

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.14>

УДК 004.942

## Програмні засоби організації хмарних обчислень у психофізіологічних дослідженнях на основі даних айтрекінгу

Павленко Віталій Данилович<sup>1)</sup>

Д-р техн. наук, професор каф. Комп'ютеризованих систем та програмних технологій  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5655-4171>; pavlenko\_vitalij@ukr.net. Scopus Author ID: 54401442600

Ілуща Андрій Сергійович<sup>1)</sup>

Аспірант каф. Комп'ютеризованих систем та програмних технологій  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3445-8481>; ilutsa.a.s@op.edu.ua

Гідулян Вадим Ігорович<sup>1)</sup>

Аспірант каф. Комп'ютеризованих систем та програмних технологій  
E-mail: vadim.gidulyan@gmail.com

<sup>1)</sup> Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

### АНОТАЦІЯ

Розроблено архітектуру та веб-версію програмного комплексу, який значно розширює діагностичні можливості модельно-орієнтованої інформаційної технології для оцінки нейрофізіологічного стану. Комплекс забезпечує кросплатформеність хмарних обчислень, підвищує продуктивність і ефективність наукових досліджень. Комплекс використовує методи непараметричної ідентифікації окорухової системи на основі даних айтрекінгу, що досягається завдяки новій концепції організації хмарних обчислень. Технологія хмарних обчислень отримала подальший розвиток завдяки запропонованій концепції, що поєднує принципи PaaS (Platform as a Service) і SaaS (Software as a Service). Ключовою особливістю цього програмного комплексу є його невимогливість до апаратного забезпечення на стороні клієнта завдяки використанню хмарних обчислень та модульна структура, що дозволяє легко його масштабувати. Порівняно з іншими подібними сервісами комплекс має кілька переваг: він забезпечує ефективну роботу в дослідницьких і навчальних напрямках та підтримує декілька мов програмування для вдосконалення алгоритмів. Комплекс також дозволяє використовувати готові методи ідентифікації через спеціально розроблені GUI-інтерфейси. Крім того, він пропонує соціальні можливості та високий рівень абстракції, що дозволяє оптимізувати дослідницький процес.

**Ключові слова:** Web-застосунок; хмарні сервіси; хмарні обчислення; PaaS; SaaS; технологія айтрекінгу; психофізіологічні дослідження

**Актуальність дослідження.** Вивчення взаємозв'язку окорухових динамічних характеристик із центральною нервовою системою та аналіз психоемоційного стану людини сприяє кращому розумінню мозкових механізмів, їх порушень, динаміки психофізіологічних станів, а також процесів сприйняття, мислення, уяви та диференціації особистих намірів і установок. Технологія стеження за рухами очей (eye-tracking) сьогодні активно використовується в діагностичних дослідженнях нейрофізіологічних станів [1–4], вивчення когнітивних процесів і пам'яті [5], а також для моніторингу поведінки та навчання студентів [6]. Такі дослідження дають змогу глибше розуміти як свідомі, так і підсвідомі аспекти людської поведінки. Знання про рухи очей мають як теоретичне, так і прикладне значення, і вони відкривають нові можливості для дослідження особливостей різних професій з метою підвищення ефективності трудової діяльності. Широке використання апаратного забезпечення для інноваційної технології айтрекінгу в експериментальних дослідженнях нейронних процесів потребує розробки спеціалізованого програмного забезпечення для управління великими масивами даних [7–9]. Існує запит на надійні та точні показники психічного здоров'я як окремих осіб, так і груп населення, а також на обґрунтовані індикатори для моніторингу достовірності та валідності даних. Використання технологій розпізнавання емоцій дозволяє зробити висновки про стан нервової системи та оцінити її стан у повсякденних ситуаціях з підвищеним ризиком. Аналізуючи зміни траєкторій руху очей, можна робити конкретні висновки щодо психофізіологічного стану досліджуваних осіб.

