

Павленко В.Д.

Національний університет «Одеська політехніка»

Глуца А.С.

Національний університет «Одеська політехніка»

Гідулян В.І.

Національний університет «Одеська політехніка»

ПЛАТФОРМА ДЛЯ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ НА ОСНОВІ ДАНИХ АЙТРЕКІНГУ

Метою роботи є розробка архітектури та web-версії програмного комплексу, що розширює діагностичні можливості інструментальних засобів модельно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання нейрофізіологічного стану, забезпечує кросплатформеність застосунків, підвищує продуктивність та ефективність наукових досліджень з використанням методів непараметричної ідентифікації досліджуваної око-рухової системи за даними айтрекінгу за рахунок застосування запропонованої нової концепції організації хмарних обчислень. Отримала подальший розвиток технологія хмарних обчислень на основі запропонованої концепції організації хмарних сервісів працюючих одночасно за принципами: платформа як сервіс PaaS (Platform as a Service) та програмне забезпечення як сервіс SaaS (Software as a Service). Розроблено архітектуру та програмний комплекс у рамках нової концепції організації хмарних обчислень, що розширює діагностичні можливості інструментальних засобів модельно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання нейрофізіологічного стану та підвищує продуктивність та ефективність наукових досліджень з використанням методів непараметричної ідентифікації досліджуваної око-рухової системи за даними айтрекінгу. Програмний комплекс складається з багатьох незалежних модулів та вузлів, які працюють у взаємодії, що дозволяє швидко та ефективно розширювати його функціонал. Важливою особливістю даного програмного комплексу є неможливість до апаратного забезпечення на клієнтській стороні завдяки хмарним обчисленням, поєднання одночасно як PaaS так SaaS принципів роботи та модульну структуру взаємодії функціональних вузлів, що дозволяє легко масштабувати комплекс. Комплекс має переваги перед іншими подібними сервісами: можливість ефективно працювати у дослідницьких і навчальних напрямках як з програмним кодом на декількох мовах програмування Python, Java, C# для удосконалення алгоритмів тощо, так і з реалізованими раніше методами ідентифікації у вигляді GUI інтерфейсів; соціальні можливості і високий рівень абстракції для оптимізації дослідницького процесу.

Ключові слова: web-застосунок, хмарні сервіси, хмарні обчислення, PaaS, SaaS, технологія айтрекінгу, нейрофізіологічні дослідження.

Постановка проблеми. Аналіз взаємозв'язку око-рухових функцій і центральної нервової системи, а також розпізнавання психоемоційного стану людини сприяє вивченню мозкових механізмів і їх порушень, динаміки психофізіологічних станів людини, принципів сприйняття, процесів мислення, уяви, а також диференціація особистих намірів і установок. Технологія стеження за очима (eye-tracking) нині ефективно використовується в діагностичних дослідженнях нейрофізіологічних станів [1–4], у дослідженні когнітивних процесів і пам'яті [5], для моніторингу поведінки та навчання студентів [6]. Такі

дослідження дозволяють краще зрозуміти поведінку людини, як свідому, так і підсвідому. Знання про рухи очей мають важливе теоретичне і прикладне значення, розширюють можливості для вивчення специфіки багатьох професій для підвищення ефективності трудової діяльності суб'єкта. Широке застосування апаратного забезпечення для інноваційної інформаційної технології айтрекінгу в експериментальних дослідженнях нейронних процесів вимагає розробки спеціалізованого програмного забезпечення для управління великими масивами даних [7–9]. Є попит на надійні і точні показники психічного здоров'я окремих

людей і груп населення, а також обґрунтовані показники для моніторингу достовірності та валідності даних. Застосування розпізнавання емоцій дозволяє зробити висновок про стан нервової системи та оцінити її стан у повсякденних ситуаціях підвищеного ризику. Аналізуючи зміни траєкторій руху очей, можна зробити конкретні висновки про психофізіологічний стан досліджуваних.

Для впровадження даної технології в наукові дослідження в різних інституціях та навчальних закладах доцільно реалізувати її із застосуванням хмарних сервісів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні науковці приділяють значну увагу дослідженню хмарних сервісів.

Хмарні технології забезпечують динамічне масштабування, гнучкість, низькі витрати та доступність, проте мають і виклики сфері безпеки. Вони призначені для консолідації ІТ-інфраструктур, аутсорсингу ІТ-ресурсів, а також об'єднання обчислювальних ресурсів на базі серверів, сховищ, мереж і програм зі спільним доступом [10–11].

Хмарні сервіси є вже не новим явищем у багатьох напрямках, але їм поки що не приділялося достатньо уваги у контексті створення комплексних сервісів з використанням хмарних технологій для наукової та освітньої діяльності. В наш час розвиток сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та комп'ютерних послуг сприяє формуванню нових інформаційно-комунікаційних процесів [12–15]. Існує багато областей застосування хмарних сервісів, але у сферах освітнього процесу та наукових досліджень варто відзначити їхню роль в оптимізації та спрощенні доступу до освітніх і дослідницьких процесів та ресурсів.

Хмарні сервіси доцільно поділити на такі види:

– Інфраструктура як сервіс IaaS (Infrastructure as a Service): надання обчислювальної потужності та інфраструктурних ресурсів через Інтернет. Користувачі можуть отримати віртуальні машини, зберігання даних та інші інфраструктурні ресурси за потребою.

– Платформа як сервіс PaaS (Platform as a Service): сервіс надає платформу для розробки, тестування та розгортання додатків. Користувачі можуть концентруватися на розробці програмного забезпечення, оскільки багато інфраструктурних питань приховані від них.

