
DIGITAL MEDICINE

ЦИФРОВА МЕДИЦИНА

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.05.051>
UDC 004.8 + 004.032.26

С.І. КІФОРЕНКО, д-р. біол. наук, старш. наук. співроб., провід. наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5575-9079>
skifor@ukr.net

В.М. БЕЛОВ, д-р. мед. наук, професор, зав. відд.
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8012-9717>
motj@ukr.net

М.В. ЛАВРЕНЮК, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601, Україна
<https://orcid.org/00000003-2476-6193>
mykolalav@ukr.net

Т.М. ГОНТАР, канд. біол. наук, старш. наук. співроб., пров. наук. співроб.
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9239-0709>
gtm_kiev@ukr.net

В.О. КОЗЛОВСЬКА, наук. співроб.
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5898-1639>
vittoria13apr@gmail.com

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПІДТРИМКИ ЗДОРОВ'Я

В статті обговорюється проблема використання методології інтерооперабельності при розробленні інформаційних систем біологічної та медичної спрямованості, в яких використовується системно-ієрархічний підхід. Сформульовано основні положення

Цитування: Кіфоренко С.І., Белов В.М., Лавренюк М.В., Гонтар Т.М., Козловська В.О. (2025) Методологічні аспекти інтерооперабельності в прикладних задачах оцінювання та підтримки здоров'я. *Information Technologies and Systems*, Київ, 2025, Том 5 (5), 51–65. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.05.051>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2025. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

забезпечення інтеперабельності в складній структурно-ієрархічній системі кількісного оцінювання здоров'я з урахуванням наявних модельних уявлень щодо структурних особливостей інтеперабельності.

Розроблено комп'ютерну систему кількісного оцінювання здоров'я та його складників, а також систему підтримки реабілітаційних рішень з урахуванням персональних характерологічних властивостей за використання принципу інтеперабельності.

Використання принципу інтеперабельності при розв'язанні прикладних задач цифрової медицини дає можливість забезпечення взаємодії як окремих модулів в конкретних програмах, інформація в яких різноякісна, містить різні типи даних, так і взаємодії програмного забезпечення, створеного за різних мов програмування, і потребує узгодження при реалізації інформаційного обміну між цими програмами.

Ключові слова: інтеперабельність, категорія здоров'я людини, інформаційно-структурне моделювання здоров'я, принцип ієрархічності характер особистості, реабілітаційні заходи, комп'ютерна реалізація, цифрова медицина.

Вступ

Розвиток комп'ютерних технологій, програмного забезпечення, форм і способів зберігання, оброблення та розповсюдження інформації визначив широке впровадження великої кількості різноманітних інформаційних систем як великомасштабних — в економіці, фінансовій сфері, в промисловості, так і локальних, безпосередньо пов'язаних зі специфікою розв'язання конкретних прикладних задач. В тому числі набули актуальності прикладні комп'ютерні розробки в медичній сфері, в валеології, цифровій медицині, яка безпосередньо пов'язана зі здоров'ям людини, його підтримкою та збереженням. Це відкрило нові можливості у розв'язанні реальних задач підтримки прийняття рішень і, в той же час, призвело до ускладнення як під час їх розроблення, так і під час використання. Складності пов'язані з проблемами забезпечення взаємодії як окремих модулів в конкретних програмах, інформація в яких різноякісна, містить різні типи даних, так і взаємодії програмних систем, створених за різних мов програмування, що теж потребує під час реалізації інформаційного обміну між цими системами.

В сучасному інформаційному просторі широко використовується термін *Інтеперабельність* — це ключовий термін, який означає здатність до взаємодії різних систем, реалізовану на базі стандартних правил та уніфікованих інтерфейсів, що надає можливість обмінюватися інформацією та осмислено її використовувати. Цій проблематиці присвячено велику кількість публікацій, наприклад [1–7], в яких проведено огляд і аналіз досягнень в цій сфері діяльності з урахуванням специфіки використання, запропоновано інформаційно-структурну модель інтеперабельності, детально описано її принципівий базис і можливості використання.

Зазначимо, що інформаційні системи, які створюються в медичних та біологічних дослідженнях, мають відтворювати принципівий властивості реальних систем, для яких вони призначені. Оскільки здоров'я людини забезпечується завдяки збалансованій, злагодженій

взаємодії функціонування складових компонент та процесів в організмі — ці особливості повинні враховуватися і під час розроблення відповідних комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень у діагностиці стану здоров'я і у його підтримці. Комп'ютерні системи, які розробляються для підтримки прийняття рішень за діяльності, що пов'язана зі здоров'ям людини, мають складну структуру і складаються з великої кількості взаємодійних підсистем, що об'єднані для досягнення мети певною сукупністю зв'язків і правил функціонування. Ефективність таких комп'ютерних програмних систем залежить від того, наскільки якісно в них реалізовані процеси взаємодії та обміну даними. Для забезпечення збалансованої взаємодії модульної структури інформаційно-комп'ютерних систем, які створюються за розв'язання задач в прикладних розробках цифрової медицини, пов'язаних з оцінюванням та підтримкою здоров'я, доцільним є використання технології інтегрованості. Завдання нашого дослідження — обґрунтувати доцільність та необхідність використання методології інтегрованості при розробці складних інформаційних систем біологічної та медичної спрямованості; сформулювати основні положення забезпечення інтегрованості в структурно-ієрархічній системі кількісного оцінювання здоров'я з урахуванням наявних модельних уявлень щодо структурних особливостей інтегрованості; виявити методологічні принципи інтегрованості в розробленій комп'ютерній системі кількісного оцінювання здоров'я та його складників в комп'ютерній системі підтримки реабілітаційних рішень.

