

К.С. Малахов, Т.В. Семикопна

ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ У ГАЛУЗІ ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ

Діджиталізація наукових досліджень значно просунулася вперед із використанням інформаційно-комунікаційних технологій, особливо у сфері фізичної та реабілітаційної медицини і її телереабілітаційного напрямку. Гібридна хмарна платформа телереабілітаційної медицини реалізується у вигляді компонентної сукупності сервісів (медичної інформаційної системи реабілітаційного напрямку, діалогової інформаційно-довідкової системи MedRehabBot, прогнозно-аналітичної системи оцінювання ефективності процесу реабілітації та сервісів оптимізації моделей реабілітаційного процесу), що функціонують відповідно до онтолого-керованої сервіс-орієнтованої архітектури. Однією з важливих переваг такого виду архітектури є можливість підтримки систем дослідного проектування, де процес проектування цільової архітектури супроводжується процесом наукових досліджень. У роботі розглядається загальна функціональна архітектура платформи (та технічні вимоги до неї) у вигляді трьох взаємодіючих підсистем: медико-реабілітаційної, інформаційно-аналітичної та телереабілітаційної. Розроблено архітектурно-технологічну організацію платформи з використанням моделі, яка реалізує удосконалену концепцію автоматизованого робочого місця наукових досліджень. Головним практичним досягненням є реалізація та впровадження даної архітектурно-технологічної організації платформи, що відкриває нові можливості для телереабілітації в медицині.

Ключові слова: гібридна хмарна платформа, телереабілітаційна медицина, телереабілітація, автоматизоване робоче місце.

K.S. Malakhov, T.V. Semykopna

SCIENTIFIC RESEARCH DIGITALIZATION: R&D WORKSTATION ENVIRONMENT FOR THE TELEREHABILITATION MEDICINE RESEARCH DOMAIN

The digitalization of scientific research has advanced significantly with the use of information and communication technologies, especially in the physical and rehabilitation medicine and its telerehabilitation area. The hybrid cloud platform for telerehabilitation medicine is implemented as a component set of services (hospital information system for rehabilitation, dialog information and reference system MedRehabBot, prognostic and analytical system for assessing the effectiveness of the rehabilitation process and services for optimizing rehabilitation process models) that function using an ontology-driven service-oriented architecture. One of the important advantages of this type of architecture is the ability to support research design systems, where the process of designing the target architecture is accompanied by a research process. The paper considers the general functional architecture of the platform (and technical requirements for it) in the form of three interacting subsystems: medical rehabilitation, information and analytical, and telerehabilitation. The architectural and technological organization of the platform was developed using a model that implements the improved concept of the Research and Development Workstation Environment. The main practical achievement is the implementation and introduction of this architectural and technological organization of the platform, which opens up new opportunities for telerehabilitation in medicine.

Keywords: hybrid cloud platform, telerehabilitation medicine, telerehabilitation, Research and Development Workstation Environment.

Вступ

Розвиток сучасних технологій інтегровано впливає на сферу інтелектуальної діяльності, особливо на царину наукових досліджень та розробок. У цьому контексті

з'явився новий клас інформаційних систем – *Research and Development Workstation Environment* (RDWE), що реалізують удосконалену концепцію автоматизованого

робочого місця (АРМ) для поточних досліджень, а також пов'язаних з ними інтелектуальних інформаційних технологій. Ці системи і концепція охоплюють основні етапи життєвого циклу наукових досліджень та розробок: від семантичного аналізу інформаційного матеріалу різних предметних галузей до розроблення конструктивних особливостей інноваційних пропозицій. Відмітною особливістю RDWE-систем є їхня здатність адаптуватися (проблемна орієнтованість) до різних видів наукової діяльності завдяки інтеграції різноманітних функціональних сервісів та можливості доповнення новими у межах гібридного хмарного середовища (платформи).