– Програмне забезпечення як сервіс SaaS (Software as a Service): надання доступу до вже готового програмного забезпечення через Інтернет. Користувачі можуть використовувати програми без необхідності їх установки та оновлення.

Хмарні технології – це набір методів і технічних засобів, що обробляються на відповідному сервері та передають через інтернет необхідну інформацію користувачу. Вони можуть бути використані для візуалізації даних, проведення обчислень, розв'язування задач у різних дослідницьких проектах та освітньому процесі, організації індивідуальної діяльності та колективної співпраці науковців, а також для моніторингу і контролю знань здобувачів освіти [16–18].

Хмарні технології ефективно виконують функції інформаційного сховища та комунікаційної і функціональної платформи для різних видів діяльності. Проте в різних напрямках дослідницької роботи та освітнього процесу часто виникає потреба у хмарних сервісах як PaaS так і SaaS вида одночасно. Це дозволило б задовольнити потреби проектів, де потрібно працювати на рівні програмного коду над удосконаленням алгоритмів або на рівні програми та проектів, виступаючих у ролі вже реалізованого програмного інтерфейсу із вбудованим функціоналом для проведення досліджень.

У даний час для підтримки хмарних обчислень застосовуються такі сервіси як Jupyter [19] і Google Colab [20]. Це більше інтерактивні блокноти, ніж платформи для проведення експериментів і роботи з результатами та вони використовуються як редактори та середовища виконання для однієї мови програмування, але не забезпечують можливість працювати над програмним кодом проектів на декількох мовах програмування одночасно та не дають можливості взаємодіяти з вже реалізованими інтерфейсами для хмарних обчислень у нейрофізіологічних дослідженнях на основі даних айтрекінгу.

MATLAB Online [21] – це повноцінне середовище розробки, але в ньому повністю відсутня соціальна складова, що заважає ефективній командній роботі. Крім того, в ньому відсутній набір реалізованих інтерфейсів для хмарних обчислень у нейрофізіологічних дослідженнях на основі даних айтрекінгу. Іншим істотним недоліком MATLAB Online є відсутність підтримки будь-якої іншої мови програмування.

Існує потреба у створенні нової концепції організації хмарних обчислень у нейрофізіологічних дослідженнях на основі даних айтрекінгу та програмного комплексу/платформи що підтримуватиме хмарні обчислення одразу двох видів PaaS і SaaS. Це дозволить ефективно працювати у дослідницьких і навчальних напрямках як з програмним кодом на декількох мовах програмування

Python, Java, C# для удосконалення алгоритмів тощо, так і з реалізованими раніше методами ідентифікації у вигляді GUI інтерфейсів. Також, зважаючи на великий об'єм даних для проектів на даній платформі та їх можливу залежність один від одного, важливою частиною є соціальна складова, яка дозволить спростити обмін даними між науковцями та між проектами, підвищити продуктивність наукових досліджень, чого немає у схожих існуючих рішеннях.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є розробка архітектури та функціональної web-версії програмного комплексу, що розширює діагностичні можливості інструментальних засобів модельно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання нейрофізіологічного стану, забезпечує кросплатформеність застосунків, підвищує продуктивність та ефективність наукових досліджень з використанням методів непараметричної ідентифікації досліджуваної око-рухової системи на основі даних айтрекінгу за рахунок застосування запропонованої нової концепції організації хмарних обчислень.

Виклад основного матеріалу дослідження.
Концепція організації хмарних обчислень. Запропонована нова концепція організації хмарних обчислень яка полягає у об'єднанні двох видів взаємодії платформи з користувачем: PaaS та SaaS (рис. 1). Це дає можливість так органі-

зувати хмарні обчислення, щоб завдяки вбудованого інтерфейса та і за допомогою редактора програмного коду здійснювати дослідження за проектами на рівні програмного коду та удосконалювати його.

Нова концепція дозволить проводити дослідницьку та освітню діяльність, модифікувати проекти на рівні програмного коду в рамках одного програмного комплексу. Це дозволяє спростити та оптимізувати процес обміну інформацією та результатами досліджень.

Архітектура програмної платформи. Розроблено концепцію, архітектуру та робочу версію веб-орієнтованого комплексу/платформи, що забезпечує інтерфейс та функціональність для хмарних обчислень за наступними принципами роботи: платформа як сервіс PaaS та програмне забезпечення як сервіс SaaS.

Комплекс дозволяє автоматизувати дослідження для ідентифікації нелінійних динамічних систем і додавання нових методів за допомогою вбудованого редактора коду (PaaS-сервіс). Крім того, він надає можливість редагувати та виконувати код скрипта будь-якого методу ідентифікації (якщо код організований відповідно до документації), додавати до коду список параметрів експерименту, виконувати обчислення за допомогою інтегрованого скрипт-коду на сервері, збирати результати у браузері на стороні клієнта і зберігати

