



Альона ВОРОХ, магістрантка
ORCID ID: 0000-0001-9578-1847
e-mail: alyona.voroch@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ольга КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-9669-2579
e-mail: olha.kravchenko@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Дмитро СИВОГЛАЗ, асп.
ORCID ID: 0000-0002-6806-839X
dmytro.syvohlaz@chdtu.edu.ua
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

АРХІТЕКТУРА ІОТ-ЕКОСИСТЕМИ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЦЕНТРУ ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ

Вступ. Досліджено використання ІоТ-технологій у сучасній медицині, насамперед в Україні. На основі розглянутих аналогів існуючих систем та з огляду на всю складність нинішньої ситуації, кількість людей, що потребують реабілітації, невпинно зростає, і таких центрів допомоги просто не вистачає. Навантаження на лікарів-реабілітологів збільшується. Як результат далеко не всі можуть отримати необхідну допомогу через нестачу спеціалістів – лікарів-реабілітологів. Унаслідок цього виникає потреба у створенні власної ІоТ-системи для автоматизації та оптимізації процесів лікування.

Методи. Використано методи аналізу, синтезу та проєктування складних систем.

Результати. Розроблено архітектуру ІоТ-екосистеми реабілітаційного центру відновлення після поранень, травм, нападів та операцій. Архітектура проєкту складається з тренажерів із датчиками та модулем Wi-Fi для передавання даних у хмару з базою даних і хмарними обчисленнями, після чого кінцевий користувач, тобто лікар, може отримувати доступ до цих даних за допомогою додатка, обробляти їх, відслідковувати показники та створювати можливості тренувань для кожного пацієнта. Зазначимо, що кожному пацієнту буде видана картка з RFI-міткою або ІоТ-маячком, за якою проходитиме ідентифікація пацієнта на кожному тренажері й налаштуватиметься відповідна програма, складена лікарем. І тоді відповідно показники стану конкретної людини передаватимуться в базу даних для відстеження їх лікарем.

Висновки. Упровадження запропонованих рішень дасть змогу значно підвищити якість надання медичної допомоги населенню України.

Ключові слова: архітектура ІоТ, екосистема реабілітаційного центру, тренажер, датчик, реабілітація.

Вступ

Сучасна медицина є однією з провідних галузей, де починають активно застосовувати новаторські рішення у сфері ІоТ. Інтернет речей – це технологія для взаємодії пристроїв одного з одним і зовнішнім середовищем. Програмні рішення – це комплексна система, що складається з датчиків, обладнання, каналів зв'язку та програмного забезпечення. У режимі реального часу відстежується робота різних систем, контролюються пристрої та об'єкти. У світовій сфері охорони здоров'я ІоТ дозволяє підвищувати ефективність лікування, проводити швидку діагностику захворювань, відслідковувати показники здоров'я пацієнта.

У режимі реального часу можна збирати дані з медичних пристроїв, які призначені для відстеження динаміки сну, серцевого ритму й інших фізіологічних параметрів. Щоб зрозуміти, що таке ІоТ у спрощеній побутовій версії, просто згадайте фітнес-трекери – простий браслет дозволяє вимірювати пульс, температуру тіла, серцевий ритм та інші показники.

За прогнозом Бюро перепису населення США, 2025 р. 1,2 млрд населення планети становитимуть люди похилого віку. Тому підтримка зв'язку з пацієнтами, перевірка стану їхнього здоров'я навіть на відстані стають основою ефективного лікування та профілактики захворювань (Kyivstar business hub, 2021).

Поява інтернету речей дозволяє змінювати ті технології та методи лікування, які формувалися десятки років тому. І для лікарів, і для пацієнтів, і для медичних закладів з'являються нові можливості (Kyivstar business hub, 2021).

Нині народ України спіткала дуже тяжка ситуація. Ніхто не міг і подумати, що у XXI ст. почнеться війна. Велика кількість народу постраждала під час бойових дій. До списку постраждалих входять не лише військові, а й велика кількість цивільного населення. Для відновлення фізичного здоров'я людей будуть широко затребувані лікарі-реабілітологи. На жаль, автоматизація реабілітаційних центрів не дуже поширена в Україні. Для автоматизації та прискорення процесу відновлення фізичного здоров'я людей виникає потреба у створенні реабілітаційного центру для постраждалих під час воєнних дій із використанням технології ІоТ.

