

ІНФОРМАЦІЙНА ВЕБПЛАТФОРМА ДЛЯ АНАЛІЗУ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ЕХОЛОКАЦІЇ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто розроблення інформаційної вебплатформи для аналізу ультразвукової ехолокації, що відтворює роботу ехо-енцефалографа ЕЕС-11 у браузерному середовищі без необхідності фізичного приладу. Проаналізовано проблему відсутності лабораторного обладнання у вітчизняних закладах вищої освіти та обґрунтовано актуальність дистанційного доступу в умовах воєнного часу. Описано алгоритм генерації ехо-сигналу на основі функції Гауса та фізичних рівнянь А-режиму ехолокації. Розроблена платформа містить 11 об'єктів сканування, три навчальних сценарії та двомовний адаптивний інтерфейс; метрики продуктивності: $TTI = 1,4$ с, стабільні 60 кадрів за секунду.

Ключові слова: інформаційна вебплатформа, ультразвукова ехолокація, ехо-енцефалограф ЕЕС-11, Angular 17, TypeScript, HTML5 Canvas, симулятор, медична освіта.

Abstract

The thesis covers the development of an information web platform for ultrasonic echolocation analysis that reproduces the operation of the EES-11 echo-encephalograph in a browser environment without requiring physical equipment. The problem of laboratory equipment scarcity in Ukrainian higher education institutions is analyzed, and the relevance of remote access during wartime is justified. The algorithm for generating the echo signal based on the Gaussian function and A-mode echolocation equations is described. The developed platform contains 11 scanning objects, three educational scenarios, and a bilingual responsive interface; performance metrics: $TTI = 1.4$ s, stable 60 frames per second.

Keywords: information web platform, ultrasonic echolocation, EES-11 echo-encephalograph, Angular 17, TypeScript, HTML5 Canvas, simulator, medical education.

Вступ

Ехо-енцефалограф ЕЕС-11 — прилад, що виготовлявся у 1970–1990-х роках на Київському заводі «Веда» та використовувався у клінічній нейрохірургічній практиці для неінвазивного виявлення відхилень серединних структур головного мозку. У курсі «Медична апаратура» для студентів спеціальностей 122, 125, 126 та 163 цей прилад традиційно застосовується для лабораторних робіт з А-режиму ультразвукової ехолокації — базового методу, освоєння якого є підґрунтям для вивчення складніших ультразвукових технологій. Проте за результатами опитування 17 вищих навчальних закладів України лише три заклади мають хоча б один справний екземпляр ЕЕС-11. Решта вишів або не мають приладу взагалі, або зберігають несправні екземпляри, що не підлягають ремонту через відсутність запасних частин.

Ситуацію суттєво ускладнює воєнний час. За даними МОН України на початок 2025–2026 навчального року, понад 40 % студентів медичних і технічних спеціальностей навчаються частково або повністю дистанційно: одні перебувають за кордоном, інші — у регіонах з обмеженим доступом до закладів освіти через бойові дії або систематичні повітряні тривоги. Дослідження підтверджують педагогічну ефективність цифрових тренажерів: систематичний огляд 142 первинних досліджень з 19 країн (Cheng та ін., Medicine, 2024) показав, що симуляційне навчання скорочує час формування базових навичок на 23–41 % порівняно з виключно аудиторними методами [2].

Огляд існуючих комерційних рішень виявив суттєві обмеження кожного з них. Surgical Science U/S Mentor (Symbionix) є апаратно-програмним комплексом вартістю від 150 000 доларів, що потребує фізичного манекена та встановлення. SonoSim — хмарна платформа на основі реальних клінічних даних без підтримки україномовного інтерфейсу та А-режиму у форматі ЕЕС-11 [1]. PhysioEx 10.0 включає 63 фізіологічних симуляції, проте жодна з них не стосується ультразвукової ехолокації. Жоден із аналогів не відповідає одночасно всій сукупності вимог вітчизняного навчального процесу: безкоштовний браузерний доступ, симуляція А-режиму ЕЕС-11, україномовний інтерфейс та відповідність навчальним програмам ЗВО [5].