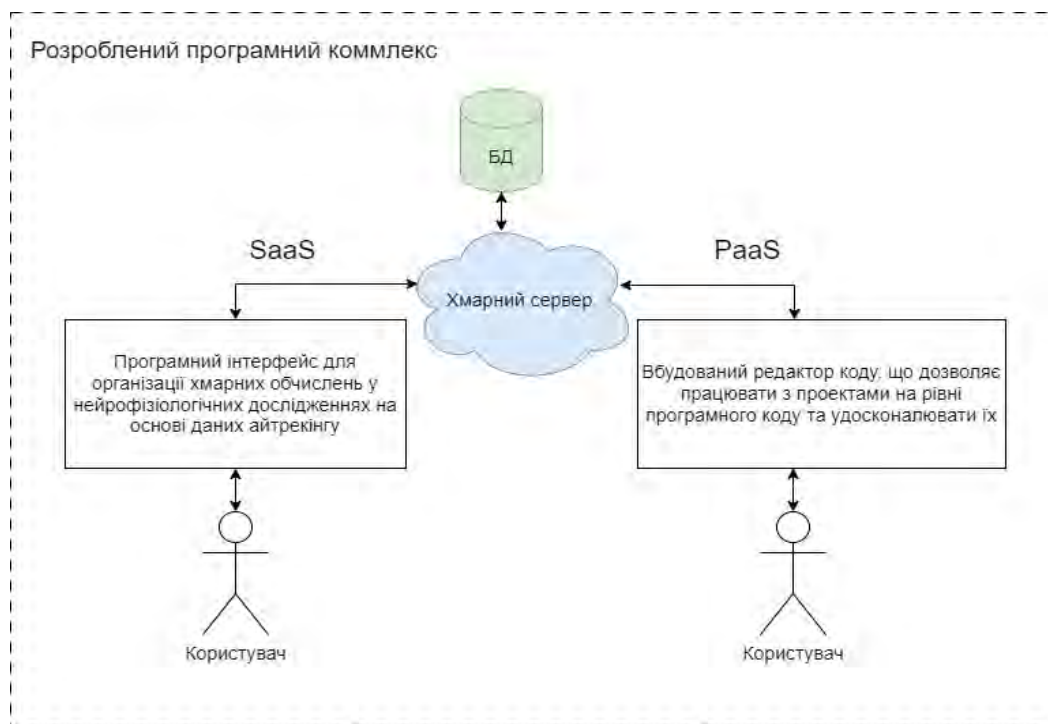


Рис. 1. Концепція організації хмарних обчислень

їх. Комплекс дозволяє здійснювати спеціальну підготовку даних експериментальних досліджень око-рухової системи (ОРС), отриманих від айтрекера, для подальшої обробки в процедурі нелінійної динамічної ідентифікації (SaaS-сервіс). Процес підготовки даних складається з наступних етапів:

Етап 1: Очищення даних:

- зчитування даних, наданих айтрекером;
- визначення та виділення з потоку даних окремих циклів досліджень для кожного респондента;
- видалення артефактів;
- витяг числових масивів відгуків на тестові візуальні стимули;
- відокремлення фрагментів – масивів відповідей на окремі стимули;
- видалення фіксацій різної тривалості на перехідному процесі.

Етап 2: Передобробка даних:

- перетворення послідовності фрагментів у паралельну структуру та приведення відгуків в циклі досліджень до спільного початку;
- нормалізація даних.

Етап 3: Процедура ідентифікації:

- проведення процедури ідентифікації ОМС за даними, отриманими після передобробки.

Розроблені програмні засоби являють собою програмний комплекс, що складається з багатьох модулів і вузлів, які взаємодіють між собою. Нижче наведено схематичне зображення взаємодії модулів платформи (рис. 2).

Панель адміністратора програми – інтерфейс користувача для базової конфігурації платформи:

- управління обліковими записами користувачів;
- управління загальною службовою інформацією.

Ця частина підключається до Firebase API для збереження змін і відображення інформації.

Інтерфейс користувача (основний інтерфейс програми) – інтерфейс користувача для взаємодії з платформою та використання її функцій:

- додавання нових методів ідентифікації;
- редагування існуючих методів відповідно до прав доступу та редагування;
- зміна даних облікового запису;
- додавання співавторів і обмін методами ідентифікації з ними;
- збереження та обмін результатами експерименту.

Ця частина містить вбудований редактор коду (інтерфейс для завантаження нових методів ідентифікації), що дозволяє ефективно працювати з кодом методів ідентифікації. Підключається до Firebase API для збереження змін і відображення інформації.

Firebase API – ця частина служби обробляє всі клієнтські запити, і надсилає запити до бази даних або служби, яка використовується як база даних (бібліотека Firebase). Незалежність цієї частини комплексу дозволяє з легкістю додавати клієнти з інших платформ (Windows, MacOS, Linux, Android, iOS та ін.).

Середовище виконання коду – ізольована частина програмного комплексу, яка діє як програма для виконання коду для Python, C#, Java, JavaScript, на якій виконуються сценарії всіх