З 2009 р. в усьому світі триває революція інтернету речей у сфері охорони здоров'я. Це почалося, коли США створили закон HITECH, який заохочував інтегрувати електронні медичні картки та доповнювати технології в секторі охорони здоров'я. Відтоді, Медичний ринок інтернету речей набув великої популярності, з такою значною кількістю ІТ-компаній, що є учасниками ринку і прагнуть домінувати або хоча б отримати невелику частку від пирога. Через 9 років, у 2017, вартість медичних пристроїв ІоТ, присутніх на ринку охорони здоров'я, становила \$56,1 млрд, і яка виросла до \$267,6 млрд у 2023 р. (рис. 1). Цифри будуть тільки зростати, оскільки це прогноз 2023 р., то це зростання пояснюється тим, що розмір ринку розширюється зі швидкістю зростання 30,2 % протягом 2018–2023 рр., що так само викликано зростаючим попитом у мережі інтернету речей у лікарях та інших закладах охорони здоров'я. Приклади

© Ворох Альона, Кравченко Ольга, Сивоглаз Дмитро, 2023

інтернету медичних речей включають дистанційний моніторинг, передачу даних у режимі реального часу, серед багатьох інших технологій (MOKOSmart, 2021).

Популярний в Україні зараз застосунок Doctor Online, який можна встановити на Android, iOS для консультації з лікарями за допомогою мобільного зв'язку або відеовиклику. Пацієнт після реєстрації визначає симптоми, система підбирає йому список лікарів за профілем. Далі можна зв'язатися з будь-яким із них онлайн. Тут же можна отримувати направлення на аналізи, записуватися в лабораторію та забирати результати з розшифруванням. У застосунку є більше 60 напрямлень – від сімейного лікаря до кардіолога (Health fakty, 2022).



Рис. 1. Збільшення кількості IoT-пристроїв у медицині та прогнози (MOKOSmart, 2021)

Досягнення у сфері інтернету речей (Internet of Things, IoT) відкрили в медицині широке коло можливостей для покращення якості послуг. Сучасні медичні заклади використовують сенсори, розумні пристрої і програмне забезпечення проектів IoT для доступу до віддаленого моніторингу стану здоров'я, підрахунку обладнання й обліку медикаментів.

Напрямки впровадження рішень:

- моніторинг температури місць зберігання фармацевтичних засобів;
- моніторинг стану здоров'я;
- керування інцидентами;
- відстеження місцезнаходження предметів та обладнання.

З огляду на зазначене, у роботі пропонується, по-перше, провести аналіз можливостей застосування IoT-технологій у реабілітаційних центрах. По-друге, передбачено порівняти наявні подібні системи, що використовуються у медицині, дослідити статистичні показники постраждалих в Україні та, на основі цього, розробити архітектуру IoT-екосистеми реабілітаційного центру.

Постановка задачі. Через ситуацію у світі нині кількість людей, які мають проблеми з фізичним станом значно збільшилась. У реабілітації фізичного здоров'я людини головна роль належить лікарю-реабітологу. Лікар має бути постійно присутнім, наглядати за показниками пацієнтів, налаштовувати програму тренажерів, але в результаті цього скорочується значна кількість пацієнтів, яка могла б проходити тренування одночасно, і витрачається багато часу лікаря. Тому процес відновлення фізичних можливостей потребує автоматизації.

Статистика війни вражає: уже понад 6,4 млн українських родин мають досвід проживання в окупації, 6 млн втратили заощадження або майно, 5,3 млн залишились без житла, а 1,1 млн родин зазнали голоду. Відомо, що майже 100 тис. осіб в Україні пережили смерть своїх близьких родичів або друзів.

Згідно з дослідженням понад 32 млн осіб постраждали безпосередньо або опосередковано від російських "визволителів", а це – 85 % населення України (Щоденний Львів, 2022).

За пів року бойових дій в Україні, станом на 22 серпня 2022 р. отримали поранення близько 7890 осіб мирного населення (BBC, 2022).

Кількість поранених серед військових значно більша. З огляду на те, що з початку бойових дій вже майже пройшло майже два роки, кількість постраждалих стала більшою і надалі збільшується. У результаті Україна потребує більше реабілітаційних центрів, щоб швидше відновити фізичний стан більшої кількості людей.