Детальний аналіз формальної моделі, основних принципів та вимог до розробки інформаційних систем класу RDWE надано у роботах [1, 2]. Серед найбільш вражаючих прикладів сучасних RDWE-систем можна виділити автоматизовану інтерактивну систему *OntoChatGPT* [3], розроблену з використанням передових технологій обчислювальної лінгвістики, таких як GPT-4 від OpenAI, сервіси підтримки онтологічного інжинірингу і розуміння природної мови KEn [4] та UkrVectōrēs [5]. Система *OntoChatGPT* не лише розширює можливості для інтуїтивної взаємодії між людиною та машиною, а й відіграє роль стратегічного інструмента у контексті RDWE, сприяючи розвитку інноваційних інформаційних систем для наукових досліджень. Детальний огляд RDWE-системи *OntoChatGPT* та дані про її еволюцію можна знайти у [3, 6].

На початку 2022 року дослідницька група Інституту кібернетики (за участі авторів статті) на чолі з науковим керівником Петром Стецюком стала одним із переможців конкурсу “Наука заради безпеки та сталого розвитку України”, проведеного Національним фондом досліджень України (НФДУ). Новий проєкт отримав назву “Розробка хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих на основі математичного моделювання” [7]. Проєкт присвячено розробці гібридної хмарної платформи та створенню на її основі інформаційної технології телереабілітації онкологічних хворих, що обслуговує широке коло спеціалістів із фізи-

чної та реабілітаційної медицини (ФРМ) у секторі “Телереабілітація онкологічних хворих”. Мета проєкту полягає у створенні перспективної хмарної платформи телереабілітації онкологічних хворих на основі застосування математичних методів системного аналізу, моделювання й оптимізації. Вибір саме цього напрямку зумовлений прискоренням темпів зростання в Україні кількості онкологічних хворих [8]. Головна ідея підходу до створення засобів телереабілітації – поєднання методів і засобів штучного інтелекту із математичними методами розв’язання складних задач у вибраній галузі застосування. Серед основних завдань проєкту можна виокремити такі:

- Розроблення гібридної хмарної платформи телереабілітаційної медицини (ХПТ) (з усіма її складовими, зокрема: сервісами, платформами, інфраструктурою) та її архітектурно-технологічної організації (з урахуванням усіх особливостей предметної галузі і сучасного підходу до діджиталізації наукових досліджень).

- Розроблення інформаційно-аналітичної підсистеми (ІАПс) ХПТ для обробки даних, що формуються у просторово-розподілених мережевих джерелах у безперервній взаємодії з усіма профільними фахівцями, учасниками реабілітаційного процесу, за допомогою інтерактивних інтелектуальних методів і засобів, реалізованих у хмарній платформі. ІАПс представлено, зокрема, АРМ у галузі обчислювальної лінгвістики зі спеціалізованим набором сервісів та проблемно-орієнтованим набором даних.

В роботі розглядається загальна функціональна архітектура гібридної ХПТ (та технічні вимоги до неї) у вигляді трьох взаємодіючих підсистем: медико-реабілітаційної (МРПс), інформаційно-аналітичної (ІАПс) та телереабілітаційної (ТРПс). Також розроблено архітектурно-технологічну організацію гібридної ХПТ з використанням моделі RDWE систем.

Гібридна хмарна платформа телереабілітаційної медицини

Розроблено основні технічні вимоги до створення гібридної ХПТ та на її основі інформаційної технології телереабілітації

онкологічних хворих. Перелік технічних вимог доступний за посиланням [9].