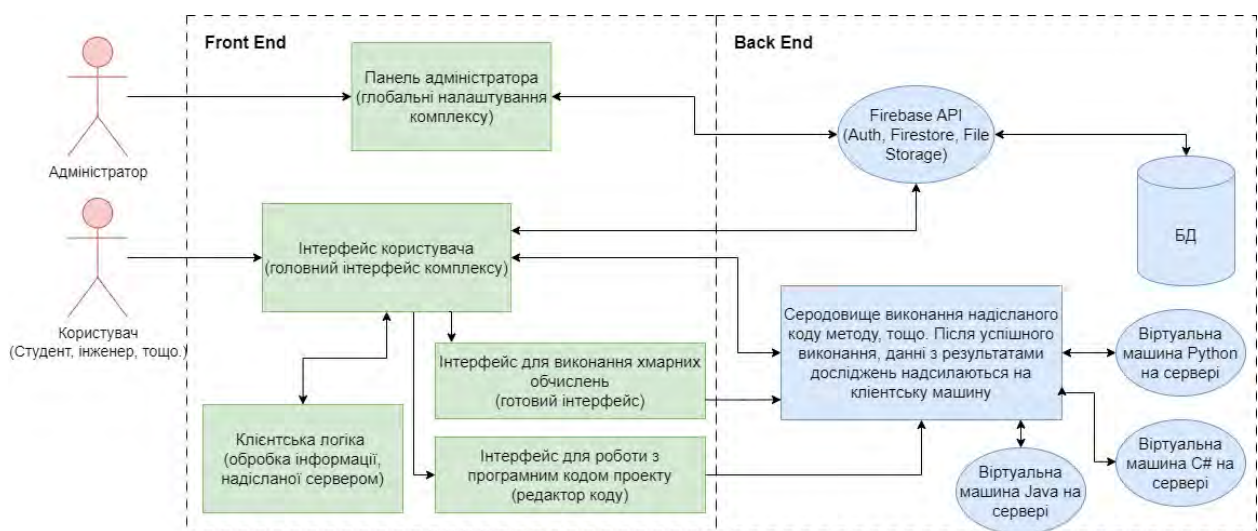


Рис. 2. Структура програмного комплексу

методів ідентифікації. Потім результати надсилаються на клієнтську частину для подальшого ознайомлення і, якщо потрібно, зберігання в базі даних. Для інтерпретації коду використовується віртуальна машина Python, C#, Java, JavaScript.

Бібліотека Firebase – бібліотека компонентів, яка через свій API дозволяє працювати з PostgreSQL базою даних Firebase Firestore для зберігання даних користувача. Він також підтримує Firebase Auth для аутентифікації користувачів і контролю доступу, а також Firebase Storage для зберігання файлів.

Firebase Auth – модуль, який може автентифікувати користувачів лише за допомогою коду на стороні клієнта. Він підтримує вендорів соціальних мереж, таких як Facebook, GitHub, Twitter, Google і Google Play Games, і містить систему керування користувачами для аутентифікації користувачів за допомогою електронної пошти та пароля, які зберігаються у Firebase.

Firebase Storage забезпечує надійне завантаження та вивантаження файлів для застосунків *Firebase* незалежно від якості мережі. Розробник може використовувати його для зберігання зображень, аудіо-, відео- чи іншого вмісту, створеного користувачами. Зберігання *Firebase* підтримується *Google Cloud Storage*.

Розроблений комплекс – це модульний програмний комплекс, що складається з:

- незалежна серверна частина, яка включає всі обчислювальні модулі, базову логіку та обробку даних. Кожен модуль окремий і може масштабуватися незалежно;
- клієнтська частина, яка представляє інтерфейс користувача та клієнтську логіку і є кро-

сплатформеним веб-інтерфейсом, що представляє з себе SPA (односторінковий додаток).

У той же час, структурно та з точки зору взаємодії функціональних компонентів програмний продукт складається з 4-х основних компонентів (рис. 3):

- сервер, що займається управлінням усіма технічними процесами: приймання запитів, надання відповідей на запити, формування завдань агентам, збереження інформації у базі даних;
- веб-інтерфейс, що надає користувачу можливість користуватися сервісом та працювати з проектами;
- агенти – обчислювальні компоненти які виконують поставлені завдання, інтерпретують надісланий код;
- база даних для збереження усіх даних комплексу та проектів.

На схемі зображено усі можливі варіанти спілкування структурних елементів сервісу між собою, а саме:

- A1, A3 – Клієнт відправляє завдання серверу;
- B1 – Сервер відправляє завдання агенту;
- B2 – Агент відправляє результат серверу;
- A2, A4 – Сервер відправляє результат/данні клієнту;
- C1 – Сервер зберігає інформацію у базі даних;
- C2 – Сервер отримує інформацію з бази даних.

Така архітектура дозволяє незалежно вести розробку та масштабування обох частин комплексу. Що дозволить у майбутньому додати до комплексу мобільні додатки та інші пропріє-

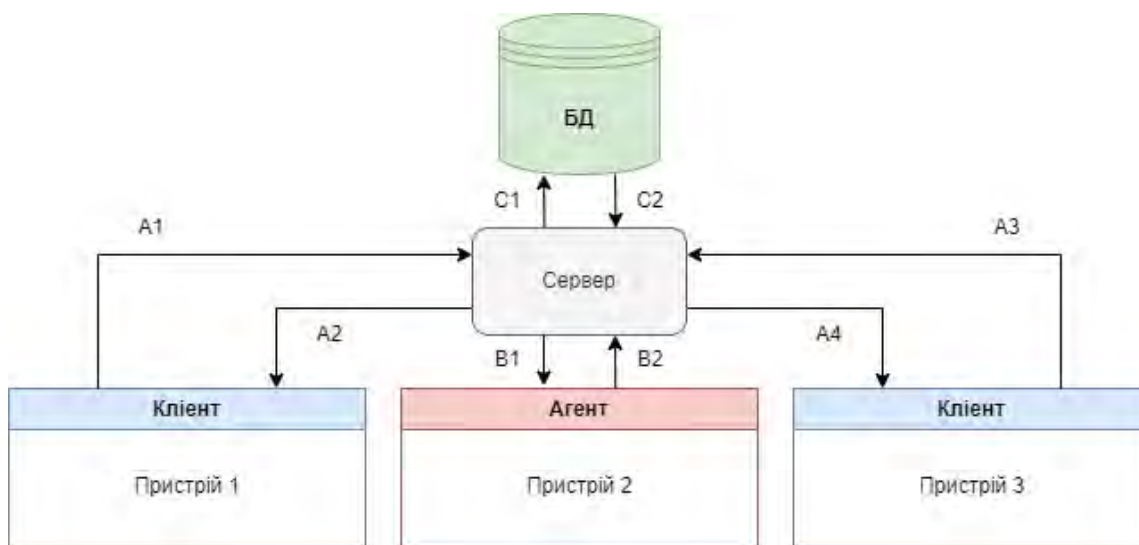


Рис. 3. Структурна схема роботи сервісу

тарні додатки для будь яких платформ. Також, завдяки тому, що вся логіка та обробка даних знаходиться у серверній частині проекту, створено API-інтерфейс, який дозволить стороннім додаткам використовувати функціонал розробленого програмного комплексу. Це надає можливість ще більше масштабувати проект.