Поняття інтегрованості з'явилося у зв'язку з необхідністю практичного об'єднання модулів, компонентів і програм [1–3]. Інтегрованість, — це можливість взаємодії двох або більше компонентів, програм і систем для обміну інформацією і використання її для раціональної організації обчислень. Основу інтегрованості складають набори стандартів інформаційно-комунікаційних технологій.

Відповідно до загальноприйнятого визначення, даного організаціями зі стандартизації «...інтегрованість — це здатність двох або більше інформаційних систем або компонентів до обміну інформацією та використання інформації, отриманої в результаті обміну» [4]. При цьому забезпечення інтегрованості складних систем реалізується завдяки розробленню стандартів інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ-стандартів/профілів), відповідних протоколів, тощо. Ці розробки наразі дуже актуальні, широко представлені в монографіях, конкретних публікаціях, дисертаційних роботах, наукових звітах. Загострення проблеми технічної сумісності різних засобів передачі і обробки інформації, інтерфейсів засобів зв'язку свідчить взагалі про глобальну проблему розробки принципів, підходів, методів інтегрованості.

Проблема взаємодії окремих компонентів існує в більш широкому аспекті і на різних рівнях дослідження складних систем в разі

забезпечення взаємоузгодженості, взаєморозуміння та охоплює не тільки технічні аспекти взаємозв'язків між різноякісними інформаційними складниками. Під час розроблення складних систем необхідно збалансовано враховувати *принцип інтегрованості* – цілісності, системності і *принцип інтероперабельності* – функційної взаємодії між усіма складовими цілісної структури системи, яку розробляють.

В багатьох дослідженнях і науково-технічних розробках використовують такі поняття як інтероперабельність і сумісність, але чіткої різниці між ними не проводять. Що стосується цього, то інтероперабельність є більш широким поняттям ніж сумісність і враховує не тільки саму можливість взаємодії різних систем і їх компонентів, але й технологічні параметри, які забезпечують цей багатофункційний зв'язок.

В оглядах Європейської комісії зазначається, що поняття інтероперабельності в багатьох країнах розглядається як невід'ємний елемент цифрової трансформації життєдіяльності суспільства в різних аспектах [6, 7]. Особливої актуальності набуло використання цього терміну в зв'язку з появою і розвитком мережі інтернет, яка є великим гетерогенним інформаційним середовищем, існування якого без реалізації взаємозв'язків неможливе взагалі.

Необхідність забезпечення інтероперабельності і трактування різноманітних взаємозв'язків в складних системах, що розробляються, спонукало дослідників провести їх класифікацію та запропонувати можливі типи і рівні реалізації. [5–7, 8].

Інформаційна (описова) модель інтероперабельності. Проблема забезпечення інтероперабельності є досить багатогранною, охоплює безліч різних аспектів, які можна розглядати на таких рівнях: організаційному, синтаксичному, семантичному і технічному [5, 9–11].

На *організаційному* рівні інтероперабельність забезпечується регламентацією виконання загальних вимог: мета, задачі, стратегія, плани; встановлюється порядок взаємодії між підпорядкованими загальній меті інформаційно-концептуальними структурами, вимогами, тощо [8].

На *синтаксичному* рівні – інтероперабельність реалізується завдяки розробці стандартів, формальних правил, відповідності форматів і протоколів передачі / отримання даних, задіяних в розроблюваних системах для успішного обміну.

Семантична інтероперабельність – здатність компонентів, модулів, об'єктів, що взаємодіють і утворюють цілісну структуру адекватно інтерпретувати зміст інформації, якою вони обмінюються, забезпечувати «взаєморозуміння» з певною точністю, уникати неоднозначності тлумачень.

На *технічному* рівні формалізуються процеси інформаційної взаємодії між технічними системами, технічними засобами, апаратними та програмними комплексами з урахуванням особливостей реалізації їх інтерфейсів, форм та форматів надання інформації. Підкресли-

мо, що технічна інтеперабельність — здатність до обміну інформацією між системами, з використанням програмно-технічних засобів.

Цей принцип структурування ми використовуємо для розв'язання задач біологічної та медичної спрямованості, що підвищує ефективність підтримки прийняття відповідних діагностичних та керувальних рішень для оцінювання та підтримки здоров'я людини в цілому та його складових.