Відмітною рисою пропонованої інформаційної технології і відповідної архітектури гібридної ХПТ є поєднання в них методів штучного інтелекту з точними математичними методами оптимізації методик і всього процесу телереабілітації, орієнтованих на достовірне оцінювання стану пацієнта, ефективну стратегію втручання, побудову оптимальної траєкторії процесу реабілітації, прогнозування тощо. Телереабілітаційна платформа реалізується у вигляді компонентної сукупності сервісів, що функціонують за допомогою онтолого-керованої [10–13] сервіс-орієнтованої архітектури. Загальна функціональна архітектура складається з двох базових підсистем: МРПС та ІАПс, інакше когнітивної підсистеми. До складу першої як основні функціональні модулі входять: робоче місце лікаря фізичної та реабілітаційної медицини, електронний кабінет пацієнта, реєстратура та інші модулі, необхідні для забезпечення реабілітаційного процесу. Особливе місце займає підсистема телемедичного супроводження реабілітаційних заходів. Основними завданнями дистанційно-контрольованої реабілітації є встановлення і відпрацювання оптимальної траєкторії реабілітаційного процесу, прогнозування та оцінювання ефективності за ступенем відновлюваних функцій, підтримка взаємодії між членами міждисциплінарної реабілітаційної команди тощо.

Когнітивна підсистема забезпечує інформаційно-аналітичну обробку даних, що формуються у просторово-розподілених мережевих джерелах у безперервній взаємодії з усіма профільними фахівцями, учасниками реабілітаційного процесу, за допомогою інтерактивних інтелектуальних методів і засобів, реалізованих у гібридній ХПТ. Вона представлена складовою інформаційно-аналітичної підсистеми хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих, отримала назву MedRehabBot [6, 14, 15] і побудована на базі спеціалізованого набору документів з тематики фізичної та реабілітаційної медицини. До її складу входить набір веб-сервісів контекстно-семантичного аналізу текстових документів, пошуку і класифікації та прогнозування

знань, підтримки генерування OWL онтологій, семантичних дерев, а також графових баз знань у предметній галузі. Система MedRehabBot використовує інформаційну модель, що ґрунтується на композиційному сервісі, представленому трикомпонентним кортежем: веб-сервіси та прикладні програми (ПП); функції обслуговування інформаційно-технологічних процесів; елементи підтримки формування інтегрованого середовища знань. ІАПс із функціями інтелектуального інформаційно-аналітичного супроводження реабілітаційного процесу включає увесь набір інструментів для оцінювання ефективності і вдосконалення реабілітаційних стратегій. Вона дає змогу медичним фахівцям, дослідникам та адміністраторам систематично вдосконалювати процес телереабілітації, гарантувати якість надання послуг та забезпечувати найкращі результати для пацієнтів, які перебувають у реабілітації.

Робота інформаційно-аналітичної підсистеми ґрунтується на побудові об'єднаної загальної моделі, її точному математичному обґрунтуванні, вирішенні комплексу оптимізаційних задач на всьому просторі поставленої проблеми.

З позицій проектного менеджменту, розподілу завдань і функціональних особливостей використання архітектури, гібридну ХПТ можна представити у вигляді трьох взаємодіючих підсистем: МРПС; ІАПс та ТРПС (Рис. 1).

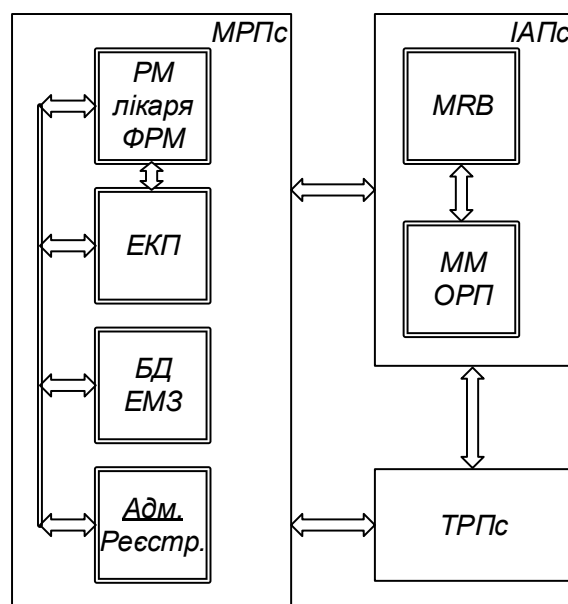


Рис. 1. Загальна функціональна структура гібридної ХПТ

У поданій схемі: МРПс – медико-реабілітаційна підсистема; РМ – робоче місце; ФРМ – фізична та реабілітаційна медицина; ЕКП – електронний кабінет пацієнта; БД ЕМЗ – база даних медичних записів; Адм. – адміністратор; Реєстр. – реєстратура; ІАПс – інформаційно-аналітична підсистема; MRB – Інтерактивна інформаційно-довідкова система MedRehabBot; ММ ОРП – математичні моделі організації реабілітаційного процесу; ТРПс – телереабілітаційна підсистема.