Результати досліджень. Процес роботи з програмним комплексом для отримання результатів складається з наступних кроків, які відображені на схемі (рис. 4).

Як видно на схемі, модулі незалежні, що дозволяє ефективніше масштабувати, не впливаючи один на одного. При необхідності, до серверних модулів можуть бути підключені альтернативні клієнти для різних платформ або завдань. У той же час сервер можна розширити додатковими модулями без необхідності змінювати існуючих клієнтів.

На сторінці входу користувачі можуть отримати доступ до функцій платформи, ввівши ім'я користувача та пароль. На перших етапах роботи сервісу функція реєстрації буде недоступна для

користувачів. Усі облікові записи створить адміністратор служби (суперадмін). Це зроблено для забезпечення посиленого контролю над базою користувачів під час закритого тестування.

Головна сторінка сервісу виступає у ролі інформаційної панелі, яка консолідує всю ключову інформацію для користувача: останні події проекту, інформацію про облікові записи, обраних користувачів, останні проекти. Крім того, на цій сторінці користувачі можуть перейти до повного списку обраних користувачів і проектів, натиснувши відповідні посилання/кнопки. Щоб переглянути інформацію про обраного користувача, користувач повинен натиснути на його ім'я, і він побачить ту саму інформаційну панель, але з інформацією про обраний обліковий запис (якщо він не обмежений для перегляду).

Сторінка користувача використовується для перегляду та редагування особистої інформації користувача, зокрема: фото користувача (аватара), імені, номера телефону, електронної пошти, навчального закладу, який відвідує користувач, тощо.