Задача полягає у проведенні аналізу можливостей застосування IoT-технологій у реабілітаційних центрах, здійсненні аналізу статистичних показників постраждалих в Україні та побудові архітектури IoT-екосистеми реабілітаційного центру.

Методи

За оснащення тренажерів необхідними датчиками, відбуватиметься збір даних життєво важливих показників стану пацієнта, щоб зробити реабілітацію якомога безпечнішою та автоматизованою.

Як бачимо, виникає необхідність оброблення зібраних даних за допомогою математичних методів.

Лінійна регресія – це основний і широко використовуваний тип прогнозного аналізу. Загальна ідея регресії полягає в тому, щоб дослідити дві речі: 1) – чи добре набір змінних пристрою передбачення справляється з прогнозуванням результатної (залежної) змінної; 2) які змінні є значущими прогнозами змінної результату і яким чином вони – позначаються величиною та ознакою бета-оцінки – впливають на змінну результату. Ці регресійні оцінки використовують для пояснення зв'язку між однією залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними.

У випадку, коли ми маємо залежність цільової змінної від декількох параметрів, можемо говорити про множинну лінійну регресію. Множинну лінійну регресію визначають рівнянням вигляду

$$Y = \alpha + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n, \quad (1)$$

де X_i – параметри вибірки загальних показників фізичного стану пацієнта, α, β_i – константи рівняння.



Для визначення параметрів даного складеного рівняння використовують метод найменших квадратів. Тобто ми працюватимемо з параметризованою моделлю та намагатимемося знайти саме ту модель, яка дозволила б отримувати найточніші прогнози. У цій IoT-екосистемі її слід використовувати для наглядного представлення результату впливу кількості тренувань на загальний показник фізичного стану.

Результати

Початкові дані для отримання результатів наведено в таблиці. Припустимо, що X – вибірка загальних показників фізичного стану пацієнта, а, відповідно, Y – вибірка за кількістю тренувань (таблиця).

Таблиця

Вибіркові дані пари величин X та Y				
X	1	5	10	15
Y	2	3	4	6

Спершу потрібно знайти середні значення вибірок:

$$X \text{ (середнє)} = (1 + 5 + 10 + 15) / 4 = 7,75;$$

$$Y \text{ (середнє)} = (2 + 3 + 4 + 6) / 4 = 3,75.$$

Знаходимо величини, які фігурують у формулі прямої регресії у вигляді коефіцієнтів рівняння alpha, beta:

$$\sum X_i Y_i = 1 \times 2 + 5 \times 3 + 4 \times 10 + 15 \times 6 = 147;$$

$$\sum X_i^2 = 1^2 + 5^2 + 10^2 + 15^2 = 561;$$

$$\sum Y_i^2 = 2^2 + 3^2 + 4^2 + 6^2 = 65.$$

Складові рівняння alpha, beta знаходимо за формулою

$$\alpha = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{1}{n} (\sum X_i) (\sum Y_i)}{\sum X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum X_i)^2} = \frac{147 - 31 \times 15/4}{351 - 31^2/4} = 0,2777;$$

$$\beta_1 = \bar{Y} - \alpha \bar{X} = 3,75 - 0,277 \times 7,75 = 1,59.$$

Рівняння регресії X на Y – це пряма такого вигляду (рис. 2):