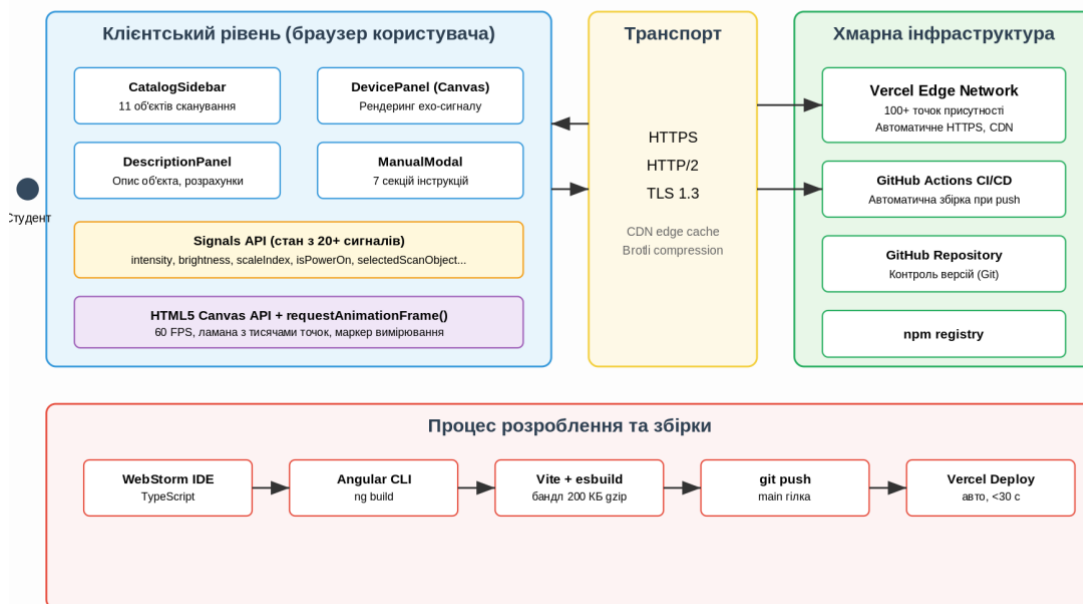
Метою роботи є розроблення інформаційної вебплатформи, що відтворює функціональність ехо-енцефалографа ЕЕС-11 у браузерному середовищі та дозволяє студентам виконувати три типи навчальних

завдань без наявності фізичного приладу: вимірювання товщини пластин (для дослідження роздільної здатності), ідентифікацію геометричних форм (для розрізнення об'єктів за характером ехо-сигналу) та визначення матеріалу циліндрів за коефіцієнтом поглинання ультразвуку.

Результати дослідження

В основі симуляції лежать фізичні рівняння А-режиму ультразвукової ехолокації. Акустичний імпеданс розраховується за формулою $Z = \rho \cdot c$, де ρ — питома маса середовища, c — швидкість звуку у ньому. Коефіцієнт поглинання ультразвуку визначається за формулою $\mu = (1/2d) \cdot \ln(A_1/A_2)$, де d — товщина шару матеріалу, A_1 та A_2 — амплітуди вхідного та відбитого сигналів; множник 2 враховує подвійний прохід сигналу через шар. Форма кожного піку ехо-сигналу апроксимується функцією Гауса $A(x) = A_0 \cdot \exp(-(x-x_0)^2 / (2\sigma^2))$, де σ визначається робочою частотою ЕЕС-11 (0,5–2,25 МГц), що забезпечує фізично достовірне відображення сигналу [1]. Платформа реалізована як SPA на базі Angular 17+ з Signals API; центральний компонент Eec11Component містить понад 20 реактивних сигналів стану та близько 1900 рядків коду TypeScript. Повністю клієнтська архітектура без серверних обчислень гарантує автономну роботу після першого завантаження. На рисунку 1 зображено архітектурну діаграму, що ілюструє чотири логічні шари системи та процес CI/CD-розгортання через Vercel[7].