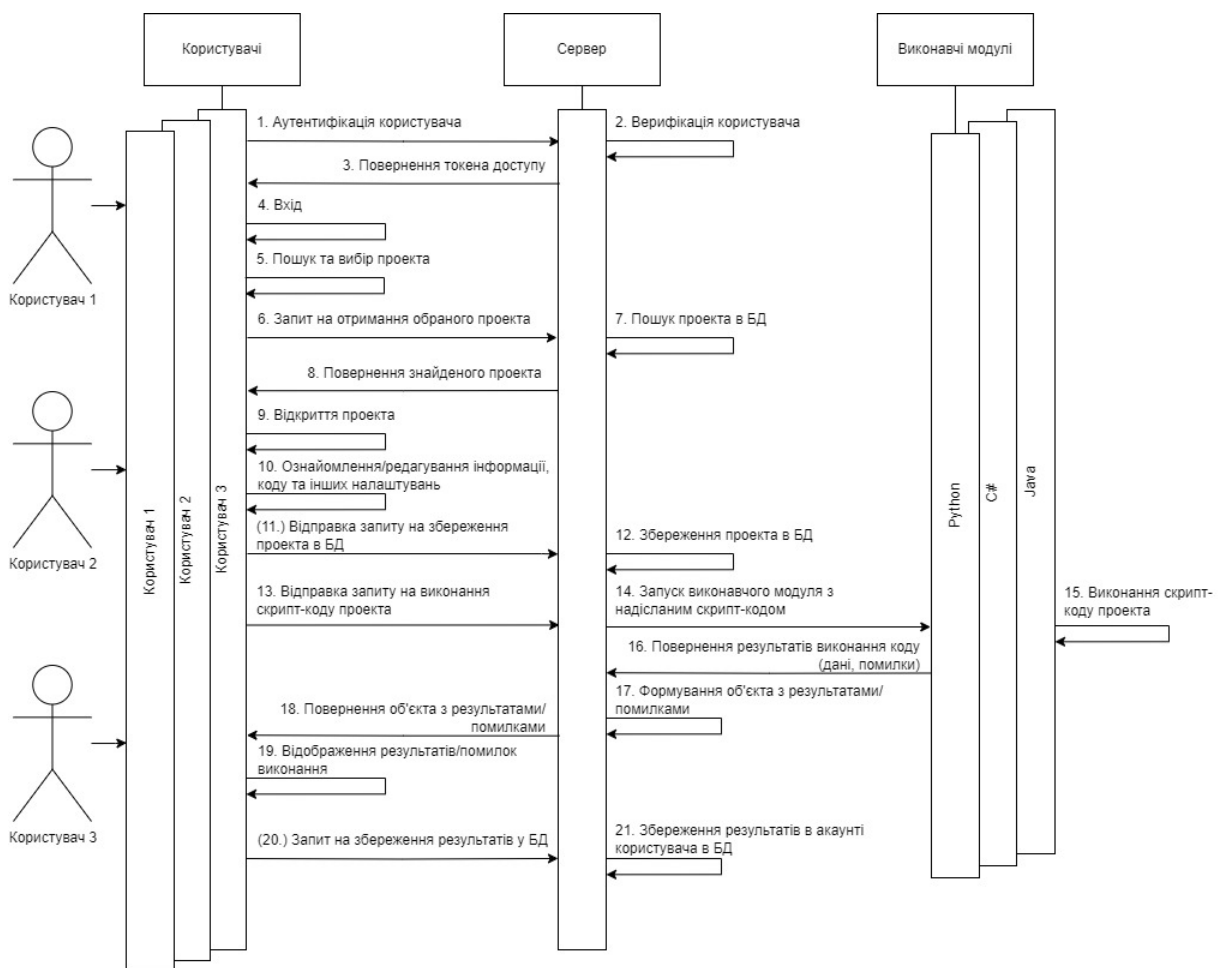


Рис. 4. Процес роботи з програмним комплексом

Сторінка проектів надає доступ до публічних проектів, доступних на сервісі, і власних проектів користувача. Картка проекту, що відображається на сторінці, містить коротку інформацію про нього: назву, дату останнього редагування, автора, короткий опис проекту. На цій сторінці користувачі можуть створювати нові публічні або приватні проекти. За замовчуванням проект створюється як приватний і недоступний для інших користувачів сервісу, але його можна зробити публічним у налаштуваннях проекту. Розділ над списком проектів дозволяє фільтрувати, відображаючи проекти для користувача наступним чином: усі загальнодоступні та приватні проекти, доступні лише для користувача. Будь-який користувач може переглядати та запускати сценарії публічних проектів, але редагувати вихідний код такого проекту та інформацію про нього неможливо. Щоб мати можливість працювати з загальнодоступним проектом, як з вашим власним, користувачу потрібно скопіювати його як свій проект. Це дозволить вам повністю редагувати вихідний код проекту, його інформацію та працювати з результатами.

Натиснувши на проект, користувач переходить на його сторінку. Сторінка проекту дозволяє користувачам переглядати проект і керувати ним, зокрема:

- перегляд опису проекту, його коду та результатів минулих досліджень (за наявності);

- редагування коду проекту, якщо користувач має права доступу (користувач може не мати таких прав, якщо він не є власником, тобто проект публічний або спільний);

- початок виконання скрипт-коду проекту;
- аналіз результатів дослідження (рис. 5);
- спільний доступ до проекту (коду та результатів дослідження) вибраним обліковим записам.

Основним є процес виконання коду проекту. Цей процес і процес надання результатів, що відбувається на клієнті, можна описати наступним псевдокодом:

```
algorithm execute_code_on_server is
input: project
if (is_running) return
if (!project.code) return
out := null
err := null
is_running := true
out, err := request('POST /',
project.code, project.files)
is_running := false
if (err)
show_errors(err)
return
graphs = parse(out)
show_results(graphs)
```

Процес, що відбувається на сервері для надання результатів, може бути описаний таким псевдокодом:

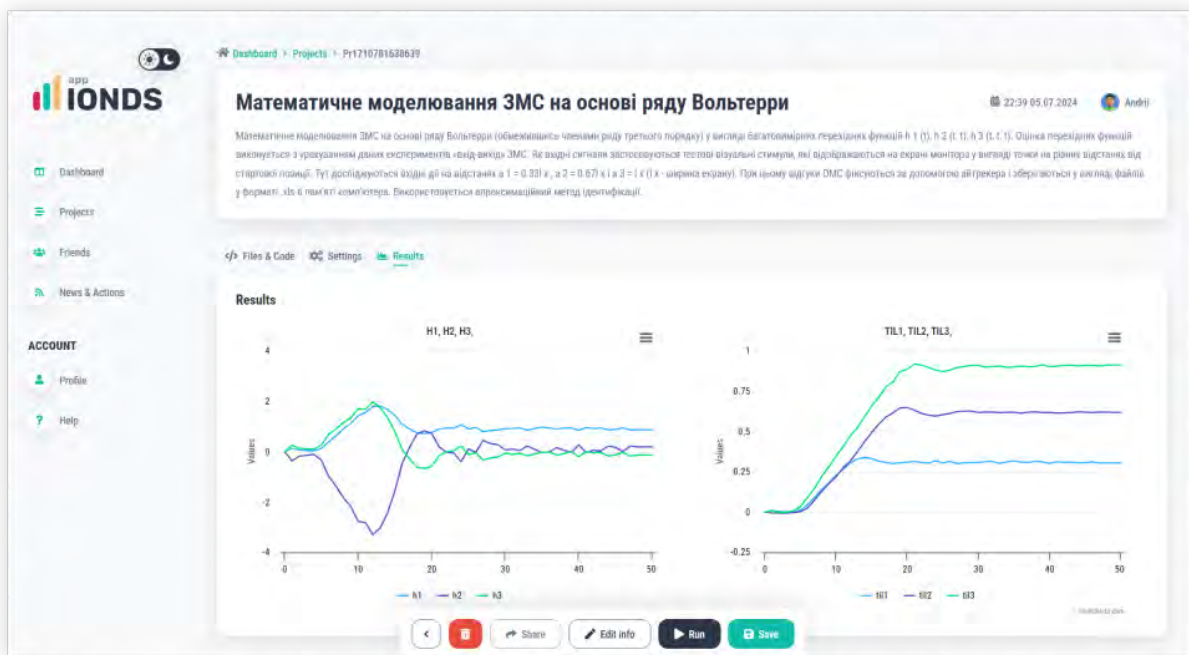


Рис. 5. Приклад результатів досліджень

Порівняльна таблиця конкурентних рішень

	Google Colab	MATLAB online	Project Jupyter	Розроблений програмний комплекс
Соціалізація	+/-	-	-	+
Рівень абстракції	+	+	-	+
Підтримка декількох мов програмування	-	-	-	+

```

algorithm server is
on POST / do
uid := generate_unique_id()
project_path := get_project_path(uid)
create_project_dir(project_path)
main_path := project_path + "main.ext"
save_file(request.code, main_path)
for each file in request.files do
save_file(file, project_path)
out, err := execute(main_path)
return uid, out, err
    
```

Характеристики та недоліки аналогів. Основними аналогами проекту є Jupyter [15], MATLAB Online [16] і Google Colab [17].