Наведена конфігурація гібридної ХПТ забезпечує виконання таких функцій: супроводження реабілітаційного процесу (оцінювання стану пацієнта і формування реабілітаційного діагнозу, прогнозування показників реабілітаційного процесу), побудова оптимального реабілітаційного маршруту пацієнта; розробка методичних засад супроводження процесу реабілітації; підтримка інтерактивних функцій (лікар – пацієнт – система) у діалоговому режимі; накопичення й інтелектуальне оброблення інформації з різних джерел; розробка комплексу методів моделювання та оптимізації у проектуванні та застосуванні гібридної ХПТ; аналітичне оброблення анкетних даних, статистичне оброблення інформації; формування матриці «домени – шкали»; формування пацієнт-центричних наборів процедур та їх супроводження в реальному часі; розробка діагностичних гаджетів визначення фізіологічного та психологічного стану пацієнтів, відео- та аудіо сеансів телереабілітації.

Трирівнева модель гібридної ХПТ

Гібридна ХПТ побудована з використанням адаптованої трирівневої моделі надання сервісів у хмарі та хмарних обчислень [16].

Адаптована трирівнева модель надання сервісів у хмарі та хмарних обчислень складається з:

– Рівня *Інфраструктура* (за основу взято модель Інфраструктура як Сервіс, англ. Infrastructure as a Service, IaaS) – це рівень обслуговування, в межах якого надається можливість керувати засобами об-

робки та збереження, комунікаційними мережами та іншими фундаментальними обчислювальними ресурсами, на базі яких можливе розгортання та виконання довільного програмного забезпечення, до складу якого можуть входити операційні системи (ОС), прикладне програмне забезпечення (ПЗ) та системні утиліти. *Інфраструктура* складається з трьох основних компонентів: апаратні засоби (сервери, системи зберігання даних, клієнтські системи, мережеве обладнання); операційні системи та системне ПЗ (засоби віртуалізації, автоматизації, основні засоби управління ресурсами). Сполучне ПЗ (наприклад, для управління віртуальними ОС).

– Рівня *Платформа* (основою є модель Платформа як Сервіс, англ. Platform as a Service, PaaS) – на цьому рівні надається доступ до використання інформаційно-технологічних платформ – операційних систем, систем управління базами даних, сполучного програмного забезпечення, засобів розробки і тестування розміщених у хмарі. Вся інформаційно-технологічна інфраструктура, включаючи обчислювальні мережі, системи зберігання, цілком керується провайдером, ним же визначається набір доступних для розробників видів платформ та набір керованих параметрів платформ, а розробникам надається можливість використовувати платформи, створювати їхні віртуальні екземпляри, встановлювати, розробляти, тестувати, експлуатувати на них прикладне ПЗ, при цьому динамічно змінюючи кількість споживаних обчислювальних ресурсів.

– Рівня *Servіси* (основу становить модель Програма як Сервіс, англ. Software as a Service, SaaS) – на цьому рівні кінцевому споживачеві (клієнту) надається доступ за допомогою тонкого клієнта (через веб-браузер) або прикладного програмного інтерфейсу АРІ до розроблених сервісів та ПЗ.