Для впровадження цієї технології в наукові дослідження різних інституцій та навчальних закладів доцільно реалізувати її з використанням хмарних сервісів.

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

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, що робить їх використання дуже доцільним для оптимізації процесів наукових досліджень [10; 11].

**Метою роботи** є розробка архітектури та функціональної веб-версії програмного комплексу, що розширює діагностичні можливості інструментальних засобів модельно-орієнтованої інформаційної технології для оцінки нейрофізіологічного стану, забезпечує кросплатформеність застосунків та підвищує продуктивність і ефективність наукових досліджень, що досягається завдяки використанню методів непараметричної ідентифікації окорухової системи на основі даних айтрекінгу з застосуванням запропонованої нової концепції організації хмарних обчислень.

**Результати досліджень.** Запропонована і розроблена нова концепція організації хмарних обчислень (Рис. 1), що полягає в об'єднанні двох видів взаємодії платформи з користувачем: PaaS (платформа як сервіс) та SaaS (програмне забезпечення як сервіс), що дає можливість організувати хмарні обчислення таким чином, що дослідники могли б працювати над проектами як через вбудований інтерфейс, так і на рівні програмного коду для його вдосконалення за допомогою вбудованого спеціалізованого редактора.

Розроблено програмний комплекс для автоматизації та оптимізації процесів досліджень на основі ідентифікації нелінійних динамічних систем, що дозволяє додавати нові методи за допомогою вбудованого редактора коду, який функціонує як PaaS-сервіс. Цей комплекс також дає можливість редагувати та виконувати код будь-якого методу ідентифікації (за умови відповідності коду вимогам документації), додавати параметри експерименту, виконувати обчислення на сервері за допомогою інтегрованого скрипт-коду, збирати результати на стороні клієнта у браузері та зберігати їх. Крім того, комплекс забезпечує спеціальну підготовку експериментальних даних досліджень окорухової системи, отриманих від айтрекера, для подальшої обробки в процедурі нелінійної динамічної ідентифікації завдяки спеціально розробленому інтерфейсу, який функціонує як SaaS-сервіс.

