

УДК 378.147-057.875:53

DOI: 10.31376/2410-0897-2025-1-57-133-142

## УПРОВАДЖЕННЯ STEM-ОСВІТИ В НАВЧАЛЬНИЙ ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

### Кухарчук Роман Павлович

кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри фізико-математичної освіти та інформатики

*Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка*

e-mail: kuxap4yk1@ukr.net

ORCID ID: 0000-0002-7588-7406

### Рябко Андрій Вікторович

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізико-математичної освіти та інформатики

*Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка*

e-mail: ryabko@meta.ua

ORCID ID: 0000-0001-7728-6498

### Заїка Оксана Володимирівна

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізико-математичної освіти та інформатики

*Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка*

e-mail: ksuwazaika@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-8479-9408

### Вакалюк Тетяна Анатоліївна

доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

e-mail: tetianavakaliuk@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-6825-4697

*У статті розглянуто актуальність упровадження STEM-освіти в сучасний освітній процес як засобу формування компетентностей, необхідних для успішної професійної діяльності в умовах цифрової трансформації. Проаналізовано основні концепції STEM-підходу, що поєднує науку, технології, інженерію та математику через інтеграцію теоретичних знань із практичним застосуванням. Особливу увагу приділено використанню цифрових платформ і робототехнічних систем, зокрема Arduino, у навчальному фізичному експерименті. Розглянуто зарубіжний досвід реалізації STEM-освіти та особливості його впровадження в освітній простір України. Наведено огляд сучасних цифрових лабораторій і платформ, таких як Einstein™, LabDisc, LabQuest 2, їх переваги та недоліки. Визначено перспективи використання платформи Arduino як більш доступного та гнучкого інструменту для організації дослідницької діяльності учнів у фізичному експерименті. Обґрунтовано значущість робототехнічного компоненту STEM-освіти, що сприяє розвитку критичного мислення, креативності, навичок командної роботи та інженерного мислення. Запропоновано методичні підходи до інтеграції Arduino в освітній процес, що дає змогу підвищити якість засвоєння матеріалу та зацікавленість учнів у науково-технічній діяльності. Акцентовано увагу на необхідності розробки та вдосконалення методичних підходів для ефективного використання STEM-технологій у навчанні.*

**Ключові слова:** STEM-освіта, робототехніка, цифрові лабораторії, Arduino, навчальний фізичний експеримент, інтеграція дисциплін, дослідницька діяльність, інноваційні методики навчання.

**Постановка проблеми.** Сучасний ринок праці вимагає фахівців з глибокими знаннями в галузі науки, техніки, інженерії та математики. Освіта в рамках STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) допомагає учням розвивати навички, які забезпечують їх конкурентоспроможність на ринку праці. STEM – це освітня технологія, заснована на ідеї навчання учнів за чотирма дисциплінами, використовуючи міждисциплінарний і прикладний підхід. Замість того, щоб викладати чотири дисципліни як окремі предмети, STEM об'єднує їх в єдину парадигму навчання, засновану на реальному практичному застосуванні.

Упровадження STEM-освіти в освітній процес є важливим і актуальним, бо сучасний світ стрімко змінюється під впливом технологій, а ринок праці вимагає від фахівців не лише глибоких теоретичних знань, а й практичних навичок у сфері науки, інженерії, технологій та математики. STEM-підхід допомагає учням і студентам навчатися через дослідження, експерименти та реальні проекти, що сприяє розвитку критичного мислення, творчості та вміння розв'язувати комплексні проблеми. Інтеграція різних дисциплін у навчанні дозволяє створювати міжпредметні зв'язки, формуючи цілісне розуміння наукових і технічних процесів, що особливо важливо в умовах цифрової трансформації, коли автоматизація, програмування та робототехніка стають невід'ємною частиною різних галузей. Завдяки STEM-освіті учні не лише опановують сучасні технології, а й вчаться працювати в команді, аналізувати дані та приймати зважені рішення, що робить їх конкурентоспроможними в майбутньому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розвинені країни вчасно звернули увагу на перспективи

STEM-технологій. Австралія, Великобританія, Ізраїль, Китай, Корея, Сінгапур, Сполучені Штати Америки вже давно впроваджують державні програми в галузі STEAM-освіти.

Теоретичний дискурс проблеми STEM-освіти висвітлено в працях закордонних вчених: George Lucas, Georgette Yakman, Harald Lesch, Jonathan W. Gerlach. Україна не може бути осторонь цих процесів, тому питання впровадження STEAM-освіти в освітній процес вивчають і вітчизняні науковці: О. Барн, Н. Балик [1], І. Василяшко [2], В. Величко, С. Галата, О. Гірний [3], О. Гриб'юк [4], С. Горбенко, С. Доценко [5], О. Коршунова, Н. Морзе, Н. Олефіренко [9], О. Патрикєєва, І. Сальник [11], Н. Сороко [12], О. Стрижак [13], О. Струтинська [13; 14; 15], Толоконнікова [16] тощо.

Науковці досліджують наявні проблеми і перспективні напрями розвитку STEM-освіти, розкривають особливості використання нетрадиційних освітніх технологій у STEM, висвітлюють проблеми STEM-підготовки вчителів та викладачів тощо.

Популярність STEM-освіти у світі зумовила появу різноманітних варіантів самої аббревіатури та її різних модифікацій, зокрема: ESTEM (environment – довкілля), STREM (robotics – робототехніка), STEMM (Medicine – медицина), STEAM (arts – мистецтва), STREAM (religion – релігія та arts – мистецтва), METALS (arts – мистецтва та logic – логіка) [3].

Одним із перспективних напрямів STEM є STREM (Science, Technology, Robotics, Engineering and Mathematics), де робототехніка виступає центральним компонентом серед інших елементів STEM та займається розробкою та впровадженням автоматизованих технічних систем [23].