Загальна діаграма архітектурно-структурної організації гібридної ХПТ та її компонентів доступна за посиланням [17] (діаграму наведено окремо через великий розмір, наявність дрібних позначок та інших деталей рисунку). Вона містить такі компоненти (апаратне та програмне забез-

печення, зовнішні сервіси, інтерфейсну та мережеву складові):

– *Сервер HP ProLiant DL380p Generation8 (Gen8)*. Цей високопродуктивний сервер є ключовим компонентом рівня Інфраструктура гібридної ХПТ. Розташований у спеціалізованому приміщенні Інституту кібернетики, він гарантує надійність та високу доступність служб і ресурсів платформи. Технічні характеристики сервера включають: CPU – два процесори Intel® Xeon® Processor E5-2695 v2, що забезпечують високу швидкодію та багато-задачність; RAM – 400 Гб Advanced ECC пам'яті, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних; Сховище даних – два SSD 400 Гб у RAID 1 для додаткової надійності та вісім SSD 400 Гб у RAID 10 для оптимізації швидкості і довговічності дискового простору; Мережеве підключення – 100 Мбіт/с, що забезпечує швидкий доступ до ресурсів і даних; Блок живлення – два блоки живлення по 460 Ват, що гарантують безперебійну роботу сервера; Джерело безперервного живлення – Eaton 5Cs 1500VA, що захищає електромережу від перебоїв та забезпечує роботу обладнання у випадку відключення електроенергії.

– *Базова ОС. Ubuntu 22.04.3 LTS Jammy Jellyfish* є базовою ОС для сервера. Ця версія Ubuntu відома своєю стабільністю, надійністю та широким спектром підтримуваних застосунків для робочих станцій та серверів. Вона входить до складу рівня Інфраструктура гібридної ХПТ, забезпечуючи надійне функціонування та взаємодію всіх компонентів платформи.

– *Модуль Віртуалізації на базі Kernel-based Virtual Machine (KVM)*. ПЗ KVM – це високопродуктивне програмне рішення для віртуалізації, яке інтегроване безпосередньо в ядро Linux. Розроблене специфічно для архітектури x86, KVM використовує можливості сучасних процесорів Intel та AMD, що підтримують апаратну віртуалізацію, відповідно через технології Intel VT (Virtualization Technology) та AMD SVM (Secure Virtual Machine). Однією з ключових особливостей KVM є те, що цей модуль дозволяє запускати численні

віртуальні машини з різними операційними системами на одному фізичному хості, водночас кожна віртуальна машина використовує власне ядро Linux, а ресурси розподіляються ефективно та гнучко завдяки інтеграції з ядром операційної системи. Рівень Інфраструктура гібридної ХПТ.

– *Модуль керування віртуальними оточеннями LibVirt*. Цей модуль разом із комплектом відповідних інструментів надає можливість уніфікованого керування віртуальними оточеннями, незалежно від їхнього розташування — локально чи віддалено. Ключовими особливостями LibVirt є універсальність та гнучкість: ця бібліотека підтримує широкий спектр систем віртуалізації, зокрема Xen, QEMU, KVM, LXC, Virtuozzo, VirtualBox, Microsoft Hyper-V та інші. Це робить LibVirt ідеальним вибором для адміністраторів та розробників, які шукають гнучке та ефективне рішення для управління віртуалізацією в різноманітних оточеннях. Рівень Інфраструктура гібридної ХПТ.

– *Віртуальні ОС*. На рівні Платформа ХП використовуються різноманітні спеціалізовані ОС. Ці системи відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної та ефективної роботи всіх компонентів платформи, включаючи сервіси, модулі та підсистеми. До списку віртуальних ОС, що застосовуються на цьому рівні, входять: Ubuntu 22.04.3 LTS Jammy Jellyfish, яка відома своєю надійністю та підтримкою спільноти розробників; Alpine Linux 3.18 – легка та безпечна операційна система, ідеально підходить для контейнерів; Microsoft Windows Server 2022 – надійна платформа для розгортання корпоративних застосунків; та Microsoft Windows 10 Pro, яка забезпечує широкий набір інструментів і функцій для професійних користувачів.