Задачі кількісного оцінювання здоров'я в контексті інтеперабельності

Погляд на здоров'я крізь призму ієрархічності можна подати як структуру реальної досліджуваної предметної області (здоров'я), основу якої складають три найважливіших складники: фізичний, психічний та соціальний, кожен з яких зі свого боку базується на сукупності підсистем зі складною, дуже розгалуженою мережею зв'язків. Кожен складник має певну інформаційну цінність і як самостійний елемент, і як такий, що пов'язаний з усіма іншими у цілісному нероздільному комплексі. Окремі модулі цієї системи розглядаються в комплексі з усією складною архітектурою взаємозв'язків щодо здоров'я людини в цілому, де може надаватись пріоритет на певному етапі досліджень.

Розвиток комп'ютерних технологій, програмного забезпечення, форм і способів зберігання, оброблення та розповсюдження інформації в цифровій медицині відзначено широким впровадженням великої кількості різноманітних інформаційних систем, безпосередньо пов'язаних зі специфікою розв'язання конкретних прикладних задач. В тому числі набули актуальності прикладні комп'ютерні розробки в діагностичній медичній діяльності і в валеології — сфері, яка безпосередньо пов'язана зі здоров'ям людини, його підтримкою та збереженням. Це відкрило нові можливості у розв'язанні реальних задач підтримки прийняття рішень і, в той же час, призвело до їх ускладнення під час розроблення та використання. Це ускладнення пов'язане з проблемами забезпечення інтеперабельності, тобто взаємодії і сумісності як окремих модулів в конкретних програмах, інформація в яких різноякісна, містить різні типи даних, так і взаємодії програмного забезпечення, створеного за різних мов програмування, що теж потребує узгодження в разі реалізації інформаційного обміну між цими програмами.

Комп'ютерні системи, які розробляються для підтримки прийняття рішень за діяльності, пов'язаної зі здоров'ям людини, мають складну структуру і складаються з великої кількості взаємодійних підсистем, що об'єднані для досягнення мети певною сукупністю зв'язків і правил функціонування. Ефективність таких комп'ютерних і програмних систем залежить від того, наскільки якісно в них реалізовані процеси взаємодії та обміну даними, інакше — як виконується принцип інтеперабельності. Зазначимо, що таку методологію,

на якій ґрунтується принципово-загальна описова модель інтероперабельності, про яку йшлося вище, можна спроектувати на системі локального рівня реалізації спеціального призначення. У нашому випадку це – система кількісного оцінювання здоров'я людини, якій ми приділили значну увагу.

Здоров'я людини як система має складну ієрархічну структуру, розгалуження якої ґрунтується на трьох основних складових (статусах): фізичній, психічній і соціальній, кожна з яких зі свого боку має безліч підсистем, модулів, показників. Водночас, організаційний рівень інтероперабельності для системи кількісного оцінювання здоров'я полягає в розробленні самої концепції оцінювання – тобто в ієрархічній структурі організації дослідження. Розроблення інформаційної моделі оцінювання здоров'я людини з урахуванням особливостей його фізичного та психосоціального статусу з використанням технології інфотомування, яка є віртуальною ієрархією структури статусу здоров'я, що охоплює сам статус, його компоненти, складові компоненти статусу, показники функціонування компонентів [12]. Загальну структуру організації досліджень подано на рис. 1.

Синтаксичний рівень інтероперабельності, у нашому випадку, забезпечується завдяки спеціально розробленому синтаксису – методу *нормування* різноякісних показників МНУРІ, який задає метричну визначеність показників, стосовних здоров'я людини [13, 14]. Отже, завдяки процедурі нормування, різні шкали вимірювань трансформуються в єдину нормовану шкалу, роздільні позиції якої змінюються в діапазоні [0–1].

Семантичний рівень – на основі розробленого синтаксису, (нормування) який є базою для «взаєморозуміння», розглядаються дані, що вимірюються в різних одиницях в єдиному смисловому полі. Це дає змогу порівнювати інтенсивність дії фізіологічних показників, які вимірюються в різних одиницях, заздалегідь оцінити в комплексі силу прояву взаємодії різних за призначенням фізіологічних підсистем різного рівня ієрархії. Це забезпечує можливість зрозумілої користувачеві інтерпретації щодо взаємоузгодженої інтенсивності взаємодії між конкретними підсистемами та їхніми складовими.

Такий принцип забезпечення взаємодії, з урахуванням рівнів інтероперабельності, зазначених вище: організаційному, синтаксичному, семантичному і програмно-технічному за кількісного оцінювання здоров'я і його складників, раніше програмно реалізовано у комп'ютерній програмі «Експрес діагностика» системи експрес діагностики стану здоров'я (СЕДСЗ) [15].