Вивченню проблем впровадження елементів робототехніки в сучасну освіту присвячено праці багатьох зарубіжних учених: D. Alimisis [19], T. Atwood [21], A. Bredendfeld, S. Crowe [22], A. Eguchi [24], J. Flot [26], A. Hofmann, A. Litinas, A. Lui [26], L. Negrini [30], A. Ortiz, C. Schunn [26], R. Shoop [26], E. M. Silk, G. Steinbauer тощо.

D. Alimisis представляє навчальну програму для вчителів, розроблену в контексті проекту ERASMUS+ ROBOESL, яка розкриває методології навчання на основі робототехніки, основані на принципах проектного навчання та впроваджені в рамках освітньої діяльності проекту ROBOESL, який є інноваційним у сфері освітньої робототехніки, бо представляє її як навчальний інструмент для дітей із ризиком неуспішності навчання. Метою проекту є залучення учнів, яким загрожує шкільна неуспішність, у привабливе освітнє середовище, яке може відновити впевненість, самооцінку, соціальні навички та, зрештою, запропонувати шлях до подальшого навчання [19].

Учені з США організували Академію робототехніки Інститута Карнегі-Меллона (CMRA – Carnegie Mellon's Robotics Academy) і розробили комплекси освітніх програм для учнів 10–17 років, у яких розглядаються вступні матеріали з програмування роботів для апаратних платформ LEGO, VEX та Arduino, навчальні матеріали з програмування мовами для відповідних платформ, математики роботів, науки про роботів, вступної інженерії середнього рівня тощо [21].

У 2010 році Джеймс Каффнер (James Kuffner) увів новий термін «хмарна робототехніка», що передбачав нові способи застосування хмарних технологій, зокрема платформи Google Cloud Robotics. Вона поєднує штучний інтелект, робототехніку та хмарні технології, щоб забезпечити відкриту екосистему рішень автоматизації, які використовують спільних роботів, підключених до хмари. Послуги штучного інтелекту та машинного навчання пропонують непередбачуваний фізичний світ, забезпечуючи ефективну роботизовану автоматизацію у високодинамічних середовищах [22, 27].

Amy Eguchi, американська дослідниця, у своїх працях доводить важливість інтеграції освітньої робототехніки як технологічного інструменту навчання в освітні програми для учнів і пояснює, яким чином знання робототехніки допомагають їм підготуватися до майбутнього [24].

Команда дослідників із Швейцарії розробила пілотний проєкт PReSO за участю учителів дошкільної та початкової школи для ознайомлення дітей з комп'ютерним мисленням та виховання інтересу до ІКТ та дисциплін STEM за допомогою навчальної робототехніки. Для цього дослідницька група розробила концепцію підготовки вчителів з освітньої робототехніки та підготувала вчителів, більшість яких інтегрували робототехніку у свою річну програму [30].

Дослідники з Carnegie Mellon University (CMU) припускають, що середовище моделювання для роботів є кращим інструментом для вивчення інформатики, ніж реальний робот. Спільне дослідження між CMU та University of Pittsburgh (PITT) продемонструвало кращу ефективність навчання програмуванню, якщо вчителі використовували середовище з імітацією роботів, а не реальні фізичні роботи [26].

Аналіз наукових досліджень провідних науковців, вивчення їхнього досвіду засвідчують необхідність удосконалення і доповнення розробками методичної системи реалізації STEM-освіти в Україні на основі вивчення та впровадження передового зарубіжного досвіду та апробованих практик STEM-освіти.

**Метою статті** є обґрунтування методики впровадження STEM-технологій з використанням

сучасних цифрових платформ, зокрема Arduino, у навчальний фізичний експеримент.

**Виклад основного матеріалу.** Вивчення елементів робототехніки є передумовою для якісної підготовки сучасної молоді до конструювання, програмування та використання автоматизованих систем. Отже, робототехніка є одним із напрямів розвитку сучасної STEM-освіти. Навчання за допомогою робототехніки надає змогу учням і студентам вирішувати реальні життєві проблеми, які потребують знань STEM-предметів. Підвищення ефективності навчання відбувається через інтеграцію теорії з практикою, розвиток дослідницьких навичок, формування міжпредметних зв'язків та впровадження STEM-методів.

Фізика є важливою складовою природничих наук, формує науковий світогляд та природничо-наукову картину світу. Однією з ключових складових шкільного курсу фізики є система знань, яка включає факти та методи їх встановлення, необхідні для обґрунтування основних положень теорій, що вивчаються. Процес пізнання дійсності передбачає тісний взаємозв'язок між теорією та експериментом, який має діалектичний характер.

Теорія описує ідеалізовані об'єкти та має свої межі застосування, вимагаючи дотримання певних умов і розробляється для пояснення експериментальних результатів та передбачення нових явищ. Критерієм істинності знань є фізичний експеримент, але важливо розуміти, що експеримент не розкриває суті явищ, а дає можливість досліднику перевірити положення теорії. Отже, теорія та практика є взаємопов'язаними.

Важливо, що поєднання теоретичного і практичного методів характеризує STEM-освіту. На відміну від традиційного методу навчання, що передбачає засвоєння теоретичних знань, а потім їх закріплення практикою, STEM пропонує поступове ускладнення практичних завдань для активного освоєння нових знань у процесі їх виконання. Процес реалізації впровадження STEM-технологій можливий завдяки популярним цифровим лабораторіям, зокрема:

- цифрова лабораторія Einstein™ для кабінету фізики передбачає використання різних цифрових датчиків, за допомогою яких можна проводити широкий спектр досліджень, демонстраційних, лабораторних робіт та проєктів. Включає в себе реєстратор даних LabMate+ – легкий, бездротовий реєстратор даних, оснащений вбудованими датчиками (тиску, освітленості, вологості, ультрафіолетового випромінювання, температури навколишнього середовища, ЧСС) [25];

- мобільна природничо-наукова лабораторія «LabDisc» з мультисенсорним реєстратором даних для проведення дослідів з фізики, хімії та біології. У комплекті більше десятка датчиків: напруга, струм, освітленість, тиск повітря, температура, температура навколишнього середовища, рН, відстань, відносна вологість, мікрофон, рівень звуку, GPS, універсальний вхід [18];

- LabQuest 2 – це найбільш потужне універсальне рішення для збору даних, доступне для навчання STEM. Багатофункціональний портативний інтерфейс для збору даних з підключених датчиків та обробки інформації, призначений для використання в освітніх закладах для проведення практичних лабораторних робіт та власних навчальних експериментів в класі та за його межами [29].