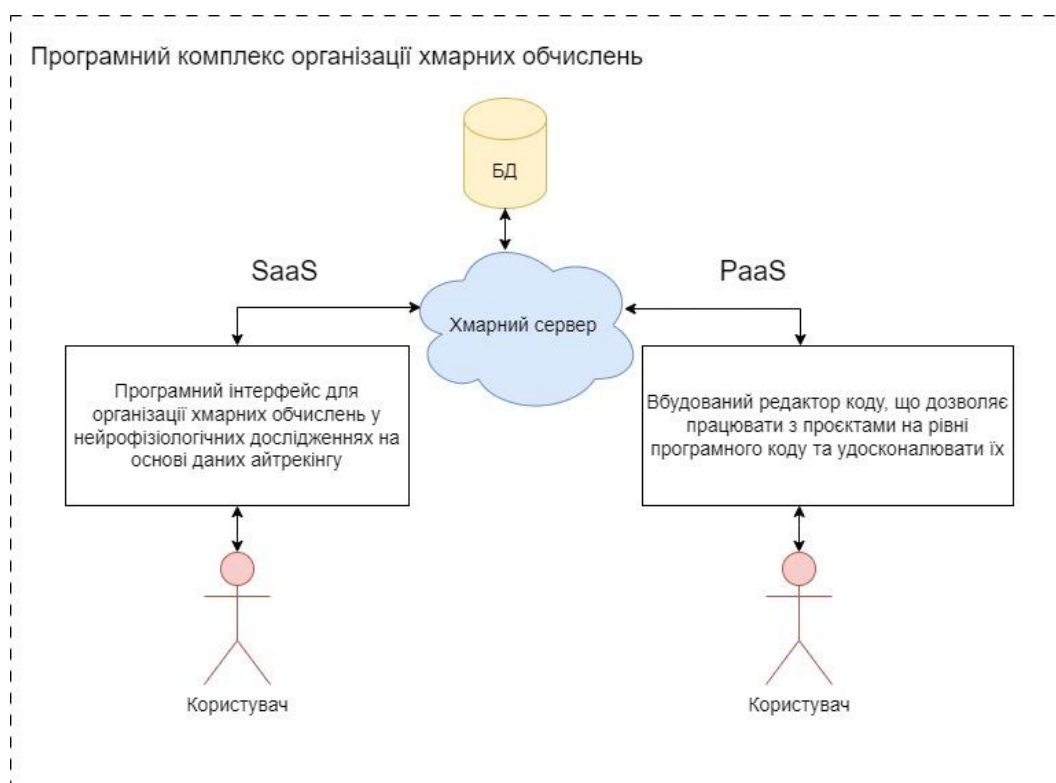


Рис. 1. Концепція організації хмарних обчислень

Комплекс складається з численних модулів і вузлів, які взаємодіють між собою, що ілюструється функціональною схемою роботи сервісу, наведеною на Рис. 2:

– незалежна серверна частина, яка включає всі обчислювальні модулі, базову логіку та обробку даних. Кожен модуль працює автономно та може масштабуватися окремо;

– клієнтська частина, що забезпечує користувальницький інтерфейс і клієнтську логіку через кроссплатформенний веб-інтерфейс у вигляді SPA (односторінковий застосунок).

З функціональної точки зору, програмний продукт складається з чотирьох основних компонентів:

– сервер, який керує всіма технічними процесами: прийомом запитів, наданням

відповідей, формуванням завдань для агентів, збереженням інформації у базі даних;

– веб-інтерфейс, що надає користувачам доступ до сервісу та можливість роботи з проектами;

– агенти, що відповідають за виконання поставлених завдань і інтерпретацію коду;

– база даних, призначена для зберігання всієї інформації комплексу та проектів.

На схемі зображено усі можливі варіанти взаємодії 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/дані клієнту;

C1 – Сервер зберігає інформацію у базі даних;

A4 – Сервер отримує інформацію з бази даних.

Наведена архітектура організації хмарних обчислень дозволяє окремо розробляти та масштабувати обидві частини комплексу, що відкриває можливості для подальшого додавання мобільних і пропріетарних додатків для будь-яких платформ (Windows, Linux, Android, MacOS, iOS). Завдяки зосередженню усієї логіки та обробки даних на серверній стороні проекту, був створений API-інтерфейс, який дає змогу стороннім додаткам інтегрувати функціонал розробленого програмного комплексу. Це забезпечує додаткові можливості для масштабування проекту.

Процес роботи з програмним комплексом для отримання результатів складається з наступних кроків, які відображені на схемі, наведеній на Рис. 3. 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.

