко В.Г. Телемедицина — развитие единого медицинского информационного пространства. *Управляющие системы и машины*. 2005. №3. С. 86–92.
14. Коваленко А.С., Козак Л.М., Романюк О.А. Информационные технологии цифровой медицины. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2017. №1(187). С.67–79.
15. Romaniuk, O. O., Kozak, L. M., and Kovalenko, O. S. Formation of Interoperable Digital Medicine Information Environment: Personal Medical Data. *Sci. innov.* 2021. V. 17, no. 5. P. 50–62.
16. 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.
17. Officials Should Target 20 Key Areas to Transform Health Care System <https://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=10593>
18. Нанотехнологии — ключевой приоритет обозримого будущего в медицине <http://nanolab.com.ua/publicacii/article4.html> (Last accessed: 14.01.2022)
19. Australian Medical Research and Innovation Priorities 2018–2020 Determination 2018. <https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L01550>
20. Reddy, M. Digital Transformation in Healthcare in 2021: 7 Key Trends. <https://www.digitalauthority.me/resources/stateofdigitaltransformationhealthcare/> (Last accessed: 14.01.2021).

Отримано 11.02.2022

## REFERENCES

1. Draft global strategy on digital health 2020–2025. July 2020 by WHO <https://www.who.int/docs/default-source/documents/g4dhdaa2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf> (Last accessed: 29.12.2021)
2. The European Programme of Work, 2020–2025: United Action for Better Health. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021 <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339209/WHO-EURO-2021-1919-41670-56993-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Last accessed: 29.05.2021)
3. Medical information system. Kyiv: Nauk. Dumka, 1975. 508 p. (in Russian).
4. EN ISO 12052: 2011. Health informatics. Digital work, including workflow and data management URL: <http://iso.org>. (Last accessed: 15.10.2021)
5. Oosterwijk H. *DICOM Basics* (Third Edition). O Tech. 2005.
6. Kozak L.M., Kovalenko A.S., Kryvova O.A., Romanyuk O.A. Digital Transformation in Medicine: From Formalized Medical Documents to Information Technologies of Digital Medicine. *Kibernetika i vyčislitel'naâ tehnika*. 2018. 4(194). С. 61–78.
7. The Digital Imperative. The imperative for a consumer-centric, digitally enabled health ecosystem. Delloite. 10 p.: <https://www.kff.org/health-costs/poll-finding/data-note-americans-challenges-with-health-care-costs/>
8. Haider J. Warraich, Robert M. Califf, Harlan M. Krumholz The digital transformation of medicine can revitalize the patient-clinician relationship. [www.nature.com/npjdigitalmed](http://www.nature.com/npjdigitalmed)

9. What are the differences between electronic medical records, electronic health records, and personal health records? <https://www.healthit.gov/faq/what-are-differences-between-electronic-medical-records-electronic-health-records-and-personal>;
10. Hoerbst A., Ammenwerth E. Electronic Health Records. A Systematic Review on Quality Requirements. *Methods Inf Med*, 2010; 49(04): 320–336.
11. Nguyen L., Bellucci E., Thuy Nguyen L. Electronic health records implementation: An evaluation of information system impact and contingency factors. *International Journal of Medical Informatics*. Vol. 83, Iss. 11, November 2014, pp.779–796
12. Chén O.Y., Roberts B. R. Personalized Health Care and Public Health in the Digital Age. *Front. Digit. Health*, 30 March 2021. V. 3. Article 595704. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2021.595704>.
13. Kovalenko A.S., Kozak L.M., Ostashko V.G. Telemedicine - development of a unified medical information space. *Upravläüšie sistemy i mašiny*. 2005. №3. C. 86–92. (In Russian)
14. Kovalenko A.S., Kozak L.M., Romanyuk O.A. Information technology of digital medicine. *Kibernetika i vyčislitel`naâ tehnika*. 2017. №1(187). C.67–79. (In Russian)
15. Romaniuk, O. O., Kozak, L. M., and Kovalenko, O. S. Formation of Interoperable Digital Medicine Information Environment: Personal Medical Data. *Sci. innov.* 2021. V. 17, no. 5. P. 50–62.
16. 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.
17. Officials Should Target 20 Key Areas to Transform Health Care System <https://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=10593>
18. Nanotechnology is a key priority for the foreseeable future in medicine <http://nanolab.com.ua/publicacii/article4.html>
19. Australian Medical Research and Innovation Priorities 2018–2020 Determination 2018. <https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L01550>
20. Reddy, M. Digital Transformation in Healthcare in 2021: 7 Key Trends. <https://www.digitalauthority.me/resources/stateofdigitaltransformationhealthcare/> (Last accessed: 14.01.2021).