Недоліком вищезазначених комплектів є закриті програмне забезпечення, що зумовлене комерційними вигодами виробників. Цей факт унеможливує внесення змін у процес введення та виведення даних, управління приладом тощо. Унаслідок цього виникає ще одна проблема – обмеження у використанні власних алгоритмів для обробки результатів та отримання даних, які не передбачені функціоналом програми. Крім того, вартість лабораторій відносно висока.

Процес модернізації природничо-математичного профілю освіти можливий і з більш доступними апаратно-програмними комплексами, зокрема на платформі Arduino. Вона надає можливість вчителю органічно поєднати фізику, математику, інформатику, робототехніку.

Arduino – це сімейство різноманітних технологій та відкритої платформи, у яку входять як апаратні пристрої (плати контролерів й сумісне обладнання), так і програмне забезпечення, призначене для управління електронними схемами. Arduino – це інфраструктура й середовище, у якому можна збирати сумісні між собою електронні і механічні компоненти в єдиний пристрій, а потім запрограмувати поведінку цих пристроїв. Програма дозволяє управляти не віртуальними об'єктами, а реальними давачами, двигунами, світловими індикаторами, екранами тощо.

Повне освоєння платформи Arduino вимагає від учня установок конкретної цілі та завдань на уроках фізики, описів програм у безкоштовному середовищі Arduino IDE – однієї з актуальних мов програмування на основі C/C++.

Освоєння програмування в середовищі Arduino IDE та наступне спільне застосування програм і датчиків для вимірювання фізичної величини в лабораторному практикумі сприяє формуванню в школярів навичок, необхідних для інженерної професії. Отримані за допомогою датчиків дані можна аналізувати традиційним для фізичного практикуму способом, формуючи навички проведення фізичного експерименту. Сигнал від датчиків можна направляти в інші схеми та конструкції, що дозволяє розширювати можливості розвитку учнівських проєктів у галузі технічного конструювання та автоматизації.

Програмування плати для роботи датчиків можна організувати на уроках інформатики; зняття даних – під час уроків фізики. Проте доцільніше проведення інтегрованого уроку або на позакласних заняттях.

У традиційній методиці й техніці проведення навчального фізичного експерименту тематиці механічних коливань та хвиль приділяється значна увага [7, 8, 10, 17].

Процес визначення швидкості звуку в повітрі можливо здійснити кількома методами.

**1. Метод відбивання звуку від перешкоди.** У цьому методі використовується генератор звукового імпульсу та мікрофон. Генератор створює короткий звуковий імпульс, який відправляється в повітря. Мікрофон знаходиться на відомій відстані від джерела звуку і реєструє відбитий сигнал, який повертається від перешкоди або поверхні. За допомогою вимірювання часу між відправкою імпульсу та отриманням відбитого сигналу можна обчислити швидкість звуку в повітрі.

**2. Метод резонансу.** У цьому методі використовується коливальна система, наприклад, струна або труба. За допомогою джерела звуку створюється звуковий сигнал з відомою частотою, який викликає коливання в системі. Змінюючи частоту звукового сигналу, досягаються резонансні коливання в системі. За допомогою вимірювання частоти та довжини коливань можна обчислити швидкість звуку в повітрі.

**3. Метод інтерференції.** У цьому методі використовуються два джерела звуку, які створюють хвилі з однаковою амплітудою та частотою. Хвилі поширюються в протилежних напрямках та накладаються одна на одну. За допомогою вимірювання відстані між джерелами та спостереженням інтерференційних смуг на спеціальній пластині або екрані можна обчислити швидкість звуку в повітрі.

У наведених вище методах вимірювання швидкості звуку використовуються звукові явища, такі як відбивання звуку, резонанс та інтерференція. Отримані дані використовуються для обчислення швидкості звуку в повітрі на основі фізичних законів та формул. У процесі проведення дослідження студенти активно залучаються до експерименту, спостерігають за фізичними явищами та розвивають навички вимірювань, обробки даних та аналізу результатів. Описані вище методи вимагають відповідних пристроїв та установок, таких як генератори звуку, мікрофони, коливальні системи, пластини, екрани для інтерференції тощо.

Наголосимо, STEM-технології можна застосувати в різних видах діяльності, бо для цього не завжди потрібні дороговартісні лабораторії та обладнання. Базові інженерні навички вже формуються, коли учень буде лабораторну установку з підручних матеріалів. Тому використання Arduino та ультразвукового датчика HC-SR04 може бути альтернативою для проведення експерименту, що спрощує технічну реалізацію та робить його більш доступним для навчання.

Обладнання, необхідне для виконання роботи: Arduino-сумісний мікроконтролер (наприклад, Arduino Nano), ультразвуковий датчик HC-SR04, дисплей LCD1602, універсальна плата розширення Arduino Nano I/O Shield, джампер-проводи та комп'ютер для програмування мікроконтролера.

Цифрову обробку даних здійснюватиме **Arduino Nano** – це компактна плата з мікроконтролером, яка функціонує на технології Arduino. Вона є однією з найменших та найпопулярніших моделей Arduino. Arduino Nano має багато вбудованих функцій, які роблять його високофункціональним і зручним для використання у проектах з електроніки та програмування [20].

**Ультразвуковий датчик HC-SR04** – це недорогий та популярний датчик відстані, який використовує ультразвукові хвилі для вимірювання відстані між датчиком та об'єктом. Він часто використовується в проектах робототехніки, IoT та автоматизації (рис. 1).

