

УДК 378.147

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-10>

ІНТЕГРАЦІЯ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ РОБОТОТЕХНІКИ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ І ДОСЛІДНИЦЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Садовий Микола Ілліч,

доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри інформаційних та цифрових технологій
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0001-6582-6506

Трифорова Олена Михайлівна,

доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри інформаційних та цифрових технологій
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0002-6146-9844

Колесник Юрій Миколайович,

бакалавр, спеціальність 015 «Професійна освіта (за спеціалізаціями)»,
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0009-0002-5242-4051

Побіяха Софія Олегівна,

бакалавр, спеціальність 015 «Професійна освіта (за спеціалізаціями)»,
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0009-0001-3607-1500

У статті розглядаються інноваційні аспекти методики формування у здобувачів освіти цифрової та дослідницької компетентностей робототехнічними засобами як започаткування новітнього підходу до створення системи фізичного експерименту, що ґрунтується на сучасному обладнанні з використання програмних інструментів та елементів 4G-технологій. Здійснено аналіз досліджень, які відповідають вибраній тематиці, створено установку для дослідження здобувачами освіти явища електромагнітної індукції, де розглядається як природне явище, так і етапи його розвитку, та встановлення закономірностей. Поєднання автоматизованої системи гармонійного коливального руху постійного магніту, системи вимірювання електрорушійної сили та фіксації величини електричного струму, візуалізації графічного розвитку явища на дисплей і моніторингу за його станом у будь-який момент часу дає змогу мотивувати здобувачів освіти до дослідницької та проєктної діяльності, розвивати креативність, інженерного мислення, а в цілому – формувати готовність до безперервного навчання впродовж усього продуктивного періоду життя особистості. Започатковується новітній підхід до формування фізичного експерименту, в основі якого покладено новітнє електронне обладнання, доступні програмні коди, що забезпечує вивчення як сутності явищ (закладених у навчальних програмах), так і їх стан у динаміці. Усе це дає можливість спостерігати конкретні закономірності електромагнітної індукції: наприклад, лінійний або нелінійний характер зміни ЕРС залежно від швидкості руху магніту, вплив форми траєкторії на величину індукованої напруги, або залежність пікових значень ЕРС від відстані між магнітом і витками котушки. Автоматизований експеримент дає змогу фіксувати ці залежності у вигляді стабільних повторюваних графіків, що є недостатнім під час традиційних демонстрацій, де рух є невідтворюваним, а вимірювання надто залежними

© Садовий М. І., Трифорова О. М., Колесник Ю. М., Побіяха С. О., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

від людського фактора. Такий підхід до організації фізичного експерименту на прикладі вивчення електромагнітної індукції дає можливість поширити його основну ідею на створення відповідного обладнання та методики його впровадження в практику і на інші теми навчальних дисциплін.

Ключові слова: цифрова компетентність, дослідницька компетентність, освітній процес, метод проєктів, новітнє цифрове обладнання, фізичний експеримент.

Sadovyi Mykola, Tryfonova Olena, Kolesnyk Yuriy, Pobiakha Sofia. Integration of the physical foundations of robotics and digital technologies as a means of developing learners' digital and research competencies

The article considers innovative aspects of the methodology for developing digital and research competencies in learners through the use of robotic tools as the initiation of a modern approach to creating a system of physical experimentation based on contemporary equipment, software tools, and elements of 4G technologies. An analysis of studies relevant to the chosen topic is carried out, and an experimental setup is developed for learners to investigate the phenomenon of electromagnetic induction, considering it both as a natural phenomenon and through the stages of its development and the identification of underlying regularities. The integration of an automated system of harmonic oscillatory motion of a permanent magnet, a system for measuring electromotive force and recording electric current values, graphical visualization of the phenomenon's development on a display, and continuous monitoring of its state at any moment in time enables the motivation of learners toward research and project-based activities, fosters creativity and engineering thinking, and, overall, contributes to the formation of readiness for lifelong learning throughout the productive period of an individual's life. A novel approach to the organization of physical experimentation is introduced, based on advanced electronic equipment and accessible software codes, which ensures the study of both the essence of physical phenomena (as defined in educational curricula) and their dynamic behavior. This approach makes it possible to observe specific regularities of electromagnetic induction, such as the linear or nonlinear nature of EMF variation depending on the speed of magnet motion, the influence of the trajectory shape on the magnitude of the induced voltage, or the dependence of peak EMF values on the distance between the magnet and the coil turns. Automated experimentation allows these relationships to be recorded in the form of stable, reproducible graphs, which is unattainable in traditional demonstrations where motion is non-reproducible and measurements are highly dependent on the human factor. Such an approach to organizing physical experiments, illustrated by the study of electromagnetic induction, makes it possible to extend its core idea to the development of appropriate equipment and methodologies for implementation in practice across other topics of academic disciplines.