$$Y = \alpha X + \beta = 1,59Y + 0,277.$$

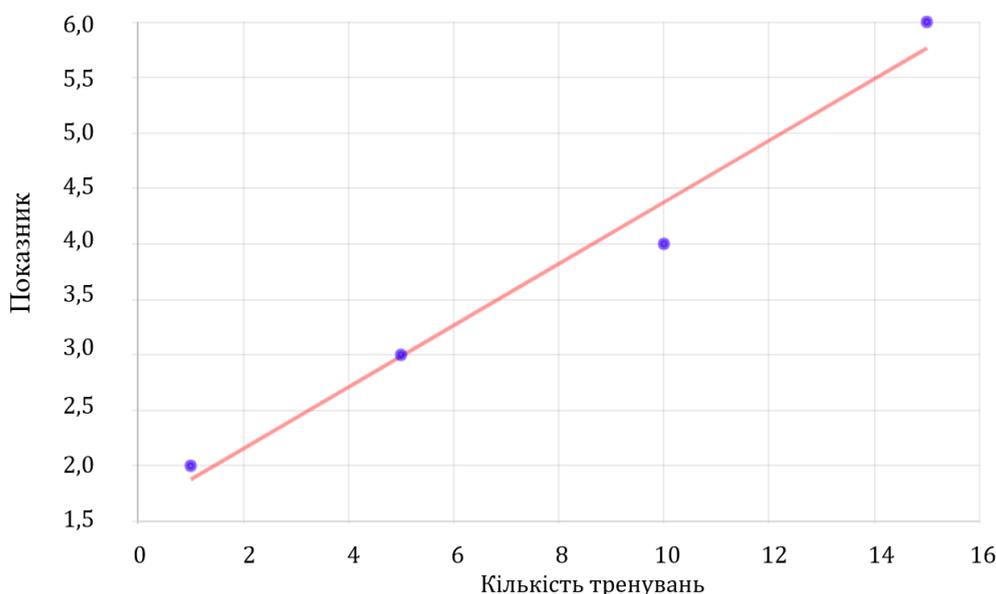


Рис. 2. Графік лінійної регресії

За знайденими коефіцієнтами складаємо рівняння регресії у на x :

$$Y = \alpha X + \beta = 1,59Y + 0,277.$$

Лінійну регресію належить використовувати для прогнозування необхідної кількості тренувань для пацієнта. Для цього потрібно провести хоча б два, але ще краще три тренування, відстежити показники основних критеріїв здоров'я, потім перевести ці показники в шкалу оцінки стану (від 1 до 10) і занести всі показники (за шкалою оцінки стану та кількості тренувань) у таблицю для розрахунків прогнозування.

Архітектура IoT-екосистеми реабілітаційного центру. До екосистеми інтернету речей належать усі засоби, сервіси і технології, які використовуються в інтернеті речей. Для реабілітаційного центру необхідно підібрати:

- **sensors** (розумні датчики/виконавчі механізми): вбудовані системи, операційні системи реального часу, джерела безперебійного живлення, мікроелектромеханічні системи (MEMS);
- **системи зв'язку з датчиками:** зона охоплення бездротових персональних мереж становить від 0 см до 100 м. Для обміну даними між датчиками застосовують низькошвидкісні малопотужні інформаційні канали, які часто побудовано не за протоколом IP;
 - **локальні обчислювальні мережі (LAN):** зазвичай це системи обміну даними на основі протоколу IP, наприклад, 802.11 Wi-Fi-мережі для швидкого радіозв'язку, часто це пірінгові або зіркоподібні мережі;
 - **агрегатори, маршрутизатори (routers), шлюзи (gateways), прикордонні пристрої (Edge Device):** постачальники вбудованих систем, самі бюджетні складові (процесори, динамічна оперативна пам'ять і система зберігання даних), виробники модулів, виробники пасивних компонентів, виробники тонких клієнтів, виробники стільникових і бездротових радіосистем, постачальники міжплатформного програмного забезпечення, розробники інфраструктури туманних обчислень, інструментарій для граничної аналітики, безпеки граничних пристроїв і системи керування сертифікатами;
 - **глобальна обчислювальна мережа:** оператори стільникового зв'язку, оператори супутникового зв'язку, оператори малопотужних глобальних мереж (Low- Power Wide-Area Network, LPWAN). Зазвичай застосовують транспортні протоколи інтернету для IoT і мережних пристроїв (MQTT, CoAP і навіть HTTP);
 - **хмара:** інфраструктура як постачальник послуг, платформа як постачальник послуг, розробники баз даних, постачальники послуг потокового і пакетного оброблення даних, інструменти для аналізу даних, програмне забезпечення як постачальник послуг, постачальники озер даних, оператори програмно-визначених мереж / програмно-визначених периметрів, сервіси машинного навчання;
 - **сервіси аналізу даних:** величезні масиви інформації передають у хмару. Робота з великими обсягами даних і отримання з них користі – це завдання, що вимагає комплексного оброблення подій, аналітики і прийомів машинного навчання;
 - **безпека (security):** у процесі зведення всіх елементів архітектури воедино постають питання кібербезпеки. Безпека стосується кожного компонента: від датчиків фізичних величин до ЦПУ і цифрового апаратного забезпечення, систем радіозв'язку і самих протоколів передавання даних. На кожному рівні необхідно забезпечити безпеку, достовірність і цілісність. У цьому ланцюзі не має бути слабких ланок, оскільки інтернет речей стане головною мішенню для атак хакерів у світі (Технології індустрії 4.0., 2021).