В цих застосунках можуть виконуватися тільки вузькоспеціалізовані завдання, але, на відміну від реалізованого програмного комплексу, не дозволяють виконувати комплексну проектну роботу з алгоритмами на одразу декількох мовах програмування, проводити нейрофізіологічні дослідження на основі даних айтрекінгу у рамках вже реалізованих інтерфейсів, обмінюватися результатами та використовувати інші проекти/методи (що стосується простоти пошуку цих методів тощо) для покращення результатів дослідження. Всі зазначені аналоги працюють виключно з однією мовою програмування і не надають можливість вибору інших мов, які можуть знадобитися при роботі з різними алгоритмами, методами ідентифікації тощо (табл. 1), яка є у розробленому програмному комплексі. У всіх цих конкурентних рішеннях відсутній соціальний компонент, що перешкоджає ефективному обміну проектними даними, безпосередньо проектами та спільній співпраці над проектами користувачів. У той же час, цього недоліку немає у реалізованому програмному комплексі через зручну можливість обміну даними між проектами та дослідниками.

Метою комплексу є реалізація можливості в одному місці працювати з популярними мовами програмування та готовими методами (у вигляді інтерфейсів) для досліджень, а також підвищення рівня абстракції, що оптимізує процес дослідження та надає нові можливості для його корис-

тувачів. Програмний комплекс поєднав у собі найкращі характеристики конкурентних рішень для покращення взаємодії з користувачем під час дослідження (рис. 6).

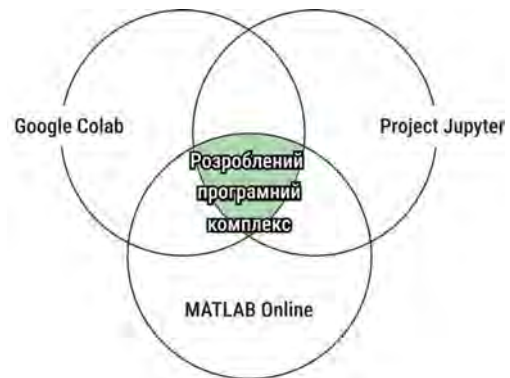


Рис. 6. Порівняння з конкурентними рішеннями

Наукова новизна. Вперше запропоновано дослідження з діагностування нейрофізіологічного стану людини на основі модельно-орієнтованої інтелектуальної інформаційної технології та експериментальних даних айтрекінгу, здійснюване за підтримки технології хмарних обчислень, що значно підвищує продуктивність та ефективність наукових досліджень, при участі в процесі діагностування багатьох дослідників з довільною локацією.

Отримала подальший розвиток технологія хмарних обчислень на основі запропонованої нової концепції організації хмарних сервісів працюючих одночасно за принципами: платформа як сервіс PaaS та програмне забезпечення як сервіс SaaS; що має переваги по відношенню до відомих подібних платформ, спрощує дослідницькі та освітні процеси та забезпечує невимогливість до апаратного забезпечення та кросплатформеність розробленого програмного комплексу.

Висновки. Розроблено архітектуру та програмний комплекс, у рамках нової концепції організації хмарних обчислень, що розширює діагностичні можливості інструментальних засобів модельно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання нейрофізіологічного стану, забезпечує кросплатформеність застосунків, підвищує

продуктивність та ефективність наукових досліджень з використанням методів непараметричної ідентифікації досліджуваної око-рухової системи за даними айтрекінгу.

Комплекс забезпечує можливість ефективно працювати у дослідницьких і навчальних напрямках як з програмним кодом на декількох мовах програмування Python, Java, C# для удосконалення алгоритмів тощо, так і з реалізованими раніше методами ідентифікації у вигляді GUI інтерфейсів та працювати з платформою на будь-якому пристрої як з хмарним сервісом.

Важливою особливістю розробленого програмного комплексу є неможливість до апаратного забезпечення на клієнтській стороні завдяки хмарним обчисленням, поєднання одночасно як PaaS так SaaS принципів роботи та модульну структуру взаємодії функціональних вузлів, що

дозволяє легко масштабувати комплекс. Програмний комплекс має переваги по відношенню до таких сервісів як Project Jupyter, Matlab Online, Google Colab, а саме: можливість працювати з популярними мовами програмування та готовими методами у вигляді GUI інтерфейсів для досліджень, а також підвищення рівня абстракції та соціалізації, що оптимізує дослідницький процес та надає нові можливості для його користувачів. Комплекс має підтримку виконання скриптів методів на таких мовах програмування, як: Python, C#, Java. При розробці програмних засобів були використані: мова програмування JavaScript; мови HTML та CSS для створення інтерфейсу, фреймворк Vue.js [22] для мови JavaScript; Python для реалізації методів нелінійної динамічної ідентифікації; Node.js для реалізації клієнт-серверної взаємодії комплексу.