Key words: digital competence, research competence, educational process, project method, modern digital equipment, physical experiment.

Вступ. Розуміння фізичних явищ і процесів є фундаментом розвитку сучасного техногенно-інформаційного суспільства XXI століття. Адже саме закони фізики лежать в основі роботи комп'ютерів, телекомунікаційних систем, сенсорних технологій та енергетичних пристроїв. Науковці підкреслюють, що фізика продовжує залишатися базою науково-технічного прогресу XXI ст. [1; 2; 3; 7]. На початку XXI століття фізика забезпечила створення мікропроцесорів, на яких працюють смартфони, ноутбуки та обчислювальні сервери – ключові елементи цифрової інфраструктури. Розвиток оптичної фізики дав змогу побудувати глобальні волоконо-оптичні мережі, що забезпечують швидкісний інтернет і функціонування світових інформаційних систем.

У період активної цифровізації змінюється підхід до створення демонстраційних та експериментальних установок для дослідження природничих явищ. Традиційні стенди, розроблені десятиліттями раніше, часто не враховують сучасних можливостей автоматизації, сенсорних систем і точного керування рухом, що обмежує їх функціональність у кількісних дослідженнях. Тому виникає потреба поєднати накопичений досвід експериментаторської практики із сучасними технічними рішеннями, зокрема роботизованими приводами, мікроконтролерами та цифровими засобами реєстрації сигналів.

Перспективність застосування роботизованих рішень полягає у можливості створення точних відтворюваних експериментів, що відповідають вимогам сучасного науково-технічного аналізу та дають змогу досліджувати закономірності, які раніше було складно зафіксувати стандартними механічними засобами. У зв'язку із цим постає проблема запровадження новітнього підходу до формування сучасного демонстраційного та фронтального експерименту та формування методики його проведення.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідники В. Ф. Заболотний, О. М. Трифонова, Д. В. Соменко [1; 9–12] досить детально розглянули теоретичні та методичні основи формування інформатично-цифрової компетентності в навчанні фізики й технічних дисциплін, розробили практичні рекомендації щодо використання комп'ютерних демонстрацій та навчальних програм, що добре поєднуються з ідеєю інтеграції мікроконтролерних платформ у навчальний експеримент.

А. М. Кух [2] дослідив теоретико-методичні засади підготовки вчителя фізики в інформаційно-освітньому середовищі з використанням апаратно-програмних комплексів. Це створює методологічну базу для введення робототехнічних елементів у курси фізики і техніки, бо саме підготовлені вчителі можуть ефективно інтегрувати такі засоби в освітній процес.

О. С. Мартинюк має здобутки в освітній робототехніці та 3D-моделюванні, розробив навчальні робототехнічні комплекти, що дають можливість перевести здобувачів освіти від пасивного сприйняття експериментів до активної дослідницької діяльності та проектної роботи, де знання фізики застосовують у створенні реальних пристроїв [3].

В. Я. Гайда, М. І. Садовий, В. В. Слюсаренко, О. М. Трифонова створили методичні матеріали та практичні засоби для лабораторних робіт з фізики, зокрема з електродинаміки й оптики, досліджували варіанти використання віртуальних середовищ для проектної діяльності, чим започаткували інтеграцію цифрових симуляцій та апаратних вимірювальних стендів у шкільну і вищу освіту, включно з новітнім обладнанням RHYWE [6; 8].