Організаційний рівень СЕДСЗ забезпечується завдяки розробці структурно-алгоритмічної схеми системи, яка ґрунтується на реляційній базі даних, компоненти якої можна умовно розділити на діагностичної та користувальницьку категорії. Під категорію діагностичної компоненти укладається необхідний базис, який забезпечує процес діагностики та поданий як набір таблиць, що містять напрями дос-

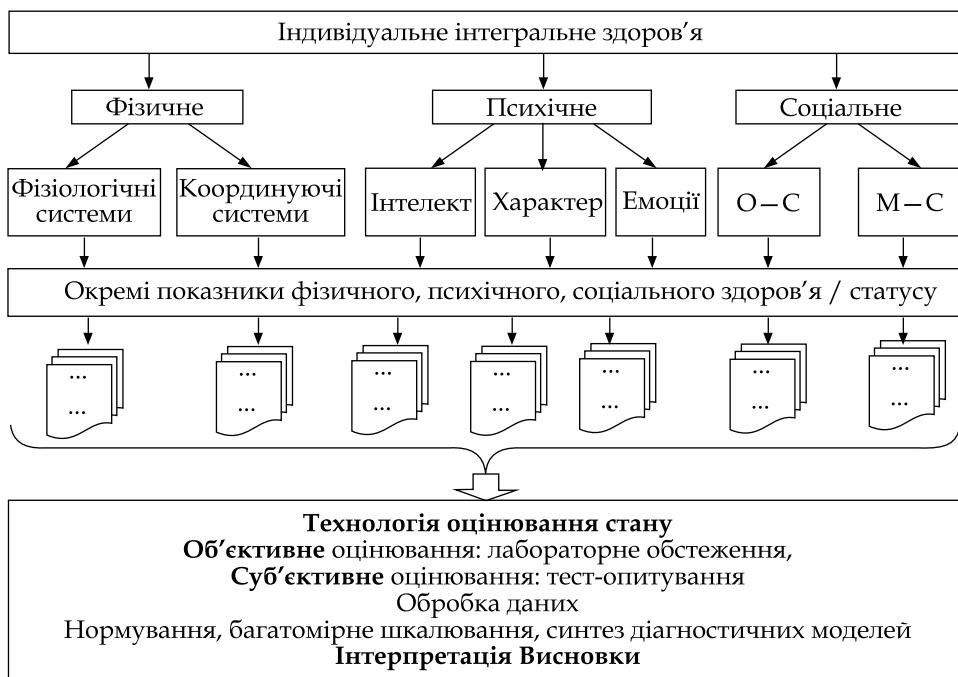


Рис. 1. Загальна концептуальна структура організації дослідження

ліджень, тести-запитання, питання та варіанти відповідей. Користувальницька категорія бази здійснює можливість фіксувати дані кожного користувача, включно з отриманими результатами з компонентами діагностики.

Синтаксичний рівень системи СЕДСЗ це – мови програмування, необхідні для раціональної організації складної архітектури зв'язків розробленого комплексу. (Мови програмування та зв'язки між ними). Систему реалізовано на об'єктно-орієнтованих мовах PHP, JavaScript, на базі технології AJAX та MySQL.

На семантичному рівні комп'ютерна програма СЕДСЗ пропонує користувачу набір спеціально розроблених анкет, відомих тестів та методик діагностики та оцінювання компонентів, складових та показників психічного, фізичного та соціального статусів. Система експрес-діагностики дає змогу на підставі понад 70 показників самооцінки користувачем свого поточного стану в реальному часі «тут і зараз» вивести кількісний індекс здоров'я з урахуванням особливостей фізичного, психічного та соціального статусів здоров'я організму та особистості. Після проходження методик тестування програма реалізує на базі зазначених мов програмування наочну візуалізацію звіту з наданням певних вербальних висновків інтерпретувати кількісну міру оцінювання здоров'я та його складових завдяки розробленій процедурі нормування.

Технічний рівень інтероперабельності – рівень, на якому виконується алгоритмічно-програмна реалізація правил і процедур для за-

безпечення взаємодії та передачі даних, розроблених на трьох попередніх рівнях, — організаційному, синтаксичному і семантичному.

Програмне забезпечення СЕДСЗ спочатку було спроектовано так, щоб відокремити процес кількісних розрахунків відповідних індексів за первинними даними від процесу збору даних [16]. У такій архітектурі обчислювальною компонентою створеного програмного забезпечення є ядро (*engine*), яке може бути використане і в комплексі з діалоговою компонентою — для інтерактивного тестування, і без неї — для пакетної обробки експериментального масиву.

Для локального використання створено додатковий інсталяційний пакет, який встановлює віртуальний сервер WAMP (за умови ліцензії GNU), переписує файли СЕДСЗ та встановлює набір невеликих компільованих програм. Програми підтримки запуску СЕДСЗ реалізовані на C#. Їхнє коректне виконання вимагає наявності *Framework 2.0*, у зв'язку з постійним зверненням до нього. Тому під час запуску СЕДСЗ програми підтримки перевіряють наявність і роботу необхідних запущених служб *httpd* і *sql*, і на платформі *wampmanager* запускають створений спеціально під СЕДСЗ локальний браузер, що використовує ядро *Internet Explorer*'а.

Модель СЕДСЗ побудована згідно з гібридним підходом, який дає змогу проходити експрес-діагностику в режимі *on-line* у глобальних та локальних мережах та на персональному комп'ютері, при цьому використовується єдиний програмний комплекс. Реалізація розроблених алгоритмів у комп'ютерних та мобільних додатках дає можливість проводити обстеження на персональному комп'ютері, смартфоні та в режимі *on-line* у мережах, що підвищує ефективність підтримки самостійного прийняття рішень за контролю та корекції здоров'я людини.