Принцип роботи: датчик використовує ультразвукові хвилі для вимірювання відстані. Він надсилає короткий звуковий імпульс у діапазоні від 40 до 200 кГц і вимірює час, який затрачається на відбиття сигналу від об'єкта та повернення до датчика. Датчик може вимірювати відстань від 2 до 400 сантиметрів. Час вимірюється з точністю до мікросекунди. Датчик HC-SR04 легко підключається та програмується. Використовуючи певні послідовності сигналів на Trig піні та вимірюючи час затримки на Echo піні, можна визначити відстань до об'єкта [28].

**Рідкокристалічний дисплей (LCD) 1602A** є одним з найпоширеніших та простих у використанні типів LCD-дисплеїв. Він складається з 16 символних стовпців і 2 рядків. Дисплей LCD 1602A забезпечує простий та зручний спосіб відображення інформації в проектах. Він може бути використаний для відображення тексту, чисел, стану сенсорів або будь-якої іншої інформації, що допомагає користувачам отримувати візуальний вихід зі своїх пристроїв.

**Універсальна плата розширення Arduino Nano I/O Shield** – це плата розширення для зручного підключення периферійного обладнання до Arduino Nano. На платі зручно розведені роз'єми для

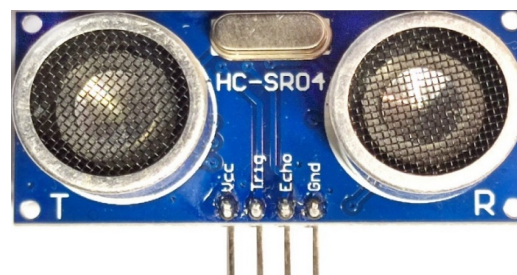


Рис. 1. Ультразвуковий датчик HC-SR04

підключення цифрових та аналогових датчиків, порти UART, 2С, а також є стабілізатор на 3,3 В та роз'єми для живлення пристроїв. За необхідності може використовуватися як Sensor Shield для плат стандартного форм-фактора Arduino, для чого на ньому передбачені місця під пайку відповідних PLS-планок.

Ультразвуковий сигнал випромінюється джерелом звуку (Trig) і поширюється від нього із розбіжністю 15 градусів. Досягаючи перешкоду, звук відбивається від поверхні і повертається до приймача звуку (Echo). Випромінювач і приймач технологічно виготовлені на одній платформі (датчик HC-SR04). Мікроконтролер опрацьовує дані і на дисплеї LCD1602 виводиться час проходження ультразвуку від випромінювача до перешкоди і назад у мікросекундах. Знаючи відстань і час, можна легко обчислити швидкість звуку за формулою:

$$v = \frac{2S}{t}, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість звуку (м/с),  $S$  – відстань від джерела звуку до перешкоди (м),  $t$  – час проходження ультразвуку від випромінювача до перешкоди і назад (с).

Теорія і практика проведення даного дослідження об'єднує три освітні компоненти: фізику, математику та інформатику. До фізичної компоненти варто віднести: знання основ механічних коливань та хвиль, їх властивостей, складання електронних схем, вміння проводити фізичний експеримент. До математичної компоненти – креслення графіків залежностей між фізичними величинами, математична обробка інформації. До інформатичної складової – основи роботи із електронним таблицями, програмування мікроконтролера.

Навчальний фізичний експеримент з вимірювання швидкості звуку в повітрі може бути проведений за таким планом:

1. *Підготовка до проведення експерименту.* Підготуйте необхідне обладнання і матеріали. Складіть схему установки за рис. 2. Перевірте правильність підключення виводів trigPin і echoPin до відповідних пінів мікроконтролера. Завантажте та встановіть необхідне програмне забезпечення (Arduino IDE) для програмування мікроконтролера (за необхідності).

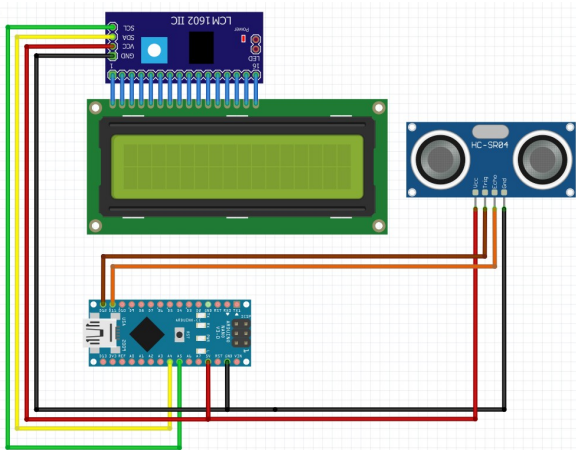


Рис. 2. Принципова схема для проведення експерименту

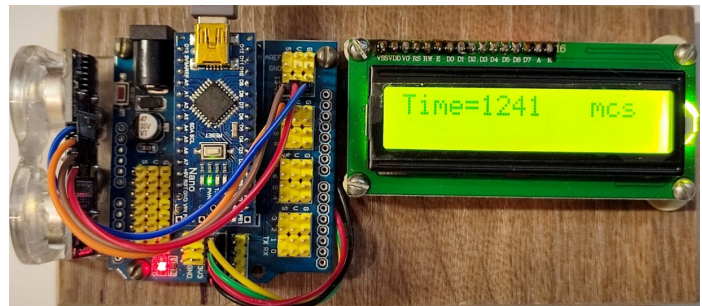


Рис. 3. Зовнішній вигляд установки для дослідження швидкості звуку в повітрі

2. *Написання програми для мікроконтролера.* Відкрийте Arduino IDE та створіть новий проект. Напишіть програму, у якій використовуються функції для взаємодії з ультразвуковим датчиком HC-SR04, обробки результатів та виведення інформації на дисплей LCD1602A. Завантажте програмний код у мікроконтролер.