І. А. Сліпухіна, І. С. Чернецький досліджують застосування інноваційних підходів у проектній діяльності, розвинули ідею поступового ускладнення експериментів через введення контролерів і датчиків, щоб учні крок за кроком набували і практичних навичок, і фундаментальних знань [7].

М. І. Садовий, О. М. Трифонова, Д. В. Соменко у своїх дослідженнях зосереджують увагу на проблемі формування предметних компетентностей у студентів природничо-математичної та цифрової галузей шляхом упровадження технологій цифрових двійників, аналізують їх значущість у контексті сучасної промислової революції 4.0, а також обґрунтовують доцільність інтеграції цифрових двійників в освітні програми технічних спеціальностей. При цьому розглядаються можливості використання цифрових двійників для моделювання реальних об'єктів і процесів, моніторингу й аналізу даних у реальному часі, підвищення ефективності освітнього процесу й розвитку критичного мислення, аналітичних умінь та здатності студентів до прийняття обґрунтованих рішень в умовах цифрової економіки [6].

Таким чином, дослідники підкреслюють, що впровадження у практику роботи закладів освіти цифрових технологій, використання мікроконтролерів, сенсорних модулів і робототехнічних платформ тощо сприяє розвитку дослідницьких умінь, формуванню технічного мислення та підвищенню якості засвоєння, зокрема фізичних понять. Взаємозв'язок фізики та робототехніки розглядається як перспективний напрям модернізації демонстраційного та фронтального експерименту, що відповідає вимогам STEM-освіти та концепції розвитку педагогічної освіти до 2032 року [4; 5]. Використання роботизованих систем у навчанні фізики відкриває нові можливості для підвищення ефективності освітнього процесу, розвитку інноваційного мислення й формування компетентностей, затребуваних у сучасному цифровому суспільстві.

Мета дослідження полягає у виокремленні методичних особливостей формування цифрової та дослідницької компетентностей здобувачів освіти робототехнічними засобами під час освітньої діяльності.

Матеріали та методи. Теоретичний та емпіричний аналіз психолого-педагогічних і методичних досліджень з розвитку цифрової та дослідницької компетентностей здобувачів освіти робототехнічними засобами та реалізація його в практичній діяльності.

Результати. У сучасних умовах розвитку цифрових технологій постає потреба у створенні сучасних і більш точних засобів дослідження фізико-технічних явищ, наприклад, електромагнітної індукції. З часів М. Фарадея традиційне ручне виконання дослідів зі створення індукційного струму обмежене низкою факторів: траєкторія переміщення магніту часто відхиляється від заданої лінії; швидкість руху змінюється від циклу до циклу; амплітуда та темп коливань

не відтворюються точно. Ці та інші нестабільності спричиняють похибки вимірювання індукованої напруги та сили струму, зокрема коливання амплітуди сигналу, нерівномірність пікових значень, шум на графіках залежності ЕРС від часу. У таких умовах важко отримати достовірні кількісні дані: наприклад, точні значення максимальної ЕРС, реальні графіки залежності індукованої напруги від швидкості зміни магнітного потоку або порівняння індукції за різних режимів руху тощо.

Створення й використання робототехнічних систем дає можливість уникнути цих обмежень, оскільки параметри руху – швидкість, амплітуда, частота та тип переміщення магніту задаються точно й залишаються стабільними впродовж усіх повторень експерименту. Це дає можливість спостерігати конкретні закономірності електромагнітної індукції: наприклад, лінійний або нелінійний характер зміни ЕРС залежно від швидкості руху магніту, вплив форми траєкторії на величину індукованої напруги або залежність пікових значень ЕРС від відстані між магнітом і витками котушки. Автоматизований експеримент дає змогу фіксувати ці залежності у вигляді стабільних повторюваних графіків, що є недоступним під час традиційних демонстрацій, де рух є невідтворюваним, а вимірювання надто залежними від людського фактору.