Received 11.02.2022

*Kovalenko O.S.*, DSc (Medicine), Professor,  
Head of the Medical Information Systems Department  
ORCID 0000-0001-6635-0124, e-mail: askov49@gmail.com

*Kozak L.M.*, DSc (Biology),  
Leading Researcher of the Medical Information Systems Department  
ORCID: 0000-0002-7412-3041, e-mail: lmkozak52@gmail.com

*Najafian Tumajani M.*,  
Junior Researcher of the Medical Information Systems Department,  
e-mail: najafian@mail.ru,

*Romanyuk O.O.*,  
Junior Researcher of the Medical Information Systems Department  
ORCID:0000-0002-6865-1403, e-mail: ksnksn7@gmail.com  
International Research and Training Center for Information Technologies  
and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine  
and Ministry of Education and Science of Ukraine,  
40, Glushkov ave., Kyiv, 03187, Ukraine

#### *EXPERIENCE AND PROSPECTS OF CREATING THE MEDICAL INFORMATION SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES TO SUPPORT MEDICAL CARE*

**Introduction.** *One of the four flagship initiatives identified by the WHO as health priorities for the coming years is Initiative to enable citizens for receive quality health care through digital health care. The use of digital medical technologies to provide health care will serve*

*for strengthening the Flagship the health care system, empowering patients and achieving the principle of "health for all".*

***The purpose** of the paper is to summarize the experience and latest results on Digital Medicine of the scientists of the Medical Information Systems Department of the International Research and Training Center for Information Technologies and Systems against the background of the general process of digital transformation in medicine.*

***Results.** The main characteristics and principles of building modern medical information systems (MIS) as components of the digital medicine ecosystem are determined. Internal and external information flows of MIS were analyzed. To further differentiation the representative attributes of formed electronic health documents, three similar but different technologies associated with the patient card were identified: electronic medical records, electronic health records and electronic patient health passport, each of which take into account the different level of patient orientation. Based on one of the "5Ps medicine" principles, the principle of personalization, the structure of personal medical storage is determined, which according to modern challenges is needed by all participants in digital medicine infrastructure (patients, doctors, laboratories and functional diagnostics departments, etc.). To ensure the interconnection of such repositories, models of business processes of accumulation and exchange of digital medical data have been created and based on them mobile applications, modules for accumulation and exchange of digital medical data between different users in diagnostic data analysis have been developed. The interaction of mobile applications with the local information environment of the health care institution are analyzed and its features are taken into account in the created specialized mobile software modules of accumulation and analysis of personal medical data.*

***Conclusion.** The developed model of digital transformation in medicine, which includes digital methods of obtaining and analyzing biomedical signals, digital medical images, methods of forming electronic medical records and documents, allowed to create methods and tools for building the digital medicine ecosystem. The use global intellectual resources were provided the necessary level for analysis Big Data and decision support for doctors at all stages of medical care. Applying the developed mobile tools of accumulation, analysis and exchange of personal medical data allows to review the accumulated data, assess and predict human health according to the developed Data Mining models and implement medical data exchange of different origins between patient and doctor.*

***Keywords:** medical information systems, digital medicine ecosystems, medical information technologies, mobile applications, classification models Data Mining.*