Програмний код для мікроконтролера:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
const int trigPin = 12;
const int echoPin = 11;
long duration;

void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  lcd.init();
```

```

    lcd.backlight();
    }
    void loop() {
    digitalWrite(trigPin,LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin,HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin,LOW);

    duration = pulseIn(echoPin,HIGH);

    lcd.init();
    lcd.setCursor(0,0); lcd.print(«Time=«);
    lcd.setCursor(5,0); lcd.print(long(duration));
    lcd.setCursor(12,0); lcd.print(«mcs»);

    delay(1000);
    }
    
```

3. *Виконання експерименту.* Розмістіть ультразвуковий датчик HC-SR04 на відомій відстані від перешкоди, від якої ви хочете виміряти відстань (наприклад, починаючи з 5 см). Запустіть програму на мікроконтролері та спостерігайте за виведеними результатами на екрані LCD1602A. Результати занесіть до таблиці. Повторіть вимірювання для різних відстаней (пропонуємо змінювати відстань по 5 см) та обробіть отримані результати. Побудуйте графік залежності часу проходження ультразвуку від відстані до перешкоди.

Зразок виконання роботи наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Залежність часу проходження ультразвуку від відстані до перешкоди**

Distance, m	Time, mks	Speed, m/s
0,05	295	338,98
0,10	579	345,42
0,15	885	338,98
0,20	1164	343,64
0,25	1452	344,35
0,30	1737	345,42
0,35	2043	342,63
0,40	2325	344,09
0,45	2621	343,38
0,50	2867	348,80
0,55	3185	345,37
0,60	3498	343,05
0,65	3745	347,13
0,70	4015	348,69

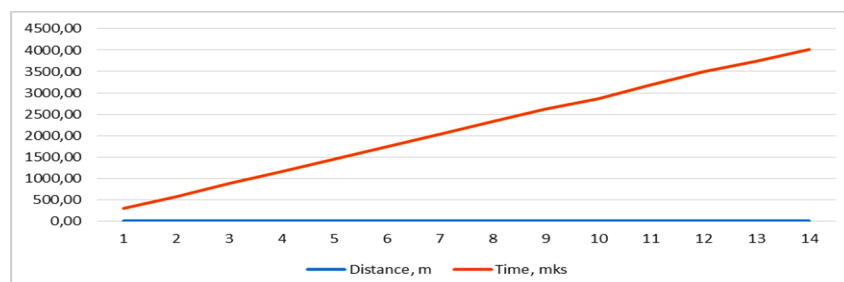


Рис. 7. Графік залежності часу проходження ультразвуку від відстані до перешкоди

4. *Аналіз та обговорення результатів.* Знайдіть похибку вимірювання. Визначте похибку вимірювання. Поясніть причини похибок та джерела неточностей вимірювань. Розгляньте можливі варіанти отримання результатів визначення швидкості звуку залежно від умов експерименту та зовнішніх факторів. Зробіть висновки.

Таблиця 2

**Розрахунок похибки вимірювань**

Distance, m	Time, mks	Speed, m/s	$v_i - v_{\text{сеп}}$	$(v_i - v_{\text{сеп}})^2$
0,05	295	338,98	-4,96	24,60
0,10	579	345,42	1,48	2,19
0,15	885	338,98	-4,96	24,60
0,20	1164	343,64	-0,30	0,09
0,25	1452	344,35	0,41	0,17
0,30	1737	345,42	1,48	2,19
0,35	2043	342,63	-1,31	1,71
0,40	2325	344,09	0,14	0,02
0,45	2621	343,38	-0,56	0,32
0,50	2867	348,80	4,85	23,56
0,55	3185	345,37	1,43	2,03
0,60	3498	343,05	-0,89	0,79
0,65	3745	347,13	3,19	10,16
0,70	4015	348,69	4,75	22,56
<b>Maximum speed, m/s</b>		<b>348,80</b>		
<b>Minimum speed, m/s</b>		<b>338,98</b>		
<b>Average speed, m/s</b>		<b>343,94</b>		
<b>n</b>		<b>14</b>		
			$\sum(v_i - v_{\text{сеп}})^2$	114,99
			$\sigma_v$	2,87
			$\alpha$	0,8
			$t_\alpha$	1,3
			$t_\alpha \cdot \sigma_v$	3,73

$$v = v_{\text{сеп}} \pm t_\alpha \cdot \sigma_v$$

$$v = 343,94 \pm 3,73 \text{ m/s}$$

Наведена вище лабораторна робота є лише прикладом освітніх дослідницьких проєктів, до яких можна віднести: «Визначення прискорення вільного падіння», «Дослідження газових законів у шкільному курсі фізики з використанням мікроконтролера Arduino», «Експериментальне дослідження законів освітленості за допомогою контролера Arduino», «Вивчення впливу температури на вологість повітря за допомогою платформи Arduino», «Створення оксиметра на основі платформи Arduino», «Фізичні основи регулятора вологості ґрунту як елемента smart-будинку» тощо.

Розробка і реалізація проєктів відбувалася на гурткових заняттях з учнями старших класів, учасниками МАН України Глухівського МЦПО, а також з майбутніми вчителями фізики – студентами Глухівського НПУ ім. О.Довженка, які здобувають освіту за спеціальністю 014.08 Середня освіта (Фізика), у процесі вивчення дисциплін «Методика навчання фізики», «Практика зі шкільного фізичного експерименту» та «Основи сучасної електроніки».

**Висновки.** Навчальний фізичний експеримент є вагомою органічною частиною шкільного курсу фізики і одночасно важливим методом навчання. У зв'язку з цим особливого значення набувають експерименти, які дають можливість вимірювати, встановлювати кількісні співвідношення між величинами у вигляді функцій, рівнянь тощо. Фізичний експеримент надає можливість учням вивчати та розуміти фізичні принципи шляхом активного дослідження та виконання практичних завдань. STEM-технології, які можуть включати апаратне та програмне забезпечення, сенсори, мікроконтролери та інші пристрої, допомагають учням збирати, аналізувати та візуалізувати дані, автоматизувати процеси, моделювати та симулювати фізичні явища.

На нашу думку, учителі повинні приділяти значну увагу умовам креативного підходу до навчання, бо цей підхід передбачає перебування учнів в умовах роботи науково-дослідницької лабораторії. Реалізація цього принципу тісно пов'язана із сучасними освітніми технологіями, зокрема STEM-технологіями. Це розширює можливості досліджень, сприяє розвитку критичного та творчого мислення, розумінню зв'язку фізики з реальним світом, а також розвитку навичок STEM, зокрема аналіз даних, програмування, інженерна грамотність та співпраця в команді. Отже, STEM-технології допомагають зробити фізичні експерименти більш ефективними, цікавими та актуальними для учнів, а також підтримують їх розвиток у сучасному технологічному світі.

Розробку і впровадження творчих STEM-проєктів на основі платформи Arduino можна ефективно впроваджувати в освітній процес ЗЗСО, позашкільних закладах освіти, педагогічних ЗВО в межах таких дисциплін, як «Інформатика», «Програмування», «Методика навчання інформатики», «Методика навчання фізики», «Загальна фізика», «Основи сучасної електроніки», «Основи робототехніки» тощо.

### Список використаної літератури

1. Барна О., Балик Н. Впровадження STEM освіти у навчальних закладах: етапи та моделі. *STEM-освіта та шляхи її впровадження в навчально-виховний процес: I регіон. наук.-прак. вебконф.* Тернопіль, 2017. С. 3–8. URL: <http://elar.ippo.edu.te.ua:8080/bitstream/123456789/4559/1/Varna.pdf>.