Принципову схему розробленої нами роботизованої установки наведено на рис. 1, а реальну установку – на рис. 2.

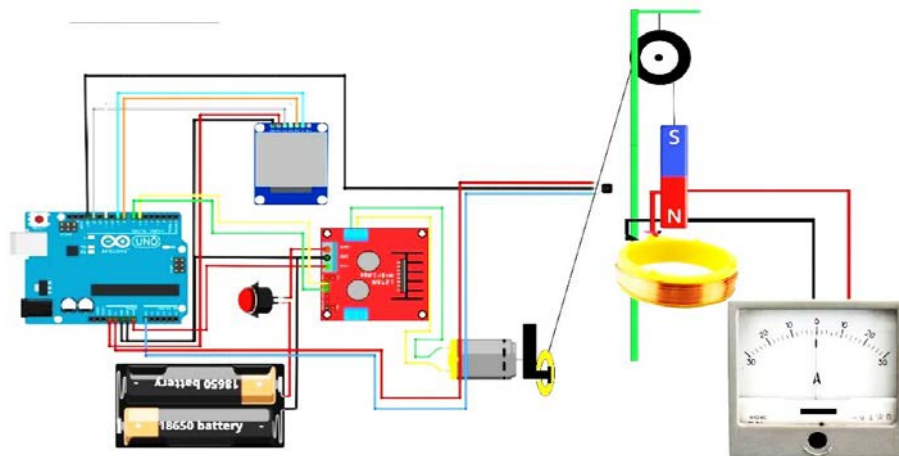


Рис. 1. Принципова схема установки

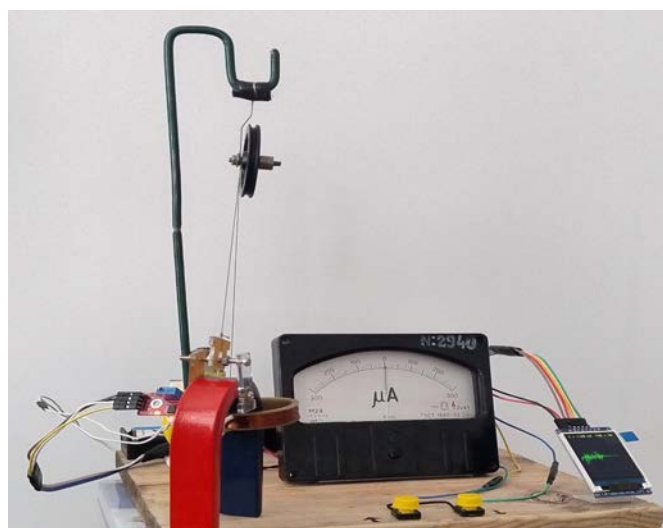


Рис. 2. Роботизована система дослідження явища електромагнітної індукції

Пристрій складається з мікроконтролера Arduino Uno, який виконує функції центрального керування, зчитування аналогових сигналів та формування керуючих імпульсів. Привід переміщення забезпечує електродвигун постійного струму, керований через драйвер L298N, що дозволяє регулювати швидкість і напрям обертання для точного позиціонування магніту на штоку. На нитці закріплено постійний магніт, зміна положення якого створює змінний магнітний потік у зоні чутливості індукційної котушки. Нитка намотується на вал електродвигуна.

Реєстрацію магнітної індукції здійснює датчик Холла на базі компаратора LM393, який подає пропорційний рівень сигналу на аналоговий вхід Arduino [13]. Це дає змогу контролювати інтенсивність магнітного поля та відстежувати момент проходження магніту через область котушки. Проста за конструкцією індукційна котушка безпосередньо під'єднана до вимірювального входу мікроконтролера й генерує ЕРС у відповідь на зміну магнітного потоку, що забезпечує реєстрацію форми сигналу й амплітуди індукованої напруги.