Список літератури:

1. Opwonya J., Doan D.N.T., Kim S.G. et al. (2022), "Saccadic Eye Movement in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis", *Neuropsychol Rev*, 32, pp. 193–227; <https://doi.org/10.1007/s11065-021-09495-3>
2. Jansson D., Rosén O., and Medvedev A. (2015), "Parametric and nonparametric analysis of eyetracking data by anomaly detection", *IEEE Transaction control system technology*, 23, pp. 1578–1586; doi:10.1109/TSCST.2014.2364958
3. Bro V., Medvedev A. (2023), "Continuous and Discrete Volterra-Laguerre Models with Delay for Modeling of Smooth Pursuit Eye Movements", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(1), pp. 97–104.
4. Lanata L., Sebastian L., Di Gruttola F., Di Modica S., Scilingo E.P., and Greco I A. (2020) "Nonlinear Analysis of Eye-Tracking Information for Motor Imagery Assessments", *Frontiers in Neuroscience*, 2020, 13:1431; doi: 10.3389/fnins.2019.01431.
5. Keehn B., Monahan P., Enneking B., et al. (2024), "Eye-Tracking Biomarkers and Autism Diagnosis in Primary Care", *JAMA Netw Open*;7(5) : e2411190, pp.1-14; doi:10.1001/jamanetworkopen.2024.11190
6. Weiss K., Kolbe M., Lohmeyer Q., and Meboldt M. (2023) "Measuring teamwork for training in healthcare using eye tracking and pose estimation", *Front. Psychol.* 14: 1169940, pp.1–12; <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1169940>
7. Pavlenko V., Shamanina T., Chori V. (2023) "Eyetracking Technology and its Application in Neuroscience", *Proceedings of the The 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2023)*, 7-9 Sept., Dortmund, Germany. Vol. 1, pp. 187-193.
8. Pavlenko V., Shamanina T. and Chori V. (2022) "Biometric Identification based on the Multidimensional Transient Functions of the Human Oculo-Motor System", *5th International Conference on Applied Physics, Simulation and Computing (APSAC-2021)*, 3-5 Sept., Salerno, Italy. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2162, 012024, pp. 1-9.
9. Pavlenko V.D., Shamanina T.V., Chori V.V. (2023) "Estimation Psychophysiological State via Integral Nonlinear Model of the Oculo-Motor System", *Applied Aspects of Information Technology*. 2023. Vol. 6, No. 2, pp.117–129. DOI:<https://doi.org/10.15276/ait.06.2023.8>
10. Вихрист, О. В., Петрова, Р. В. (2023) «Хмарні обчислення: переваги та недоліки». *Збірник матеріалів IX Міжнародної молодіжної науково-практичної інтернет-конференції*. pp. 314-316
11. Fatima, E., Sumra, I. A., Naveed, R. (2024). «A Comprehensive Survey on Security Threats and Challenges in Cloud Computing Models (SaaS, PaaS and IaaS)». *Journal of Computing & Biomedical Informatics*, 7(01), pp. 537-544.
12. Yoo, S. K., Kim, B. Y. (2019). «The effective factors of cloud computing adoption success in organization». *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 6(1), pp. 217-229.
13. Досенко А. К. (2022) «Хмарні технології: прикладні технології сучасних платформ». *Вчені записки ТНУ імені ВІ Вернадського*, (33 (72)), p.p. 257-262.

14. Гришук А., Хімко Я. (2023) «Хмарні технології: поняття, особливості використання». Збірник матеріалів VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Теоретико-прикладні проблеми правового регулювання в Україні» р.р. 137-139.

15. Смірнова Т. В., Поліщук Л.І., Смірнов О.А., Буравченко К.О., Макевнін А.О. (2020) «Дослідження хмарних технологій як сервісів». *Кибербезпека: освіта, наука, техніка*. Т. 3. № 7, рр. 43–62.

16. Яремчук, Д. С. (2024) «Сервіси і додатки хмарних обчислень». Збірник тез IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Цифрова трансформація фінансової системи України та країн v-4 в умовах євроінтеграції» рр. 95-97.

17. Saraswat, M., Tripathi, R. C. (2020). «Cloud computing: Analysis of top 5 CSPs in SaaS, PaaS and IaaS platforms». 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART) рр. 300-305.

18. Kollipara, P. (2021). «An Overview on Cloud Computing». *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 4(8), рр. 35-37.

19. Project Jupyter: <https://jupyter.org>

20. Google Colab: <https://colab.research.google.com>

21. MATLAB Online: <https://www.mathworks.com/products/matlab-online.html>

22. Vue.js framework <https://vuejs.org/guide/introduction.html>

Pavlenko V.D., Ilutsa A.S., Gidulian V.I. A PLATFORM FOR CLOUD COMPUTING IN NEUROPHYSIOLOGICAL RESEARCH BASED ON EYETRACKING DATA

The purpose of the work is the development of the architecture and web version of the software complex, which expands the diagnostic capabilities of the tools of model-oriented information technology for assessing the neurophysiological state, ensures cross-platform applications, increases the productivity and efficiency of scientific research using methods of non-parametric identification of the investigated eye-motor system based on eye tracking data due to the application of the proposed new concept of cloud computing organization. The technology of cloud computing received further development based on the proposed concept of organization of cloud services working simultaneously according to the principles: platform as a service PaaS (Platform as a Service) and software as a service SaaS (Software as a Service). An architecture and software complex has been developed within the framework of a new concept of cloud computing organization, which expands the diagnostic capabilities of the tools of model-oriented information technology for assessing the neurophysiological state and increases the productivity and efficiency of scientific research using methods of non-parametric identification of the investigated eye-motor system based on eye tracking data. The software complex consists of many independent modules and nodes that work in interaction, which allows you to quickly and efficiently expand its functionality. An important feature of this software complex is that it does not require hardware on the client side thanks to cloud computing, the combination of both PaaS and SaaS operating principles and the modular structure of the interaction of functional nodes, which allows for easy scaling of the complex. The complex has advantages over other similar services: the ability to effectively work in research and educational areas both with programming code in several programming languages Python, Java, C# for improving algorithms, etc., and with previously implemented identification methods in the form of GUI interfaces; social opportunities and a high level of abstraction to optimize the research process.

Key words: web-application, cloud services, cloud computing, PaaS, SaaS, eye-tracking technology, neurophysiological research.