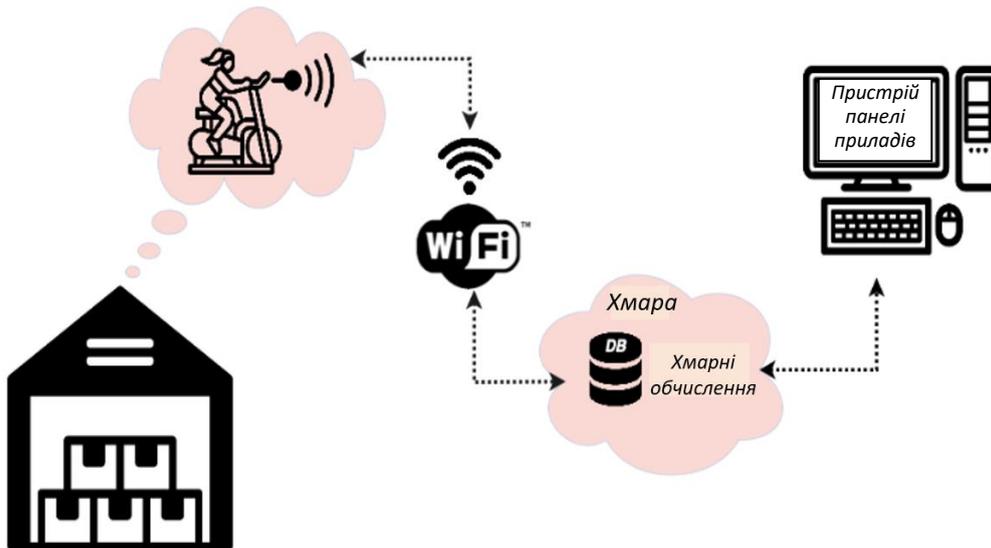


Рис. 3. Збільшення кількості IoT-пристроїв у медицині та прогнози (MOKOSmart, 2021)

Архітектура проекту складається з тренажерів із датчиками та модулем Wi-Fi для передавання даних у хмару з базою даних, після чого кінцевий користувач, тобто лікар, може отримувати доступ до цих даних, обробляти їх, відслідковувати показники та вносити план тренувань для кожного пацієнта (рис. 3).

Слід зазначити, що кожному пацієнту буде видана картка з RFI-міткою, за якою проходитиме ідентифікація пацієнта на кожному тренажері і налаштовуватиметься відповідна програма, встановлена лікарем. Тоді відповідно показники стану конкретної людини передаватимуться в базу даних для відстеження їх лікарем. Проведено дослідження необхідності створення IoT-системи для реабілітаційного центру з відновлення опорно-рухового апарату.

Даними, які використовують у IoT-екосистемі, є кількість тренувань, що впливають на загальний показник фізичного стану хворого. Для розрахунку використано метод найменших квадратів.

Висновки

На думку авторів, розроблена архітектура може ефективно застосовуватися для передавання показників стану конкретної людини, відстеженням яких займається лікар, у базу даних. Автономний збір даних дозволить прискорити процес аналізу даних, що вплине на процес реабілітації пацієнтів.



Внесок авторів: Альона Ворох – огляд літературних джерел та написання висновків; Ольга Кравченко – опрацювання методів і методології дослідження, опис результатів; Дмитро Сивоглаз – розроблення архітектури системи та проведення емпіричних досліджень.