Показники магнітного поля, індукованої напруги та швидкісних параметрів відображаються на OLED-дисплеї 0.96", що забезпечує оперативний візуальний контроль за ходом експерименту. Система живиться від двосекційного літій-іонного джерела 7,4 V (2×18650) гарантує стабільну роботу двигуна, драйвера та низьковольтної електроніки. Усі компоненти змонтовані на макетній платі з мінімальною довжиною сигнальних трас, що знижує рівень паразитних наводок і підвищує точність реєстрації сигналів.

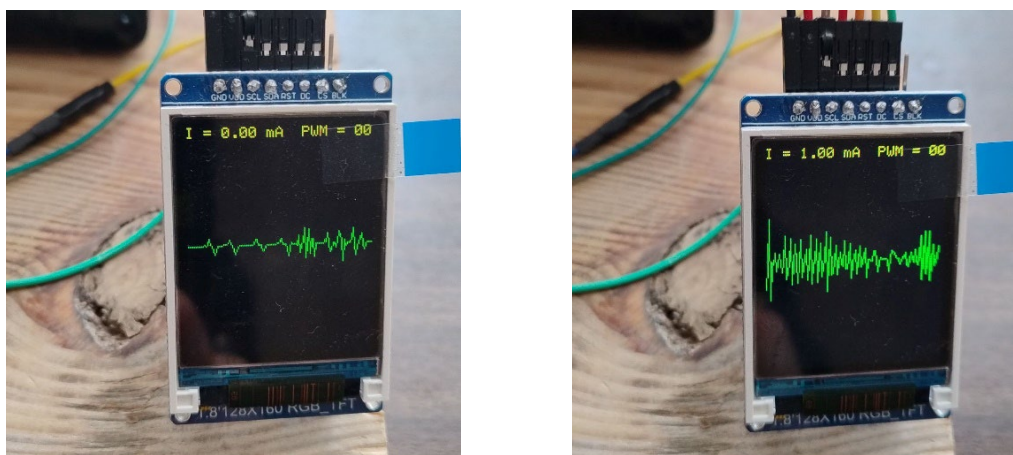


Рис. 3. Графіки індукованого струму в котушці за різної швидкості зміни магнітного поля

Сила індукційного струму, що виникає в котушці, прямо пропорційна швидкості зміни магнітного поля. Чим швидше змінюється магнітний потік, тим більшою є електрорушійна сила індукції, а отже, і сила струму. Аналіз отриманих графіків підтверджує цю залежність, за повільної зміни магнітного поля на графіку спостерігається мала амплітуда коливань, що відповідає незначному значенню індукованого струму. За збільшення швидкості зміни магнітного потоку амплітуда сигналу суттєво зростає, що свідчить про генерацію більшої сили струму в котушці. Отримані результати узгоджуються із законом електромагнітної індукції та підтверджують пропорційну залежність між швидкістю зміни магнітного поля і величиною індукованого струму.

Використання автоматизованої системи дає можливість здійснити аналіз таких параметрів: вплив швидкості руху магніту на амплітуду ЕРС, зміна форми сигналу залежно від орієнтації магніту відносно осі котушки, залежність часу наростання сигналу від параметрів траєкторії. На відміну від традиційних демонстрацій, де умови виконання досліду визначаються ручним керуванням, рухомі роботизована установка забезпечує повторюваність кожного циклу та можливість точного порівняння отриманих графіків.

Створення прототипу передбачає тестування режимів руху, калібрування датчиків та аналіз форми сигналу за різних значень швидкості й амплітуди. Реєстрація параметрів здійснювалася за допомогою дисплея та відповідних електронних модулів, що дає змогу отримати часові залежності ЕРС та провести їхню подальшу обробку.

Програмне забезпечення дає можливість робити фіксовані зміни даних (у мілісекундному циклі), керувати приводом, а отже, аналізувати амплітудно-часові характеристики.