2. Василяшко І., Булавська Л. STEM-школа: від ідеї до реалізації. *Збірник матеріалів зимової дистанційної сесії «STEM-школа – 2020»*. Київ: Видавничий дім «Освіта», 2020. С. 4–10.
3. Гірний О. Тепер у нас «ВСЕ БУДЕ STEM»? Ч. 1. URL: <http://www.osvitaua.com/2017/03/050945-p-005-2-2/> (дата звернення: 20.01.2025).
4. Гриб'юк О. О., Юнчик В. Л. Розв'язування евристичних задач в контексті STEM-освіти з використанням системи динамічної математики GeoGebra. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*, 2015. Вип. 27. С. 138–155.
5. Доценко С. О. STEM-освіта: науковий дискурс та освітні практики. *Рідна школа*, 2021. № 3.
6. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>. (дата звернення: 20.01.2025).
7. Коршак Є. В., Миргородський Б. Ю. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту: практикум. Київ: Вища школа, 1981. 280 с.
8. Миргородський Б. Ю., Шабаль В. К. Демонстраційний експеримент з фізики. Коливання і хвилі. Київ, 1985. 168 с.
9. Олефіренко Н. В., Андрієвська В. М., Носова В. В. Світовий досвід запровадження STEM-технологій в освіту. *Фізико-математична освіта*. 2020. Вип. 3(25). Ч. 1. С. 62–67.
10. Савченко В. Ф., Бойко М. П., Дідович М. М., Закалюжний В. М., Руденко М. П. Навчальний фізичний експеримент (методичний практикум): навч. посіб. для учнів / заг. ред. В.Ф. Савченка. Чернігів: ЧНПУ ім. Т. Г. Шевченка, 2010. 540 с.
11. Сальник І. В., Соменко Д. В., Сірик Е. П. Використання платформи ARDUINO у підготовці вчителів фізики до STEM орієнтованого навчання. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2023, Т. 95, № 3. С.124–142. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v95i3.5155>.
12. Сороко Н. В. Проблема створення STEAM-орієнтованого освітнього середовища для розвитку інформаційно-цифрової компетентності вчителя основної школи. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2018. Вип.170. С. 169–177.
13. Стрижак О. Є., Сліпучіна І. А., Полісун Н. І., Чернецький І. С. STEM-освіта: основні дефініції. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2017. Т. 62. № 6. С. 16–33. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v62i6.1753>.
14. Струтинська О. В. Теоретико-методичні засади підготовки майбутніх учителів інформатики до навчання освітньої робототехніки в закладах середньої освіти: монографія. Київ: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова. 2020. 505 с.
15. Струтинська О. В., Василюк А. Д. Навчання освітньої робототехніки в українських школах: напрями впровадження. *Інженерні та освітні технології*. 2019. Т. 7. № 3. С. 122–138. URL: [http://eetecs.kdu.edu.ua/2019\\_03/EETECs2019\\_007\(3\)\\_11.pdf](http://eetecs.kdu.edu.ua/2019_03/EETECs2019_007(3)_11.pdf)
16. Толоконнікова Н., Васильків О. Застосування ІКТ у реалізації STEM-освіти на уроках природничого циклу. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. 2017. Вип. 11(IV), С. 99–103.
17. Чепуренко В. Г. Лабораторні роботи з фізики в середній школі: посібник для учнів 8–10 класів. Київ: Радянська школа, 1957. 260 с.
18. A LABDISC configuration for every science. URL: <https://globisens.net/products/> (дата звернення: 20.01.2025).
19. Alimisis, D. (2019). Teacher Training in Educational Robotics: The ROBOESL Project Paradigm. *Technology, Knowledge and Learning*. Vol. 24, Issue 2, pp 279-290. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9357-0>.
20. ARDUINO NANO. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>. [in English].
21. Atwood, T. (2010). Carnegie Mellon Launches a Mega Million Dollar Robotics Education Initiative. *Robot Magazine*, 11/12, 64-70. [in English].
22. Crowe, S. Google Cloud Robotics Platform coming to developers in 2019. URL: <https://www.therobotreport.com/google-cloud-robotics-platform/>. [in English].
23. David, P. Miller, Illah R. Nourbakhsh, Roland Siegwart. Robots for Education. *Springer Handbook of Robotics*. URL: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-540-%20%20%2030301-5\\_56](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-540-%20%20%2030301-5_56). [in English].
24. Eguchi, A. (2014). Robotics as a Learning Tool for Educational Transformation. *Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education, Padova (Italy)*, pp.24-37. URL: [https://www.terecop.eu/TRTWR-RIE2014/files/00\\_WFr1/00\\_WFr1\\_04.pdf](https://www.terecop.eu/TRTWR-RIE2014/files/00_WFr1/00_WFr1_04.pdf). [in English].
25. Einstein™. URL: <https://einsteinworld.com/ew/>. [in English].
26. Flot, J., Schunn, C., Lui, A., & Shoop, R. (2012). Learning how to program via robot simulation. *Robot Magazine*, 37, pp. 68-70. Retrieved from: [https://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2012/11/EDU\\_BOTS\\_Programming\\_through\\_Sim-cds1.pdf](https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2012/11/EDU_BOTS_Programming_through_Sim-cds1.pdf). [in English].
27. Google Cloud. Google's Cloud Robotics [Video]. YouTube. Retrieved from: <https://www.youtube.com/watch?v=eo8MzGIYGzs>. [in English].
28. HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module User Guide. URL: <https://www.handsontec.com/dataspecs/HC-SR04-Ultrasonic.pdf>. [in English].
29. LabQuest 2. URL: <https://www.vernier.com/product/labquest-2/>. [in English].
30. Negrini, L. Teacher Training in Educational Robotics. An Experience in Southern Switzerland: The PReSO Project. In: Lepuschitz W., Merdan M., Koppensteiner G., Balogh R., Obdržálek D. (eds). *Robotics in Education. Methods and Applications for Teaching and Learning*. Springer, pp. 92-97. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97085-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97085-1_10). [in English].