– *Проксі-сервер / VPN-сервер*. Зовнішній віртуальний виділений сервер (англ. virtual private server, VPS), який забезпечує функціонування віртуальної приватної мережі (англ. virtual private network, VPN) за сучасним протоколом безпеки WireGuard. WireGuard відрізняється високим рівнем захисту даних та оптимізованою продуктивністю. Разом з тим, на цьо-

му сервері діє проксі-сервер Nginx Proху Manager, що відповідає за керування доменами, SSL-сертифікатами, перенаправленнями і потоками. Цей набір інструментів дозволяє забезпечити надійний, безпечний та гнучкий доступ до ресурсів мережі, а також оптимізувати й автоматизувати процеси управління веб-трафіком. Рівень Сервіси гібридної ХІТТ.

– *Регістратор доменних імен.* Сервіс NIC.UA відповідає за реєстрацію та управління доменним іменем Хмарної платформи – *e-rehab.pp.ua*. Додатково, NIC.UA забезпечує стабільність та безпеку субдоменів, що використовуються для різноманітних сервісів, модулів і компонентів платформи. Вибір такого реєстратора гарантує не тільки надійність, а й простоту управління доменними ресурсами, а також можливість швидкого розширення й адаптації до нових вимог і потреб користувачів платформи. Слід зауважити, що доменні імена в зоні *pp.ua* надаються в Україні безкоштовно. Рівень Сервіси гібридної ХІТТ.

– *Мережева складова гібридної ХІТТ.* В основі мережевої структури лежить внутрішня мережа Інституту кібернетики, яка характеризується високим рівнем ізоляції. Ця закрита мережа інтегрована із зовнішнім проксі-сервером/VPN-сервером через надійний VPN-тунель, базований на технології WireGuard. Така конфігурація дозволяє ефективно і надійно здійснювати обмін даними між інтернальною мережею Інституту кібернетики та зовнішнім інтернет-простором, водночас гарантуючи конфіденційність, цілісність і доступність інформації.

Висновки

У роботі розглянуто сучасні технологічні підходи до телереабілітаційної медицини та її інформаційно-комунікаційного забезпечення. Застосування гібридної хмарної платформи з онтолого-керованою сервіс-орієнтованою архітектурою дозволяє створити ефективне середовище для взаємодії між медичним персоналом та пацієнтами у віддаленому режимі. Розроблено архітектурно-технологічну концепцію платформи, що

ґрунтується на принципах удосконаленої моделі автоматизованого робочого місця наукових досліджень. Ця концепція виявилася успішною у практичному впровадженні, що свідчить про її значний потенціал у сфері телереабілітаційної медицини.

Перехід від традиційних методів до діджиталізації наукових досліджень відкриває нові можливості для покращення якості медичної допомоги та забезпечення доступу до неї в будь-який час та в будь-якому місці. Подальші дослідження у цьому напрямку сприятимуть розвитку телереабілітації та забезпеченню її широкого застосування у медичній практиці.

Подяки

Дослідження виконано за підтримки гранту НФДУ (Open Funder Registry: 10.13039/100018227) за проектом № 2021.01/0136 (2022–2024, проєкт у процесі реалізації) “Розробка хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих на основі математичного моделювання” [7] на базі Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України.

Література

1. O.V. Palagin, V.Yu. Velychko, K.S. Malakhov, O.S. Shchurov, Research and development workstation environment: The new class of current research information systems. *УкрПрог-2018*, С. 255–269.
2. O.V. Palagin, K.S. Malakhov, V.Yu. Velychko, T.V. Semykopna, O.S. Shchurov, Hospital Information Smart-System for Hybrid E-Rehabilitation. *УкрПрог-2022* С. 140–157.
3. O.V. Palagin, V.V. Kaverinskiy, A.A. Litvin, K.S. Malakhov. OntoChatGPT Information System: Ontology-Driven Structured Prompts for ChatGPT Meta-Learning. *IJC*, 2023. 22(2). С. 170–183.
4. GitHub. (2023). malakhovks/ken. [online]. Available at: <https://github.com/malakhovks/ken> [Accessed 20 Mar. 2024].
5. GitHub. (2023). malakhovks/docsim. [online]. Available at: <https://github.com/malakhovks/docsim> [Accessed 20 Mar. 2024].
6. O.V. Palagin, V.V. Kaverinskiy, K.S. Malakhov. Fundamentals of the Integrat-