Код програми для установки з роботизованої системи дослідження явища електромагнітної індукції:

```
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_ST7735.h>
#include <SPI.h>

#define TFT_CS 10
#define TFT_DC 9
#define TFT_RST 8

#define HALL_AO AO

#define IN1 6
#define IN2 7

#define BUTTON_UP 3
#define BUTTON_DOWN 4

Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(TFT_CS, TFT_DC, TFT_RST);
int x = 0;
int prevY = 80;
const int centerY = 80;

int motorSpeed = 0; // стартова швидкість

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_UP, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_DOWN, INPUT_PULLUP);

  analogWrite(IN1, motorSpeed);
  digitalWrite(IN2, LOW);

  tft.initR(INITR_BLACKTAB);
  tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);

  tft.setTextSize(1);
  tft.setTextColor(ST77XX_YELLOW);
  tft.setCursor(10, 5);
  tft.print("EM LAB");
  delay(1500);
  tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);

  //Початкове відображення струму і швидкості
  tft.setCursor(0, 0);
  tft.setTextColor(ST77XX_YELLOW, ST77XX_BLACK);
  tft.print("I = 0,00 mA PWM = 0");
}
```

```
void loop() {
//Кнопки для регулювання швидкості
  if (digitalRead(BUTTON_UP) == LOW) {
    motorSpeed = constrain(motorSpeed + 17, 0, 255);
    delay(150);
  }
  if (digitalRead(BUTTON_DOWN) == LOW) {
    motorSpeed = constrain(motorSpeed - 17, 0, 255);
    delay(150);
  }

//Встановлюємо швидкість мотора
  analogWrite(IN1, motorSpeed);
  digitalWrite(IN2, LOW);

// Зчитування датчика Холла [11]
  int sensorValue = analogRead(HALL_A0);
  static int lastVal = sensorValue;
  int delta = sensorValue - lastVal;
  lastVal = sensorValue;

  int amplified = constrain(delta * 3, -512, 512);
  int y = centerY - amplified / 8;
  y = constrain(y, 20, 159);

  // === Малюємо графік ===
  tft.drawLine(x, prevY, x + 1, y, ST77XX_GREEN);
  prevY = y;
  x++;
  if (x > 127) {
    x = 0;
    tft.fillRect(0, 20, 128, 130, ST77XX_BLACK);
  }

//Відображення струму і PWM
  float current_mA = map(sensorValue, 0, 1023, -20, 20); // масштаб до
±20мА
  tft.setCursor(0, 0);
  tft.setTextColor(ST77XX_YELLOW, ST77XX_BLACK);
  tft.setTextSize(1);
  tft.print("I = ");
  tft.print(current_mA, 2);
  tft.print(" mA   P̄WM = ");
  tft.print(motorSpeed);

  delay(40);
}
```

За допомогою розробленої установки успішно формуються цифрова та дослідницька компетентності здобувачів освіти сучасними робототехнічними засобами. Запропонований підхід започатковує новітній погляд на методику навчання природничих явищ, зокрема електромагнітної індукції цифровими технологіями. Установка дає змогу впроваджувати в освітній процес проектну діяльність [14]. Її можна використати і для дослідження інших фізичних явищ.

Висновки. У статті здійснено огляд стану застосування робототехнічних систем для дослідницької діяльності, обґрунтовано актуальність використання автоматизованих засобів у фізичних експериментах. Приведено методику розробки та використання установки інтеграції робототехніки з вивченням електромагнітної індукції. Поєднання робототехнічних компонентів із

класичним фізичним експериментом формує ефективний інструмент для дослідження закономірностей електромагнітної індукції та виступає перспективним напрямом модернізації експериментаторської практики в природничих науках. У подальшому доцільно розширити можливості створеної установки для вивчення інших явищ і використати запропонований підхід для формування системи новітнього цифрового обладнання.