Комп'ютерна система реабілітаційної підтримки з урахуванням особливостей характеру людини в контексті інтерооперабельності

Алгоритмічно-програмні розробки експрес-діагностики трьох статусів здоров'я адаптовано для розв'язання актуальних прикладних завдань створення системи вибору реабілітаційних заходів з урахуванням сили прояву властивостей *характеру* людини. Проблема розроблення і використання інформаційних систем, пов'язаних зі здоров'ям українців, які перенесли надмірне психологічне перенапруження і потребують удосконаленого доступу до психологічної підтримки — в центрі уваги багатьох науковців [17, 18].

Вважаємо, що рішення, які треба приймати людині, що перебувала в складних психогенних ситуаціях, набула при цьому тяжких психологічних проблем, яка мріє повернутися до нормального психологічного стану — базуються переважно на особистісних властивостях характеру людини. Саме характер є тим визначальним ключем

човим фактором, що формує поведінку особистості в складних ситуаціях і визначає напрямок його подальшої життєдіяльності [19, 20].

Розглядаючи характер у контексті інтегрованості, зазначимо, що саме характер, як найважливіший компонент психічної складової здоров'я, є пусковим механізмом, який забезпечує взаємодію систем організму при формуванні реабілітаційних рішень з урахуванням змінних обставин у зовнішньому середовищі і функційними можливостями свого внутрішнього стану. Зазначимо, що у цьому разі забезпечується *семантична складова* інтегрованості, що полягає у психологічному прояві мотивації, волі прийняття адекватних рішень щодо подолання зовнішніх збурень. Відбувається взаємоузгодження між характером людини та вибором оздоровчих реабілітаційних дій з необхідними можливостями активності людини для досягнення мети одужання.

У подальшому, розроблення системи прийняття реабілітаційних рішень з урахуванням характерологічних особливостей, що базується на кількісному оцінюванні їхніх складових, є вкрай важливим, бо дає змогу підвищити роздільну здатність вибору реабілітаційних заходів для осіб з психогенними проблемами. Передумовою кількісного оцінювання складових характеру є розроблення класифікації інформаційного простору щодо типів і властивостей характерологічної компоненти психічного статусу [21].

Для ідентифікації складників характерологічного компонента психічного здоров'я розроблено спеціальну анкету-опитувальник, за якою виконується кількісне оцінювання якостей характеру. Алгоритм анкетного тестування та кількісного оцінювання є програмно реалізованим, пройшов пілотну апробацію та довів свою діагностичну ефективність [22]. Результати цього оцінювання передаються для подальшої обробки на вхід керувальної системи, в якій пропонуються реабілітаційні заходи на основі розробленої класифікації та результатів кількісної ідентифікації основних властивостей характеру.

Технічний рівень інтегрованості в задачі вибору реабілітаційних заходів з урахуванням характеру особистості. На етапі подальшого розроблення комплексу оцінювання характеру і надання реабілітаційних послуг з урахуванням його кількісного оцінювання виникає проблема інтегрованості на технічному рівні. Реалізація пов'язана з необхідністю взаємодії програмного забезпечення, створеного за різними мовами програмування. Програма «ТОХО-20» реалізована на мові програмування C#, програма «ХАРАКТЕР+РЕАБІЛІТАЦІЯ» розробляється на мові програмування *Delphi* з використанням середовища розробки *Embarcadero RAD Studio*.

Реалізація інтегрованості між цими програмами виконується так: програма «ХАРАКТЕР+РЕАБІЛІТАЦІЯ» одержує результати роботи програми «ТОХО-20» який зберігається як файл даних у форматі csv. Вихідні дані програми «ТОХО-20» — це п'ятикомпо-

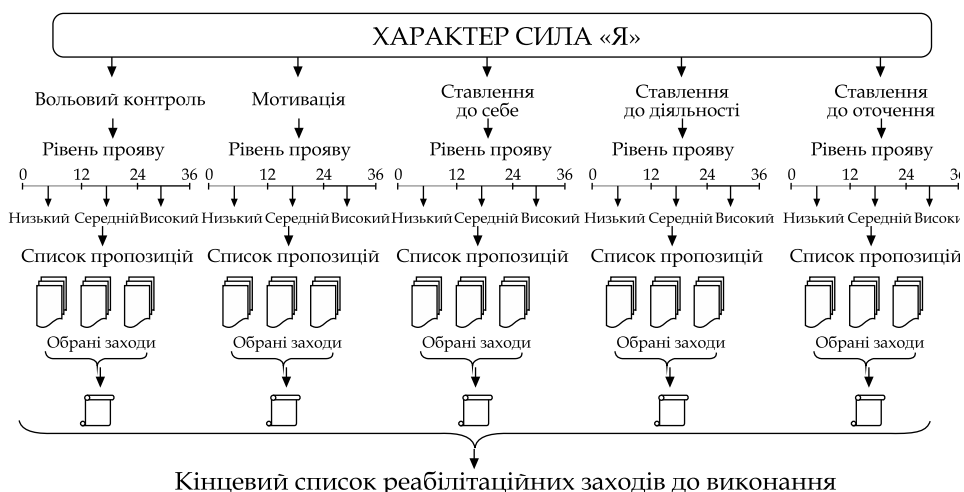


Рис. 2. Інформаційна структура послідовності вибору реабілітаційних заходів залежно від інтенсивності прояву властивостей характеру

нентний вектор, кожний компонент якого є кількісною оцінкою в балах п'яти опорних властивостей характеру відповідно до розробленої класифікації. Далі на основі цього файлу будується реляційна база даних, з якої планується розроблення модульної структури програми вибору реабілітаційних дій з урахуванням характерологічних властивостей особистості. Інформаційно-логічна послідовність вибору реабілітаційних пропозицій залежно від сили прояву складових характеру за результатами оцінювання на відповідних шкалах ілюструє рис. 2.