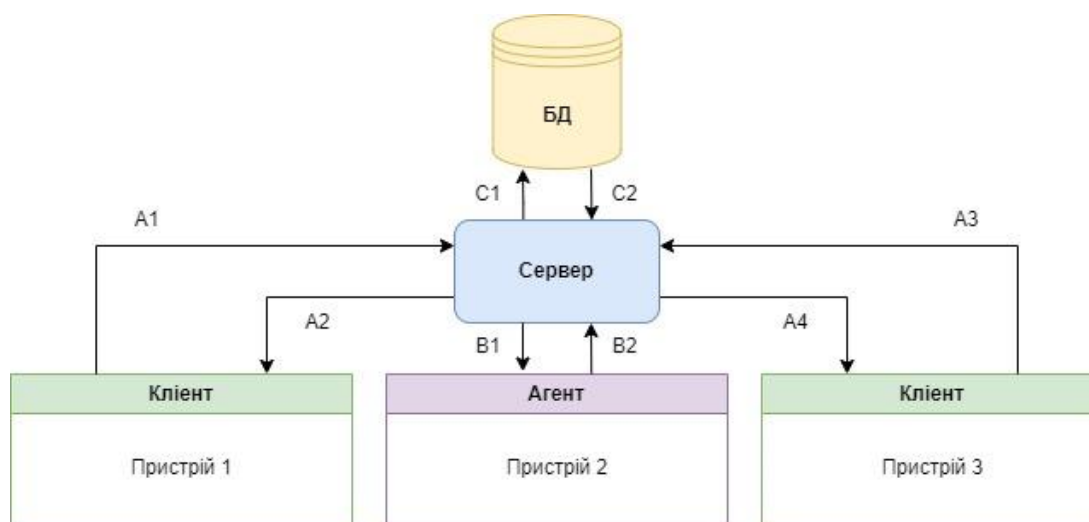


Рис. 2. Функціональна схема роботи сервісу

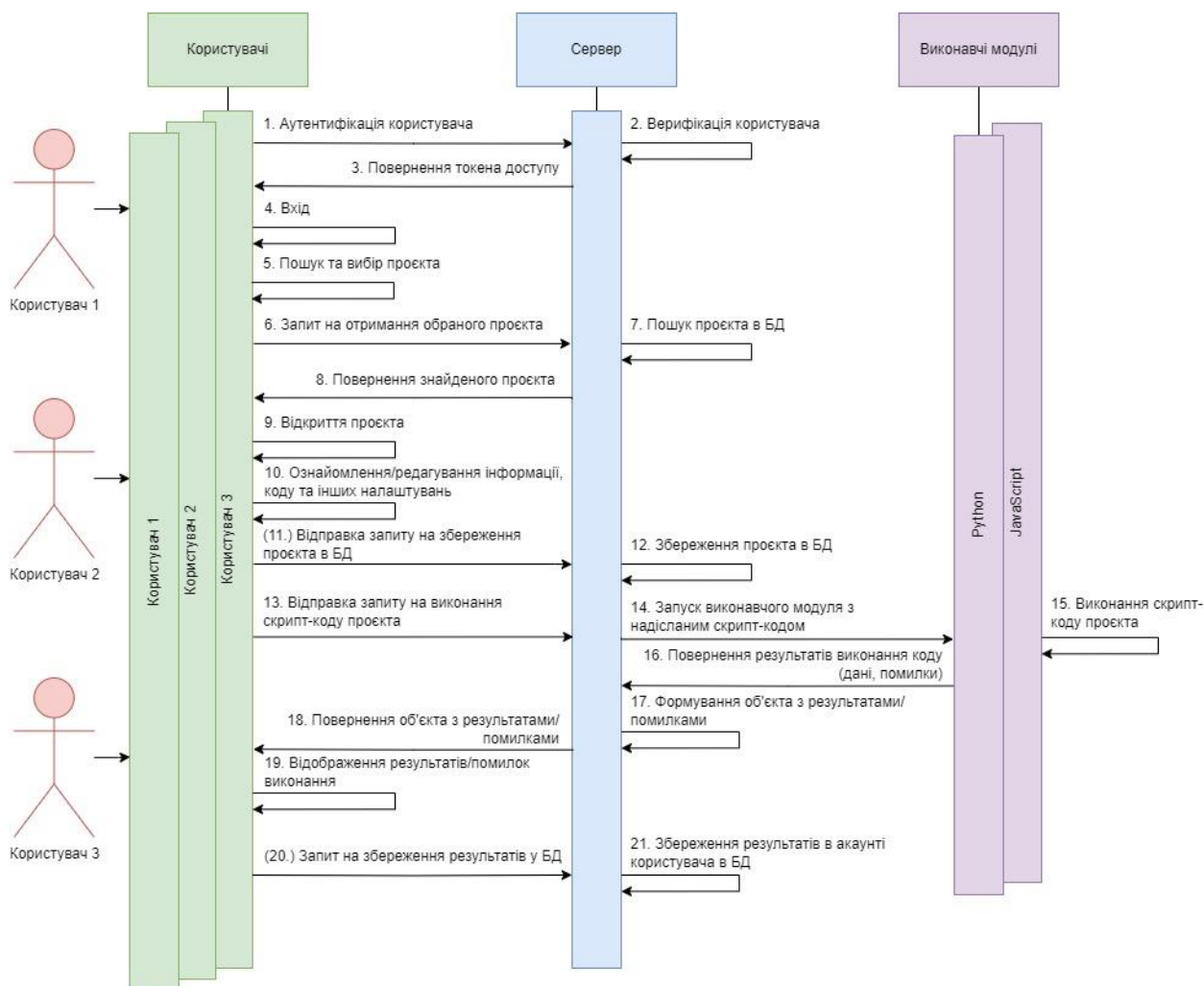


Рис. 3. Процес роботи з програмним комплексом

**Наукова новизна.** Уперше було запропоновано діагностування нейрофізіологічного стану людини на основі модельно-орієнтованої інтелектуальної інформаційної технології та експериментальних даних айтрекінгу, що реалізоване за підтримки хмарних обчислень. Це значно підвищує продуктивність і ефективність наукових досліджень, оскільки в процесі діагностики можуть брати участь кілька дослідників, незалежно від їх географічної локації.

Технологія хмарних обчислень отримала подальший розвиток завдяки новій концепції організації хмарних сервісів, які працюють одночасно за принципами платформи як сервісу PaaS і програмного забезпечення як сервісу SaaS. Це забезпечує переваги над відомими аналогами, спрощує дослідницькі та освітні процеси, а також забезпечує невибагливість до апаратного забезпечення та кросплатформеність розробленого програмного комплексу.

**Висновки.** Розроблено архітектуру та програмний комплекс у рамках нової концепції хмарних обчислень, яка розширює діагностичні можливості модельно-орієнтованої інформаційної технології для оцінки нейрофізіологічного стану. Комплекс забезпечує кросплатформеність процесів хмарних обчислень, підвищує продуктивність і ефективність наукових досліджень, використовуючи методи непараметричної ідентифікації окорухової системи на основі даних айтрекінгу.

Комплекс дозволяє ефективно працювати в дослідницькій та навчальній сферах з програмним кодом на різних мовах програмування, таких як Python або Javascript, для вдосконалення алгоритмів, а також з уже реалізованими методами ідентифікації через спеціально розроблені GUI інтерфейси. Він надає можливість використовувати платформу на будь-якому пристрої як хмарний сервіс.

Ключовою особливістю цього програмного комплексу є його невибагливість до апаратного забезпечення на клієнтській стороні завдяки використанню технології хмарних обчислень. Комплекс поєднує в собі принципи PaaS та SaaS сервісів і має модульну структуру, що полегшує масштабування. Він має переваги по відношенню до таких сервісів як Project Jupyter [12], Google Colab [13], Matlab Online [14], завдяки можливості працювати з популярними мовами програмування та готовими методами через спеціально розроблені GUI інтерфейси, а також завдяки підвищеному рівню абстракції та соціалізації, що оптимізує дослідницький процес і надає нові можливості користувачам. Комплекс підтримує виконання скриптів методів обчислень на мовах програмування Python та JavaScript.