Література:

1. Заболотний В. Ф., Лаврова А. В. Навчальний фізичний експеримент з використанням цифрової лабораторії Nova5000. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: Педагогічна.* 2013. Вип. 19. С. 82–85.
2. Кух А. М. Освітнє середовище в структурі інноваційної системи фахової підготовки майбутніх учителів фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія : Педагогічна.* 2008. Вип. 14. С. 73–76.
3. Мартинюк О. С., Мирончук Г. Л., Панкевич С. С. Організаційно-методичні умови використання цифрових лабораторій у системі впровадження освітнього напрямку STEM. *Фізика та освітні технології.* 2022. Вип. 1. С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-4>.
4. Про затвердження Державного стандарту профільної середньої освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 25.07.2025 № 851.
5. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) в Україні : розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 № 9.
6. Садовий М. І., Трифонова О. М., Соменко Д. В. Формування предметних компетентностей у студентів природничо-математичної та цифрової галузей засобами DIGITAL TWINS. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки.* Кропивницький, 2024. Вип. 215. С. 91–96. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-215-91-96>.
7. Сліпухіна І. А., Чернецький І. С., Меньяйлов С. М., Рудницька Ж. О., Матеїк Г. Д. Сучасний фізичний експеримент у дидактиці STEM орієнтованого навчання. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: Педагогічна.* 2016. Вип. 22. С. 224–228.
8. Слюсаренко В. В., Садовий М. І. Методичні рекомендації до виконання вибраних лабораторних робіт із новітнім обладнанням «РНУВЕ»: навч.-метод. посібник / За ред. М. І. Садового. Кіровоград : САБОНІТ, 2013. 28 с.
9. Соменко Д. В., Величко С. П., Соменко О. О. Поєднання сучасних поглядів на поліпшення проблеми підготовки високопрофесійного вчителя фізики. *Зб. наук. праць Кам'янець-Под. нац. ун-ту ім. І. Огієнка.* Кам'янець-Подільський : К-Под. нац. ун-т ім. І. Огієнка, 2016. Вип. 22.
10. Соменко Д. В., Величко С. П. Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у процесі розв'язування навчальних задач з фізики графічним методом. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* 2012. Вип. 18: Інноваційні в навчанні фізики: національний та міжнародний досвід. С. 8–10.
11. Соменко Д. В., Величко С. П. Підготовка майбутніх вчителів фізики в умовах глобальної інформатизації навчального процесу. *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.* Умань : ПП Жовтий О. О., 2011. Ч. 3. С. 38–45.
12. Трифонова О. М. Методична система розвитку інформаційно-цифрової компетентності майбутніх фахівців комп'ютерних технологій у навчанні фізики і технічних дисциплін : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.02, 13.00.04. ЦДПУ ім. В. Винниченка. Кропивницький, 2020. 595 с.
13. Arduino Documentation. URL: <https://doc.arduino.ua/> (дата звернення: 15.11.2025).
14. Стратегія розвитку вищої освіти України на 2022–2032 роки : проєкт Операційного плану на 2025–2028 роки. URL: https://erasmusplus.org.ua/wp-content/uploads/2024/10/2_sharov-pershyj-proyekt-or-srvo-2025-2028-2024-09-23.pdf (дата звернення: 13.11.2025).

References:

1. Zabolotnyi, V.F., & Lavrova, A.V. (2013). Navchalnyi fizychnyi eksperyment z vykorystanniam tsyfrovoy laboratorii Nova5000 [Educational physical experiment using the Nova5000 digital laboratory]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohiiienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohiienko National University. Pedagogical Series, 19, 82–85* [in Ukrainian].
2. Kukh, A.M. (2008). Osvitnie seredovyshe v strukturi innovatsiinoi systemy fakhovoi pidhotovky maibutnix uchyteliv fizyky [Educational environment in the structure of an innovative system of professional

training of future physics teachers]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 14, 73–76* [in Ukrainian].

3. Martyniuk, O.S., Myronchuk, H.L., & Pankevych, S.S. (2022). Orhanizatsiino-metodychni umovy vykorystannia tsyfrovyykh laboratorii u systemi vprovadzhennia osvithnoho napriamu STEM [Organizational and methodological conditions for the use of digital laboratories in the system of STEM education implementation]. *Fizyka ta osvithni tekhnolohii – Physics and Educational Technologies, 1, 34–40*. <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-4> [in Ukrainian].