Блок-схему основного алгоритму роботи програми вибору реабілітаційних заходів, побудованого на основі розробленої класифікації робочого інформаційного простору, наведено на рис. 3.

Архітектура та функційне наповнення Програми має модульну структуру, у складі якої містяться модулі інформаційні, формально-логічні (що реалізують та синхронізують зв'язки та відносини) та модулі, що реалізують користувацький інтерфейс.

Інформаційний ресурс подано спеціалізованими базами даних, розкласифікованими за описаними раніше критеріями. При цьому використано технологію реляційного моделювання, згідно з якою інформаційними модулями є ієрархічно організовані електронні таблиці, узгоджена взаємодія між якими підтримується спеціальними програмними процедурами та реалізується з допомогою системи управління базами даних. Зберігання інформації та обмін даними між модулями здійснюється на основі файлової системи та динамічно-завантажуваних бібліотек (DLL). Робота програми полягає у конструюванні послідовності запитів до реляційної бази даних із подальшим наданням звіту у таблично-графічній формі.

Узагальнена оцінювально-керувальна структура реабілітаційного комплексу підтримки прийняття рішень особами, що перебува-



Рис. 3. Принципова блок-схема основного алгоритму роботи програми

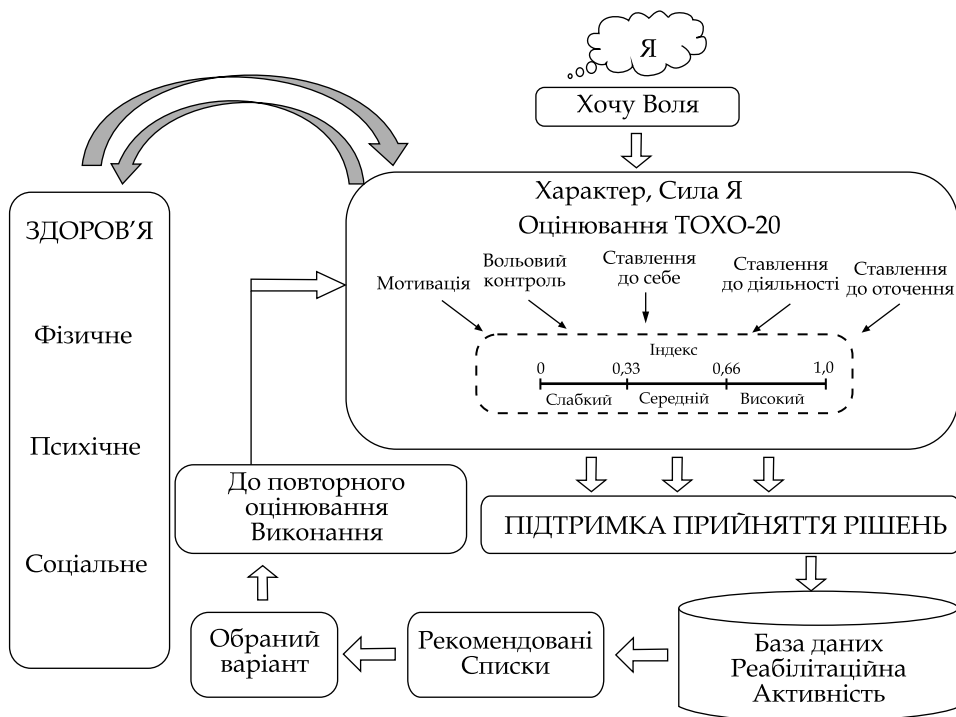


Рис. 4. Інформаційно-алгоритмічна структура системи вибору реабілітаційних заходів з урахуванням стану здоров'я в цілому та сили прояву властивостей характеру

ють в умовах глобальних психогенних факторів, з урахуванням стану їх здоров'я та характерологічних властивостей наведена на рис. 4.

Розроблена інформаційна технологія, реалізована в комп'ютерній системі підтримки прийняття рішень, є технологічним інструментом підвищення оперативності надання необхідної специфічної інформації користувачу під час вибору реабілітаційних заходів з урахуванням сили властивостей його характеру.

Висновки

Використання принципу інтероперабельності у розв'язанні прикладних задач цифрової медицини створює можливість забезпечення взаємодії як окремих модулів в конкретних програмах, інформація в яких різноякісна, містить різні типи даних, так і взаємодії програмного забезпечення, створеного за різних мов програмування, що потребує узгодження реалізації інформаційного обміну між цими програмами.