Архітектурна діаграма інформаційної вебплатформи ЕЕС-11



Користувач взаємодіє з веб-інтерфейсом через будь-який сучасний браузер.
Усі обчислення (генерація ехо-сигналу, розрахунок коефіцієнта поглинання) виконуються на стороні клієнта.

Рисунок 1 – Архітектурна діаграма інформаційної вебплатформи

Каталог платформи містить 11 об'єктів сканування у трьох категоріях, що відповідають стандартному лабораторному набору ЕЕС-11. Категорія «Пластини» включає чотири об'єкти товщиною 2, 3, 5 та 10 мм: при скануванні пластини 2 мм обидва відбиття зливаються в один розширений пік (межа роздільної здатності приладу), тоді як для пластин 5 і 10 мм піки чітко розділені. Категорія «Об'єкти за формою» містить чотири геометричні фігури (коло, квадрат, трикутник, прямокутник) з можливістю обертання — для виявлення симетричних або асиметричних патернів ехо-сигналу. Категорія «Циліндри» — три об'єкти з алюмінію, полімеру та сталі з різними табличними значеннями коефіцієнта поглинання, що дозволяє студентам практично застосовувати формулу розрахунку μ для ідентифікації матеріалу. На рисунку 2 зображено діаграму прецедентів, що охоплює 9 функціональних сценаріїв взаємодії студента з платформою.

Діаграма прецедентів: Web-симулятор ЕЕС-11

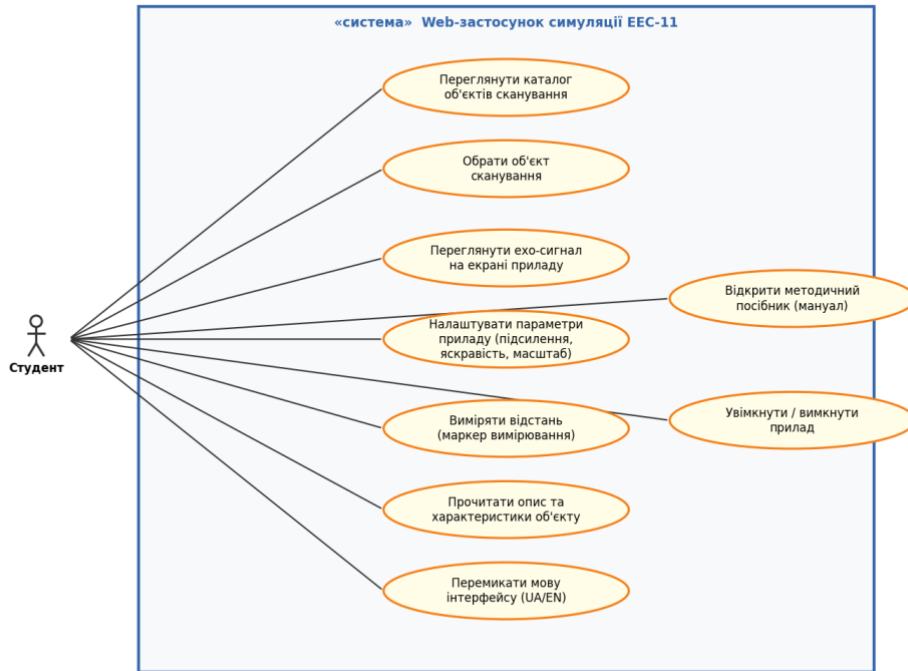


Рисунок 2 – Діаграма прецедентів інформаційної вебплатформи

Графічний інтерфейс платформи спроектовано з максимальною схожістю до реального ЕЕС-11 для зниження когнітивного порогу входу. Панель керування відтворює бежевий металевий корпус приладу з шістьма аналоговими ручками: підсилення сигналу (*intensity*), яскравість екрана (*brightness*), масштаб розгорнення (*scaleIndex*), позиція початку розгорнення (*startPosition*), маркер вимірювання відстані (*measuredDistance*) та обертання об'єкта (*rotation*). Круглий осцилографний екран відображає анімований ехо-сигнал зеленого кольору з оновленням 60 FPS через метод `requestAnimationFrame()`. Двомовний інтерфейс (українська/англійська) реалізовано через два об'єкти-словники з 34 ключами кожен; перемикання відбувається без перезавантаження сторінки завдяки реактивності `Signals API`[4]. Адаптивний дизайн забезпечує коректне відображення на пристроях від 375×667 (смартфони) до 3840×2160 пікселів (4К-монітори). Додатково реалізовано методичний посібник із 7 секціями у форматі модального вікна. На рисунку 3 зображено інтерфейс у режимі активного сканування пластини 2 мм