Для розробки програмного забезпечення використовувалися такі інструменти: JavaScript – для загальної розробки; HTML та CSS – для створення інтерфейсу; фреймворк Vue.js [15], Python – для реалізації методів нелінійної динамічної ідентифікації, а також Node.js – для реалізації клієнт-серверної взаємодії.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Opwonya J., Doan D. N. T., Kim S. G. et al. “Saccadic eye movement in mild cognitive impairment and alzheimer’s disease: A systematic review and meta-analysis”. *Neuropsychol Rev.* 2022; 32: 193–227. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11065-021-09495-3>.
2. Jansson D., Rosén O., Medvedev A. “Parametric and nonparametric analysis of eyetracking data by anomaly detection”. *IEEE Transaction Control System Technology.* 2015; 23: 1578–1586. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSCT.2014.2364958>.
3. Bro V., Medvedev A. “Continuous and discrete Volterra-Laguerre models with delay for modeling of smooth pursuit eye movements”. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering,* 2023; 70 (1): 97–104.
4. Lanata L., Sebastian L., Di Gruttola F., Di Modica S., Scilingo E. P., Greco A. “Nonlinear analysis of eye-tracking information for motor imagery assessments”. *Frontiers in Neuroscience.* 2020; 13: 1431. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01431>.
5. Keehn B., Monahan P., Enneking B., et al. “Eye-Tracking biomarkers and autism diagnosis in primary care”. *JAMA Netw Open.* 2024; 7 (5): e2411190. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.11190>.
6. Weiss K., Kolbe M., Lohmeyer Q., Meboldt M. “Measuring teamwork for training in healthcare using eye tracking and pose estimation”. *Front. Psychol.* 2023; 14: 1169940. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1169940>.
7. Pavlenko V., Shamanina T., Chori V. “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).* Dortmund, Germany. 2023; 1: 187–193.
8. Pavlenko V., Shamanina T., Chori V. “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).* Salerno, Italy. 2022; 2162: 012024.
9. Pavlenko V. D., Shamanina T. V., Chori V. V. “Estimation psychophysiological state via integral nonlinear model of the oculo-motor system”. *Applied Aspects of Information Technology.* 2023; 6 (2): 117–129. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.8>.
10. Вихрист О. В., Петрова Р. В. «Хмарні обчислення: переваги та недоліки». *Збірник матеріалів IX Міжнародної молодіжної науково-практичної інтернет-конференції.* 2023. р. 314–316.
11. Fatima E., Sumra I. A., Naveed R. “A comprehensive survey on security threats and challenges in cloud computing models (SaaS, PaaS and IaaS)”. *Journal of Computing & Biomedical Informatics.* 2024; 7 (01): 537–544.

12. “Project Jupyter”. – Available from: <https://jupyter.org>.
13. “Google Colab”. – Available from: <https://colab.research.google.com>.
14. “MATLAB Online”. – Available from: <https://www.mathworks.com/products/matlab-online.html>.
15. “Vue.js framework”. – Available from: <https://vuejs.org/guide/introduction.html>.

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.14>

UDC 004.942

## **Software tools for organizing cloud computing in psychophysiological research based on eyetracking data**

**Vitaliy D. Pavlenko**<sup>1)</sup>

Dr. Sc., Professor, Department of Computerized Systems and Software Technology

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5655-4171>; pavlenko\_vitalij@ukr.net. Scopus Author ID: 54401442600

**Andrii S. Ilutsa**<sup>1)</sup>

PHD student, Department of Computerized Systems and Software Technology

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3445-8481>; ilutsa.a.s@op.edu.ua

**Vadym I. Gidulyan**<sup>1)</sup>

Postgraduate Student, Department of Computerized Systems and Software Technology

E-mail: vadim.gidulyan@gmail.com

<sup>1)</sup> Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

### **ABSTRACT**

The architecture and web version of the software complex have been developed, which significantly expands the diagnostic capabilities of model-oriented information technologies for the assessment of the neurophysiological state. The complex provides cross-platform cloud computing, increases the productivity and efficiency of scientific research, using methods of non-parametric identification of the oculomotor system based on eyetracking data, which is achieved thanks to a new concept of cloud computing organization. Cloud computing technology has been further developed thanks to the proposed concept that combines the principles of PaaS (Platform as a Service) and SaaS (Software as a Service). The key feature of this software complex is its undemanding hardware on the client side thanks to the use of cloud computing, and its modular structure, which allows it to be easily scaled. Compared to other similar services, the complex has several advantages: it provides effective work in research and educational areas, supports several programming languages for improving algorithms, and also allows the use of ready-made identification methods through specially developed GUI interfaces. In addition, it offers social capabilities and a high level of abstraction that optimizes the research process.

**Keywords:** Web-application; cloud services; cloud computing; PaaS; SaaS; eye-tracking technology; neurophysiological research