Реалізація інтероперабельності в задачах оцінювання та підтримки здоров'я виконується завдяки розробці комплексного програмного забезпечення, в якому об'єднані програмні модулі: експрес-діагностики стану трьох статусів здоров'я, модуль оцінювання характерологічних особливостей людини і керувальний модуль вибору реабілітаційних заходів. Саме функціонування в комплексі трьох модулів оптимізує реабілітаційний процес і забезпечує ефективну взаємодію розробленої системи підтримки прийняття рішень, а урахування стану характерологічної компоненти при синтезі програм самокерування здоров'ям дає змогу індивідуалізувати підбір керуючих впливів і досягти їх більшої ефективності.

ЛИТЕРАТУРА / REFERECES

1. Lavrishcheva E.M. Formal bases of interoperability of components in programming. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2010, Vol. 46 (4), 134-150. [In russian]
2. Proydakov E.M., Teplitsky E.A. *English-Ukrainian Explanatory Dictionary of Computer Science, Internet and Programming*. Publishing House «SoftPress», Kyiv, 2005, 552 p. [In Ukrainian: Проїдаков Е.М., Теплицький Е.А. *Англо-український тлумачний словник з обчислювальної техніки, Інтернету і програмування*]
3. Lavrisheva K.M. General programming of software systems and their families. *Problems of programming*, 2009, Issue 1, 3-16. [In Ukrainian: Лавріщева К.М. Генерувальне програмування програмних систем і сімейств]
4. DSTU ISO/IEC/IEEE 24765:2018 International Standard. Systems and Software Engineering. Vocabulary (ISO/IEC/IEEE 24765:2017, IDT)
5. Berg C. Interoperability. *Internet Policy Review*, 2024, Vol. 13 (2). <https://doi.org/10.14763/2024.2.1749>
6. Palagin A.V. Problems of transdisciplinarity and the role of informatics. *Cybernetics and system analysis*, 2013, Vol. 49 (5), 3-13. [In russian]
7. Fernandes J., Ferreira F., Cordeiro F., Neto V.G., Santos R. How can interoperability approaches impact on systems-of-information systems characteristics? *The XVI Brazilian Symposium on Information Systems*, Nov. 2020, 1-8.

8. Kunev V. Extended RSA-M Algorithm as a Way of Increase Computational Complexity of Cryptosystems. *Journal of Engineering Science*, 2018, Vol. 25 (2), 45–56. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2564485>
9. Abduljabbar R., Jalil M.A. Network-Centric Approaches in Systems Development Life Cycle (SDLC): A Comprehensive Survey. *Babylonian Journal of Networking*, 2023, 77–81.
10. Nilsson J., Javed S., Albertsson K., Delsing J., Liwicki M., Sandin F. AI concepts for system of systems dynamic interoperability. *Sensors*, 2024, Vol. 24 (9), Article 2921.
11. Zaloha V.O. Bases of decision-making in managing the life cycle processes of complex products and military equipment. Science report, 2021. [In Ukrainian: Залога В. О. Основи прийняття рішень при управлінні процесами життєвого циклу складних виробів та об'єктів військової техніки] URL: https://sumdu.edu.ua/images/content/science/research/2021_Zaloga-min.pdf
12. Kiforenko S.I., Belov V.M., Hontar T.M. The Hierarchy Principle as the Basis of Biological Systems Research. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2022, Vol. 207 (1), 74–84. [In Ukrainian: Кіфоренко С.І., Белов В.М., Гонтар Т.М. Принцип ієрархічності – основа дослідження біомедичних систем] <https://doi.org/10.15407/kvt207.01.074>
13. Kiforenko S.I., Belov V.M., Hontar T.M., Kozlovska V.O., Obelets T.A. Methodological Aspects of Using Normometrical Scaling for Multidimensional Assessment of Health Reserves. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2022, Vol. 209 (3), 63–80. [In Ukrainian: Кіфоренко С.І., Белов В.М., Гонтар Т.М., Козловська В.А., Обелець Т. А. Методологічні аспекти використання нормометричного шкалювання для багатовимірного оцінювання резервів здоров'я] <https://doi.org/10.15407/kvt208.03.063>
14. Belov V.M., Kotova A.B., Pustovoit O.G. Method of normalized unification of information of different quality. Utility Model Patent No. 11235 [In Ukrainian: Белов В.М., Котова А.Б., Пустовойт О.Г. Спосіб нормованої уніфікації різноякісної інформації] URL: <https://sis.nipo.gov.ua/en/search/detail/293472/> [Accessed 20 Sep. 2025]
15. Belov V.M., Kotova A.B., Dubovenko M.M., Kiforenko S.I. Computer program “System of express-diagnostic of the health status”. Copyright of the work № 37242, published 04. Mar. 2011. [In Ukrainian: Белов В.М., Котова А.Б., Дубовенко М.М., Кіфоренко С.І. Комп'ютерна програма «Система експресдіагностики стану здоров'я»]
16. Belov V.M., Kotova A.B. *Human health: challenges, methods, approaches*. Monograph, Naukova dumka, Kyiv, 2017, 134 p. [In russian]
17. Korolchuk M.S., Korolchuk V.M., Kulazhenko A.I. et al. *Psychological features of long-term consequences of stress-induced influences*: monograph. KNUTE, Kyiv, 2014, 275 p. [In Ukrainian: Корольчук М.С., Корольчук В.М., Кулаженко А.І. та ін. Психологічні особливості віддалених наслідків стресогенних впливів]
18. Chaban O.S., Khaustova O.O., Omelyanovich V.Yu. Mental disorders of wartime: monograph, Medknyha, Kyiv, 2023, 231 p. [In Ukrainian: Чабан О.С., Хаустова О.О., Омелянович В.Ю. Психічні розлади воєнного часу]
19. Grinova O.M. The problem of character in Ukrainian and foreign psychology (theoretical aspect). *Collection of Research Papers «Problems of Modern Psychology»*, 2019, Vol. 12, 278–293. [In Ukrainian: Гріньова О. Проблема характеру в українській та зарубіжній психології (теоретичний аспект)] <https://doi.org/10.32626/2227-6246.2011-12.%25p>
20. Belov V.M., Kozlovska V.A., Kobzar T.A., Kovalev V.M. Information technology for assessing personality characteristics for selecting rehabilitation interventions for post-traumatic syndrome. *International scientific practical conference Information technologies: science, engineering, technology, education, health. MicroCAD*, Kharkiv, 2021, p 308. [In Ukrainian: Белов В.М., Козловська В.А., Кобзар Т.А., Ковальов