4. Cabinet of Ministers of Ukraine (2025). Pro zatverdzhennia Derzhavnogo standartu profilnoi serednoi osvity [On approval of the State Standard of Specialized Secondary Education]. Resolution No. 851, July 25, 2025 [in Ukrainian].

5. Cabinet of Ministers of Ukraine (2020). Pro skhvalennia Kontseptsii rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity) v Ukraini [On approval of the Concept for the Development of Natural and Mathematical Education (STEM education) in Ukraine]. Order No. 9, August 5, 2020 [in Ukrainian].

6. Sadovyi, M.I., Tryfonova, O.M., & Somenko, D.V. (2024). Formuvannia predmetnykh kompetentnosti u studentiv pryrodnycho-matematychnoi ta tsyfrovoi haluzei zasobamy Digital Twins [Formation of subject competencies in students of natural-mathematical and digital fields using Digital Twins]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedagogichni nauky – Academic Notes. Pedagogical Sciences Series, 215, 91–96*. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-215-91-96> [in Ukrainian].

7. Slipukhina, I.A., Chernetskyi, I.S., Meniailov, S.M., Rudnytska, Zh.O., & Mateik, H.D. (2016). Suchasnyi fizychnyi eksperyment u dydaktytsi STEM-orientovanoho navchannia [Modern physical experiment in the didactics of STEM-oriented learning]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 22, 224–228*. [in Ukrainian].

8. Sliusarenko, V.V., & Sadovyi, M.I. (2013). Metodychni rekomendatsii do vykonannia vybranykh laboratornykh robit iz novitnim obladnanniam “PHYWE” [Methodical recommendations for selected laboratory works using modern PHYWE equipment]. Kirovohrad: SABONIT [in Ukrainian].

9. Somenko, D.V., Velychko, S.P., & Somenko, O.O. (2016). Poiednannia suchasnykh pohliadiv na polipshennia problemy pidhotovky vysokoprofesiinoho vchytelia fizyky [Combination of modern views on improving the problem of training a highly professional physics teacher]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 22* [in Ukrainian].

10. Somenko, D.V., & Velychko, S.P. (2012). Vykorystannia kompiuterno-orientovanykh zasobiv navchannia u protsesi rozviazuvannia navchalnykh zadach z fizyky hrafichnym metodom [Use of computer-oriented learning tools in solving educational physics problems by the graphical method]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 18, 8–10* [in Ukrainian].

11. Somenko, D.V., & Velychko, S.P. (2011). Pidhotovka maibutnykh vchyteliv fizyky v umovakh hlobalnoi informatyzatsii navchalnoho protsesu [Training of future physics teachers in the conditions of global informatization of the educational process]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho derzhavnogo pedagogichnoho universytetu imeni Pavla Tychyny – Collection of Scientific Papers of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, 3, 38–45* [in Ukrainian].

12. Tryfonova, O.M. (2020). Metodychna systema rozvytku informatsiino-tyfrovoy kompetentnosti maibutnykh fakhivtsiv kompiuternykh tekhnolohii u navchanni fizyky i tekhnichnykh dystsyplin [Methodical system for the development of information and digital competence of future computer technology specialists in teaching physics and technical disciplines] (*Doctoral dissertation*). Kropyvnytskyi: Central Ukrainian State Pedagogical University named after V. Vynnychenko [in Ukrainian].

13. Arduino (2025). Arduino documentation. Retrieved November 15, 2025, from <https://doc.arduino.ua/> [in English].

14. Ministry of Education and Science of Ukraine (2024). Stratehiia rozvytku vyshchoi osvity Ukrainy na 2022–2032 roky: proiekt Operatsiynoho planu na 2025–2028 roky [Strategy for the development of higher education in Ukraine for 2022–2032: Draft operational plan for 2025–2028]. Retrieved November 13, 2025, from https://erasmusplus.org.ua/wp-content/uploads/2024/10/2_sharov-pershyyj-proyekt-op-srvo-2025-2028-2024-09-23.pdf [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 29.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026