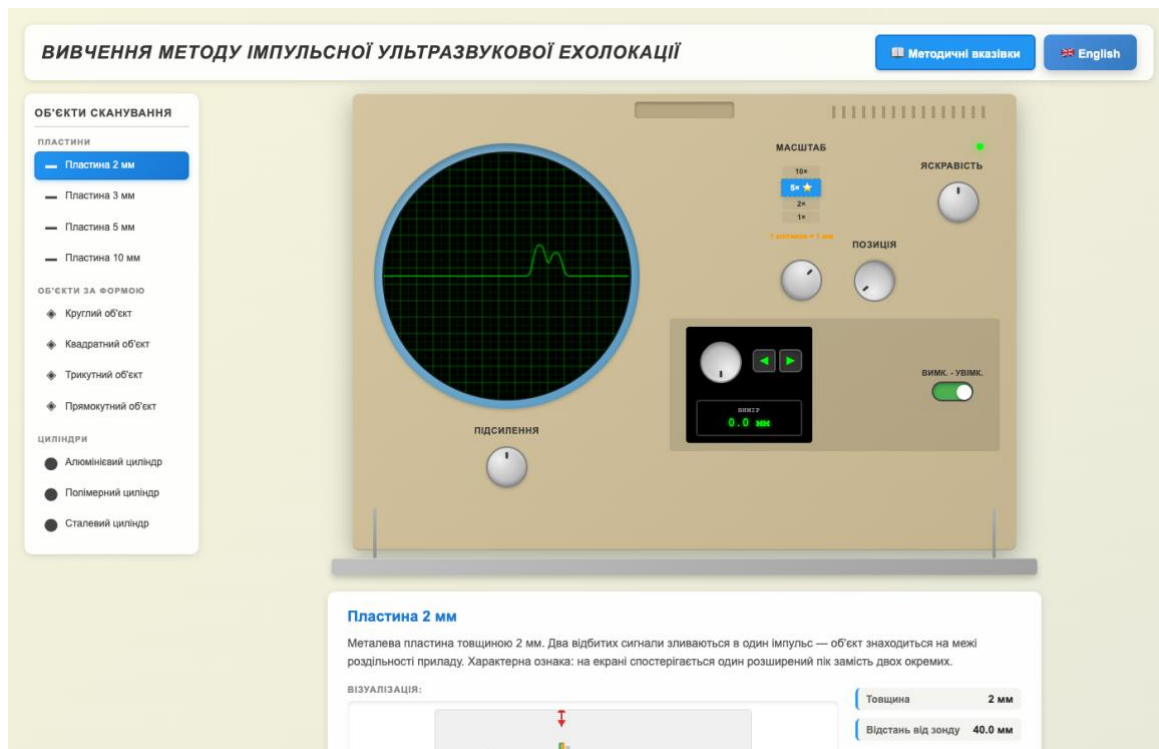


Рисунок 3 – Інтерфейс платформи з активним ехо-сигналом

Комплексне тестування охопило чотири напрями: функціональне, крос-браузерне, адаптивне та оцінювання продуктивності. Розроблено та виконано 12 функціональних тест-кейсів, що покривають усі сценарії взаємодії — від завантаження сторінки та вибору об'єкта до перемикання мови та роботи з маркером вимірювання. Крос-браузерне тестування проводилося у п'яти браузерах (Chrome 120+, Firefox 121+, Edge 120+, Safari 17+, Opera 105+); у всіх браузерах платформа демонструє однакову поведінку та якість рендерингу. Адаптивність перевірено на шести референсних пристроях — від iPhone SE (375×667) до 4K-монітора (3840×2160). Усі 12 тест-кейсів пройдено успішно. Виміряні показники продуктивності: Time To Interactive (TTI) = 1,4 с при стандарті Core Web Vitals < 3 с; First Contentful Paint (FCP) = 0,8 с; стабільні 60 FPS при анімації ехо-сигналу; розмір gzip-бандлу 200 КБ; пікове використання оперативної пам'яті браузером 60 МБ. Відносна похибка фізичної моделі при розрахунку коефіцієнта поглинання не перевищує 2,1 % відносно табличних значень для алюмінію, полімеру та сталі [5].