- В.М. Інформаційна технологія оцінювання характерологічних особливостей особистості для вибору реабілітаційних впливів при посттравматичному синдромі]
21. Belov V.M., Kiforenko S.I., Lavreniuk M.V., Hontar T.M., Kozlovska V.O. Information and Computer Technology for Supporting Human Mental Health Taking into Account its Characterological Properties. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2024, Vol. 217 (3), 83–100. [In Ukrainian: Белов В.М., Кіфоренко С.І., Лавренюк М.В., Гонтар Т.М., Козловська В.О. Інформаційно-комп'ютерна технологія підтримки психічного здоров'я людини з урахуванням її характерологічних властивостей] <https://doi.org/10.15407/kvt217.03.083>
 22. Kozlovska V.O., Belov V.M., Dubovenko M.M. Computer program "Test "Personality Character Assessment" ("ТОКНО-20")". Copyright of the work № 103805, published 07 Apr. 2021. [In Ukrainian: Козловська В.О., Белов В.М., Дубовенко М.М. Комп'ютерна програма «Тест «Оцінювання характеру особистості» («ТОХО-20»)»]

Отримано / Received 24.09.2025

S.I. KIFORENKO, DSc (Biology), Senior Researcher, Leading Researcher, Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine, 40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5575-9079>
skifor@ukr.net

V.M. BELOV, DSc (Medicine), Professor, Head of Department, Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine, 40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8012-9717>
motj@ukr.net

M.V. LAVRENYUK, PhD (Phys.-Math.), Associate Professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine
<https://orcid.org/00000003-2476-6193>
mykolalav@ukr.net

T.M. HONTAR, PhD (Biology), Senior Researcher, Leading Researcher Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine, 40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9239-0709>
gtm_kiev@ukr.net

V.O. KOZLOVSKA, Researcher Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine, 40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5898-1639>
vittoria13apr@gmail.com

METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTEROPERABILITY IN APPLIED TASKS OF HEALTH ASSESSMENT AND SUPPORT

Introduction. The focus of our research is the problem of using the interoperability methodology in the development of biological and medical information systems based on a system-hierarchical approach. Technological support for the interoperability of decision support systems in various areas of human activity improves the quality of their functionality, making them effective, understandable, and accessible for wide use.

The purpose of the development is to show the feasibility of using a methodological approach using interoperability technology to ensure balanced interaction of the modular structure of information and computer systems, which are created when

solving problems in applied developments of digital medicine related to health assessment and support.

Research methods: hierarchical synthesis of information components of three health statuses, structural-functional modeling, method of hierarchical convolution of different quality indicators, quantitative health assessment – method of calculating the personal health index, and technology of algorithmic and software modeling.

Results. The main provisions for ensuring interoperability in a complex structural-hierarchical system of quantitative health assessment are formulated, taking into account existing model ideas regarding the structural features of interoperability. Attention is focused on the principle of interoperability used in the developed computer system of quantitative health assessment and its components. This principle is also implemented in the rehabilitation decision support system, taking into account personal characterological properties. In the synthesized system, interoperability is achieved by developing a complex software that combines software modules: express diagnostics of the state of three health statuses, a module for assessing the characterological features of a person based on the developed classification, and a control module for selecting rehabilitation measures depending on the intensity of the manifestation of characterological components.

Conclusion. The use of the principle of interoperability in solving applied problems of digital medicine, including the problem of developing a rehabilitation decision support system, makes it possible to ensure the interaction of both individual modules in specific programs. The information in these programs is of different quality, contains different types of data, and involves the interaction of software created in different programming languages. It requires coordination when implementing information exchange between these programs. The functioning of these three software modules in a complex ensures effective interaction of the developed decision support system and optimizes the rehabilitation process.

Keywords: *human health category, hierarchical principle, information and structural modeling of health, interoperability, digital medicine.*