References

- ed Use of Neural Network and Ontolinguistic Paradigms: A Comprehensive Approach. *Cybern Syst Anal*, 2024. 60(1). С. 111–123.
7. K.S. Malakhov. Letter to the Editor – Update from Ukraine: Development of the Cloud-based Platform for Patient-centered Telerehabilitation of Oncology Patients with Mathematical-related Modeling. *Int J Telerehab*, 2023. 15(1). С. 1–3.
 8. Рак в Україні, 2021 – 2022 Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби. Бюлетень національного канцер-реєстру України № 24.
 9. Технічні вимоги до гібридної хмарної платформи телереабілітаційної медицини. [cited 21 Mar 2024]. <https://cdn.e-rehab.pp.ua/u/Technical-requirements-hybrid-cloud-platform.pdf>.
 10. O.V. Palagin. An Ontological Conception of Informatization of Scientific Investigations. *Cybern Syst Anal*. 2016. 52, С. 1–7.
 11. O.V. Palagin. Architecture of ontology-controlled computer systems. *Cybern Syst Anal*. 2016. 42, С. 254–264.
 12. S. Kryvyi, O. Grinenko, V. Opanasenko, Logical Approach to the Research of Properties of Software Engineering Ecosystem. IEEE 11th International Conference DESSERT 2020, 2020, С. 456–464.
 13. A.A. Litvin, V.Yu. Velychko, V.V. Kaverynskiy, Method of information obtaining from ontology on the basis of a natural language phrase analysis. *УкрПрог-2020*, С. 323–330.
 14. A.A. Litvin, V.Yu. Velychko, V.V. Kaverynskiy, A New Approach to Automatic Ontology Generation from the Natural Language Texts with Complex Inflection Structures in the Dialogue Systems Development. *УкрПрог-2022*, С. 172–185.
 15. GitHub. (2023). *knowledge-ukraine/MedRehabBot*. [online] Available at: <https://github.com/knowledge-ukraine/MedRehabBot> [Accessed 21 Mar. 2024].
 16. S. Bhowmik, Cloud computing. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2017.
 17. Діаграма архітектурно-структурної організації гібридної хмарної платформи телереабілітаційної медицини. [cited 21 Mar 2024]. <https://cdn.e-rehab.pp.ua/u/rdwe-architecture-ukrprog-2024.pdf>
 1. Palagin, O.V., Velychko, V.Yu., Malakhov, K.S., Shchurov, O.S., 2018. Research and development workstation environment: The new class of current research information systems, in: CEUR Workshop Proceedings. Presented at the 11th International Conference UkrPROG 2018, CEUR-WS, Kyiv, Ukraine, pp. 255–269.
 2. Palagin, O.V., Malakhov, K.S., Velychko, V.Yu., Semykopna, T.V., Shchurov, O.S., 2023. Hospital Information Smart-System for Hybrid E-Rehabilitation, in: CEUR Workshop Proceedings. Presented at the 13th International Scientific and Practical Conference UkrPROG 2022, CEUR-WS, Kyiv, Ukraine, pp. 140–157.
 3. Palagin, O.V., Kaverinskiy, V.V., Litvin, A.A., Malakhov, K.S., 2023. OntoChatGPT Information System: Ontology-Driven Structured Prompts for ChatGPT Meta-Learning. *IJC* 22, 170–183. doi: [10.47839/ijc.22.2.3086](https://doi.org/10.47839/ijc.22.2.3086).
 4. GitHub. (2023). *malakhovks/ken*. [online]. Available at: <https://github.com/malakhovks/ken> [Accessed 20 Mar. 2024].
 5. GitHub. (2023). *malakhovks/docsim*. [online]. Available at: <https://github.com/malakhovks/docsim> [Accessed 20 Mar. 2024].
 6. Palagin, O. V., Kaverinskiy, V.V., Malakhov, K.S., Petrenko, M.G., 2024. Fundamentals of the Integrated Use of Neural Network and Ontolinguistic Paradigms: A Comprehensive Approach. *Cybern Syst Anal* 60, 111–123. doi: [10.1007/s10559-024-00652-z](https://doi.org/10.1007/s10559-024-00652-z).
 7. Malakhov, K.S., 2023. Letter to the Editor – Update from Ukraine: Development of the Cloud-based Platform for Patient-centered Telerehabilitation of Oncology Patients with Mathematical-related Modeling. *Int J Telerehab* 15, 1–3. doi: [10.5195/ijt.2023.6562](https://doi.org/10.5195/ijt.2023.6562).
 8. Cancer in Ukraine, 2021-2022 Incidence, mortality, indicators of the oncology service. Bulletin of the National Cancer Registry of Ukraine No. 24. [cited 20 Mar 2024]. http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_24/PDF/BULL_24.pdf.
 9. Technical requirements for hybrid cloud platform for telerehabilitation medicine. [cited 21 Mar 2024]. <https://cdn.e-rehab.pp.ua/u/Technical-requirements-hybrid-cloud-platform.pdf>.
 10. Palagin, O.V., 2016. An Ontological Conception of Informatization of Scientific