## IMPLEMENTATION OF STEM EDUCATION INTO AN EDUCATIONAL PHYSICAL EXPERIMENT

**Kukharchuk Roman**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics and Mathematics Education and Informatics

*Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University*

**Riabko Andrii**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Mathematics Education and Informatics

*Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University*

**Zaika Oksana**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Mathematics Education and Computer Science

*Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University*

**Vakaliuk Tetiana**

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Software Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University

**Introduction.** *The article examines the relevance of implementing STEM education in the modern educational process as a means of developing competencies necessary for successful professional activity in the context of digital transformation. The main concepts of the STEM approach, which integrates science, technology, engineering, and mathematics by combining theoretical knowledge with practical application, are analyzed. The role of STEM education in preparing future professionals for work in conditions of rapid technological change, as well as its significance for fostering innovative thinking and an interdisciplinary approach to learning, is determined.*

**Purpose.** *The study aims to determine the effectiveness of using digital platforms and robotics systems, particularly Arduino, in educational physics experiments, as well as to explore the specifics of implementing STEM education in Ukraine's educational space. The possibilities of adapting STEM methodologies to the curricula of general educational institutions and their potential for increasing students' motivation to study natural sciences are analyzed.*

**Methods.** *The study employs methods of literature analysis, comparative analysis of international STEM education implementation experiences, an overview of modern digital laboratories and platforms, and the practical application of the Arduino platform in the educational process. An empirical study was conducted to assess the effectiveness of using Arduino in educational physics experiments through the analysis of students' performance in practical tasks and their level of engagement.*

**Results.** *The study identifies the prospects of using the Arduino platform as an accessible and flexible tool for organizing students' research activities in physics experiments. The importance of the robotics component of STEM education for developing critical thinking, creativity, teamwork skills, and engineering thinking is substantiated. Methodological approaches to integrating Arduino into the educational process are proposed, enabling improved material comprehension and increased student interest in scientific and technical activities. It is found that the use of digital laboratories contributes not only to enhancing knowledge levels but also to developing independent research skills and the practical application of acquired knowledge.*

**Conclusion.** *The necessity of developing and improving methodological approaches for the effective use of STEM technologies in education is emphasized. The use of digital laboratories and robotics platforms promotes the formation of research competencies and enhances the educational process. The study concludes that integrating STEM methodologies into curricula holds significant potential for improving education quality and preparing students for the challenges of the modern world.*

**Key words:** *STEM education, robotics, digital laboratories, Arduino, educational physics experiment, interdisciplinary integration, research activities, innovative teaching methodologies.*

### References

1. Barna, O., Balyk, N. (2017). Vprovadzhennia STEM osvity u navchalnykh zakladakh: etapy ta modeli» [Implementation of STEM education in educational institution : stages and models]. Ternopil, 3-8. URL: <http://elar.ippo.edu.te.ua:8080/bitstream/123456789/4559/1/Barna.pdf>. [in Ukrainian].
2. Vasylyashko I., Bulavska L. (2020). STEM-shkola: vid idei do realizatsii [STEM-school: from idea to realization]. *Zbirnyk materialiv zymovoi dystantsijnoji sesiji «STEM-shkola – Collection of materials of the winter distance session «STEM-school»*, 4-10. [in Ukrainian].
3. Hirnyi, O. Teper u nas «VSE BUDE STEM»? 1 chastyna / O. Ghirnyj // [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.osvitaua.com/2017/03/050945-p-005-2-2/>. [in Ukrainian].
4. Hrybiuk, O.O., Yunchyk, V.L. (2015). Rozviazuvannia evrystychnykh zadach v konteksti STEM-osvity z vykorystanniam systemy dynamichnoi matematyky GeoGebra [Solving heuristic problems in the context of STEM education using the GeoGebra dynamic mathematics system]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia v pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problem - Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems*, 27, 138-155. [in Ukrainian].
5. Dotsenko S.O. (2021). STEM-osvita: naukovyi dyskurs ta osvितni praktyky [STEM-education: scientific discourse and educational practices]. *Ridna shkola – Native school*. [in Ukrainian].

6. Kontsepsiia rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity) [The concept of development of science and mathematics education]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>. [in Ukrainian].
7. Korshak Ye.V., Myrhorodskiy B.Iu. (1981). Metodyka i tekhnika shkilnoho fizychnoho eksperymentu [Methods and techniques of school physical experiment]. *Vyshcha shkola - Higher school*. [in Ukrainian].
8. Myrhorodskiy, B. Yu., Shabal, V.K. (1895). Demonstratsiyniy eksperyment z fizyky [Demonstration experiment in physics]. *Kolyvannia i khvyli - Oscillations and waves*. [in Ukrainian].