Висновки

У ході виконання роботи розроблено повністю функціональну інформаційну вебплатформу для аналізу ультразвукової ехолокації, що відтворює роботу ехо-енцефалографа ЕЕС-11 у браузерному середовищі. Вирішено практичну проблему відсутності фізичного приладу у 14 з 17 опитаних університетів: студенти отримали безкоштовний інструмент, доступний з будь-якого сучасного браузера без встановлення додаткового програмного забезпечення. Платформа є особливо актуальною в умовах воєнного часу, коли понад 40 % студентів відповідних спеціальностей навчаються дистанційно.

Наукова новизна полягає у розробленні комплексного підходу до побудови браузерних симуляторів медичної апаратури: поєднання реактивного управління станом через Angular Signals API, фізично коректної моделі ехо-сигналу (функція Гауса, формули акустичного імпедансу та поглинання) і повністю клієнтської SPA-архітектури без серверних залежностей. Практичне значення підтверджено успішним проходженням 12 функціональних тест-кейсів, відповідністю всіх метрик продуктивності стандартам Core Web Vitals і похибкою фізичної моделі менше 2,1 %. Платформа розгорнута на CDN Vercel і готова до впровадження в навчальний процес вітчизняних ЗВО як повноцінний цифровий заміник фізичного приладу ЕЕС-11.

Перспективні напрямки подальшого розвитку охоплюють: розширення каталогу об'єктів сканування до біологічних тканин і рідких середовищ; інтеграцію з LMS Moodle для автоматичного передавання результатів лабораторних робіт до журналу оцінювання; реалізацію модуля автоматичного оцінювання правильності вимірювань; застосування методів машинного навчання для генерації реалістичніших ехо-сигналів на основі реальних клінічних даних [3]; розробку мобільного застосунку на базі тієї самої кодової бази для роботи в режимі офлайн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. SonoSim Ultrasound Training & Education. SonoSim, Inc. URL: <https://sonosim.com/> (дата звернення: 11.05.2026).
2. Cheng A. та ін. The impact of simulation-based training in medical education. *Medicine (Baltimore)*. 2024. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11224887/> (дата звернення: 11.05.2026).
3. Лосенко А. В., Крижановський С. М., Штельмах І. М., Варчук І. В. Технологія LLM-видобування ознак тестування пацієнтів з текстових звітів для удосконалення прогнозування кількості хворих на коронавірус. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024. № 6. С. 135–144. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/3143> (дата звернення: 12.05.2026).
4. Angular – The modern web developer's platform. 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://angular.dev> (дата звернення: 15.05.2026).
5. Cheng A., Auerbach M., Hunt E. A., Chang T. P., Pusic M., Nadkarni V., Kessler D. The impact of simulation-based training in medical education. *Medicine (Baltimore)*. 2024. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11224887/> (дата звернення: 12.05.2026).
6. Наука про дані: машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних : електронний навчальний посібник / В. Б. Мокін, М. В. Дратований. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 258 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Mokin_2024_263.pdf (дата звернення: 12.05.2026).
7. The Growing Need for Web-Based Simulation in Low- and Middle-Income Countries. *PMС*. 2025. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11931330/> (дата звернення: 12.05.2026).

Антеменюк Олег Анатолійович – студент групи 2ІСТ-226, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olegantemenuk99@gmail.com

Варчук Ілона Вячеславівна – канд. техн. наук, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ivvarchuk@vntu.edu.ua

Antemiuk Oleh A. – student of group 2IST-22b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olegantemenuk99@gmail.com

Varchuk Ilona V. – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivvarchuk@vntu.edu.ua