- Investigations. *Cybern Syst Anal* 52, 1–7. doi: [10.1007/s10559-016-9793-6](https://doi.org/10.1007/s10559-016-9793-6).
11. Palagin, O.V., 2006. Architecture of ontology-controlled computer systems. *Cybern Syst Anal* 42, 254–264. doi: [10.1007/s10559-006-0061-z](https://doi.org/10.1007/s10559-006-0061-z).
 12. Kryvyi, S., Grinenko, O., Opanasenko, V., 2020. Logical Approach to the Research of Properties of Software Engineering Ecosystem. Presented at the Proceedings - 2020 IEEE 11th International Conference DESSERT 2020, pp. 456–464. doi: [10.1109/DESSERT50317.2020.9125033](https://doi.org/10.1109/DESSERT50317.2020.9125033).
 13. Litvin, A.A., Velychko, V.Yu., Kavarynskyi, V.V., 2020. Method of information obtaining from ontology on the basis of a natural language phrase analysis, in: CEUR Workshop Proceedings. Presented at the 12th International Scientific and Practical Conference UkrPROG 2020, CEUR-WS, Kyiv, Ukraine, pp. 323–330.
 14. Litvin, A.A., Velychko, V.Yu., Kavarynskyi, V.V., 2023. A New Approach to Automatic Ontology Generation from the Natural Language Texts with Complex Inflection Structures in the Dialogue Systems Development, in: CEUR Workshop Proceedings. Presented at the 13th International Scientific and Practical Conference UkrPROG 2022, CEUR-WS, Kyiv, Ukraine, pp. 172–185.
 15. GitHub. (2023). *knowledge-ukraine/MedRehabBot*. [online] Available at: <https://github.com/knowledge-ukraine/MedRehabBot> [Accessed 21 Mar. 2024].
 16. Bhowmik, S., 2017. Cloud computing. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
 17. Diagram of the architectural and structural organization of the hybrid cloud platform for telerehabilitation medicine. [cited 21 Mar 2024]. <https://cdn.e-rehab.pp.ua/u/rdwe-architecture-ukrprog-2024.pdf>.
- Одержано: 12.02.2024
Внутрішня рецензія отримана: 19.02.2024
Зовнішня рецензія отримана: 08.03.2024
- Про авторів:**
- ¹Малахов Кирило Сергійович,
науковий співробітник.
<https://orcid.org/0000-0003-3223-9844>.
- ²Семиконна Тетяна Вікторівна,
кандидат медичних наук,
старший науковий співробітник.
<https://orcid.org/0000-0002-4116-0567>.
- Місце роботи авторів:**
- Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова
НАН України,
тел. +38-044-526-33-48
Email: ¹malakhovks@nas.gov.ua,
²semtv@ukr.net.
<https://linktr.ee/malakhovks>