9. Olefirenko, N.V., Andrievska, V.M., Nosova, V.V. (2020). Svitovyi dosvid zaprovadzhennia STEM-tekhnologii v osvitu [World experience of introducing STEM technologies in education]. *Fyzyko-matematychna osvita - Physical and mathematical education*, 3(25), 62-67. [in Ukrainian].
10. Savchenko, V.F., Boiko, M.P., Didovych, M.M., Zakaliuzhnyi, V.M., Rudenko, M.P. (2010). Navchalnyi fizychniy eksperyment (metodychniy praktykum) [Educational physical experiment (methodical workshop)]. Chernihiv: ChNPU im. T.H. Shevchenka. [in Ukrainian].
11. Salnyk I.V., Somenko D.V., Siryk E.P. (2023). Vykorystannia platformy ARDUINO u pidhotovtsi vchyteliv fizyky do STEM oriantovanoho navchannia [Using the ARDUINO platform in the preparation of physics teachers for STEM-oriented learning]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia - Information technologies and learning tools*, 95(3), 124-142. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v95i3.5155>. [in Ukrainian].
12. Soroko, N.V. (2018). «Problema stvorennia STEAM-oriantovanoho osvitnoho seredovyscha dlia rozvytku informatsiino-tsyfrovoi kompetentnosti vchytelia osnovnoi shkoly» [«The problem of creating a STEAM-oriented educational environment for the development of information and digital competence of primary school teachers»]. *Naukovi zapysky - Scientific notes*, 170, 169-177. [in Ukrainian].
13. Stryzhak, O.Ie., Slipukhina, I.A., Polissun, N.I., Chernetskiy, I.S. (2017). STEM-osvita: osnovni definityi [STEM-education: basic definitions]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia - Information technologies and learning tools*, 62(6), 16-33. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v62i6.1753>. [in Ukrainian].
14. Strutyńska, O.V. (2020). *Teoretyko-metodychni zasady pidhotovky maibutnikh uchyteliv informatyky do navchannia osvitnoi robototekhniki v zakladakh serednoi osvity: monohrafiia* [Theoretical and methodological bases of training future computer science teachers to teach educational robotics in secondary education institutions: monograph]. Kyiv. Vyd-vo NPU imeni M.P. Drahomanova. [in Ukrainian].
15. Strutyńska O.V., Vasyliuk A.D. (2019). Navchannia osvitnoi robototekhniki v ukrainskykh shkolakh: napriamy vprovadzhennia [Teaching educational robotics in Ukrainian schools: directions of implementation]. *Inzhenerni ta osvitni tekhnologii - Engineering and educational technologies*, 7(3), 122-138. URL: [http://eetecs.kdu.edu.ua/2019\\_03/EETECs2019\\_007\(3\)\\_11.pdf](http://eetecs.kdu.edu.ua/2019_03/EETECs2019_007(3)_11.pdf). [in Ukrainian].
16. Tolokonnikova, N., Vasylykiv, O. (2017). Zastosuvannia IKT u realizatsii STEM-osvity na urokakh pryrodnychoho tsykladu [Application of ICT in the implementation of STEM education in the lessons of the natural cycle]. *Naukovi zapysky - Scientific notes*, 11 (IV), 99-103. [in Ukrainian].
17. Chepurenko, V.H. (1957). Laboratorni roboty z fizyky v serednii shkoli [Laboratory work in physics in secondary school]. Kyiv: Radianska shkola. [in Ukrainian].
18. A LABDISC configuration for every science. URL: <https://globisens.net/products/> (дата звернення: 20.01.2025).
19. Alimisis, D. (2019). Teacher Training in Educational Robotics: The ROBOESL Project Paradigm. *Technology, Knowledge and Learning*. Vol. 24, Issue 2, pp 279-290. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9357-0>.
20. ARDUINO NANO. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>. [in English].
21. Atwood, T. (2010). Carnegie Mellon Launches a Mega Million Dollar Robotics Education Initiative. *Robot Magazine*, 11/12, 64-70. [in English].
22. Crowe, S. Google Cloud Robotics Platform coming to developers in 2019. URL: <https://www.therobotreport.com/google-cloud-robotics-platform/>. [in English].
23. David, P. Miller, Illah R. Nourbakhsh, Roland Siegwart. Robots for Education. *Springer Handbook of Robotics*. URL: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-540-20202-0\\_30301-5](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-540-20202-0_30301-5). [in English].
24. Eguchi, A. (2014). Robotics as a Learning Tool for Educational Transformation. *Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education, Padova (Italy)*, pp.24-37. URL: [https://www.terecop.eu/TRTWR-RIE2014/files/00\\_WFr1/00\\_WFr1\\_04.pdf](https://www.terecop.eu/TRTWR-RIE2014/files/00_WFr1/00_WFr1_04.pdf). [in English].
25. Einstein™. URL: <https://einsteinworld.com/ew/>. [in English].
26. Flot, J., Schunn, C., Lui, A., & Shoop, R. (2012). Learning how to program via robot simulation. *Robot Magazine*, 37, pp. 68-70. Retrieved from: [https://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2012/11/EDU\\_BOTS\\_Programming\\_through\\_Sim-cds1.pdf](https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2012/11/EDU_BOTS_Programming_through_Sim-cds1.pdf). [in English].
27. Google Cloud. Google's Cloud Robotics [Video]. YouTube. Retrieved from: <https://www.youtube.com/watch?v=eo8MzGIYGzs>. [in English].
28. HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module User Guide. URL: <https://www.handsontec.com/dataspecs/HC-SR04-Ultrasonic.pdf>. [in English].
29. LabQuest 2. URL: <https://www.vernier.com/product/labquest-2/>. [in English].
30. Negrini, L. Teacher Training in Educational Robotics. An Experience in Southern Switzerland: The PReSO Project. In: Lepuschitz W., Merdan M., Koppensteiner G., Balogh R., Obržálek D. (eds). *Robotics in Education. Methods and Applications for Teaching and Learning*. Springer, pp. 92-97. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97085-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97085-1_10). [in English].



Авторське право ©2025 автори, всі права захищено. Автори погоджуються, що ця стаття залишається у відкритому доступі на умовах Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Отримано редакцією 12.02.2025 р.  
Прийнято редакцією 12.03.2025 р.  
Опубліковано 30.04.2025 р.