Список використаних джерел

- Технології індустрії 4.0 (2021). *Основи інтернету речей*. <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=112&chapterid=229>
- Щоденний Львів (2022). *Трагічна статистика війни: 100 тис людей в Україні пережили смерть близьких родичів або друзів – дослідження* (відео). <https://dailylviv.com/news/sytuatsiyi-i-pryhody/trahichna-statystyka-viiny-maizhe-100-tys-lyudei-v-ukraini-perezhyly-smert-blyzkykh-rodychiv-abo-druziv/-doslidzhennya-104201>
- BBC (2022). *Пів року війни Росії проти України у 10 цифрах*. <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62610639>
- Health fakty (2022). *Вони вижили і мусять жити на повну! Лікарі без кордонів – про те, якою має бути реабілітація наших героїв*. <https://health.fakty.com.ua/ua/napulsi/vony-vyzhyly-i-musyaty-zhyty-na-povnu-likari-bez-kordoniv-pro-te-yakoyu-maye-buty-reabilitacziya-nashyh-geroyiv>
- Kyivstar business hub. (2021). *IoT у медицині: від теорії до реальних кейсів*. <https://hub.kyivstar.ua/news/iot-u-medycyni-vid-teoriyi-do-realnyh-kejsiv>
- MOKOSmart (2021). *Ознайомтеся з нашими пристроями IoT*. <https://www.mokosmart.com/uk>

References

- BBC (2022). *Half-a-Year of War of Russia against Ukraine in ten Numbers*. <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62610639> [in Ukrainian].
- Daily L'viv (2022). *Tragic War Statistics: 100 Thousand People in Ukraine Survived the Death of Close Relatives or Friends – Research (Video)*. <https://dailylviv.com/news/sytuatsiyi-i-pryhody/trahichna-statystyka-viiny-maizhe-100-tys-lyudei-v-ukraini-perezhyly-smert-blyzkykh-rodychiv-abo-druziv/-doslidzhennya-104201> [in Ukrainian].
- Health fakty (2022). *They Survived and Should Live Fully-blown Life! Doctors without Borders – on that What Kind of Rehabilitation Our Heroes Should Have*. <https://health.fakty.com.ua/ua/napulsi/vony-vyzhyly-i-musyaty-zhyty-na-povnu-likari-bez-kordoniv-pro-te-yakoyu-maye-buty-reabilitacziya-nashyh-geroyiv> [in Ukrainian].
- Kyivstar business hub. (2021). *IoT in Medicine: From Theory to Real Cases*. <https://hub.kyivstar.ua/news/iot-u-medycyni-vid-teoriyi-do-realnyh-kejsiv> [in Ukrainian].
- MOKOSmart (2021). *Get Acquainted with our IoT Devices*. <https://www.mokosmart.com/uk> [in Ukrainian].
- Technology of the Industry 4.0. (2021). *Internet of Things Foundations*. <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=112&chapterid=229> [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 22.02.23

Прорецензовано / Revised: 03.03.23

Схвалено до друку / Accepted: 10.03.23

Alyona VOROCH, Master's Student

ORCID ID: 0000-0001-9578-1847

e-mail: alyona.voroch@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olha KRAVCHENKO, PhD (Engin.), Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0002-9669-2579

e-mail: olha.kravchenko@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Dmytro SYVOHLAZ, PhD Student

ORCID ID: 0000-0002-6806-839X

e-mail: dmytro.syvohlaz@chdtu.edu.ua

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

THE ARCHITECTURE OF THE IoT ECOSYSTEM OF THE REHABILITATION CENTER FOR THE RESTORATION OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM

Background. A study of the use of IoT technologies in modern medicine, primarily in Ukraine, was conducted. Based on the analogs of the existing systems considered, taking into account the entire complex situation, the number of people in need of rehabilitation is only increasing, and there are simply not enough centers for such assistance. Rehabilitation doctors spend a lot of their time, while not everyone can get the necessary help due to the lack of specialists. As a result, there is a need to create your own IoT system to automate and optimize treatment processes.

Methods. Methods of analysis, synthesis and complex systems design are employed in the research.

Results. The architecture of the IoT ecosystem of the rehabilitation center for recovery after injuries, traumas, assaults and operations was developed. The project architecture consists of simulators with sensors and a Wi-Fi module for data transmission to the cloud with a database and cloud computing. The end user, i. e. the doctor, can access this data through the app, process it, monitor performance and enter a training plan for each patient. It should be noted that each patient will be issued a card with an RFI tag or an IoT beacon. The card identifies the patient on each simulator. The simulator is adjusted according to the indicators. The indicators of a specific person's condition are transferred to a database for tracking by a doctor.

Conclusions. Implementation of the proposed solutions is expected to allow one to substantially increase the quality of medical treatment provision to the population in Ukraine.

Keywords: IoT architecture, rehabilitation center ecosystem, fitness bench, transducer, rehabilitation.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.