

УДК 53.1-19/028.42

DOI: 10.31652/2786-5754-2025-9-54-61

Чернова М. Є.

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри фізико-математичних наук,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID ID 0000-0001-6014-3087
e-mail: myroslava.chernova@nung.edu.ua

ДОСВІД ЗАПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ ФІЗИКИ У ТЕХНІЧНИХ ВНЗ

Розглядається концепція нового підходу до виконання лабораторних робіт з фізики, зокрема віртуальних лабораторних робіт, задля засвоєння основних фізичних законів, на котрих базується подальше вивчення певних освітніх професійних програм (ОПП) у вищій школі. Такими можуть бути технічні дисципліни. А загалом напрацювання може застосовуватися й у часі вивчення окремих розділів з фізики. Основна мета полягає не у «винайденні колеса» а у дослідженні на практиці суті застосування віртуальних лабораторних робіт, розроблених командою фахівців, під головуванням Френка МакКаллі, асистента, викладач фізики, регіонального коледжу у Делса, Пітман, Нью-Джерсі, США, засновника вольєру з фізики (Frank McCulley, 2024).

Віртуальні лабораторні роботи з фізики успішно застосовує від 2016 року Бостонський університет (США) для своїх студентів. В ідеалі, ці роботи є домашнім підготуванням студентів до заняття з лабораторних робіт з фізики Бостонського університету, але для наших студентів то є інакше. Основною метою застосування цих напрацювань є виконання лабораторних робіт з фізики студентами, в часі неможливості очного навчання, у сучасній світовій ситуації.

Щоб робота студентів була ефективною, було напрацьовано відповідний інструктивний матеріал, у котрому однозначно визначено межі застосування певної лабораторної роботи, зокрема вказано якого розділу фізики стосується робота й зазначено початкові дані за варіантом та що саме слід визначити у конкретній лабораторній роботі. Можна стверджувати, що ці роботи можна застосовувати в умовах дистанційного навчання і є альтернативою «живих» робіт, які студенти могли б виконувати, перебуваючи безпосередньо в аудиторії лабораторій навчального закладу за сприятливих умов навчання, тобто відмінних від тих, що не дають змоги очного (оф-лайн) навчання.

Наукова новизна полягає у нестандартному підході в роботі, а також, у самій концепції підходу до вирішення проблеми, котра пов'язана з часто виникаючою неможливістю доступу до навчальних аудиторій з причин, котрі диктує сьогодення в Україні, а саме, військових дій.

Основні висновки зроблено на основі використання запропонованої моделі упродовж 3-х років, хоча сам експеримент і вдосконалення досвіду триває до нині, можна охарактеризувати словами великого філософа Сократа, котрий стверджував, що «хто не хоче – шукає причини, а хто хоче – шукає можливості й засоби».

Ключові слова: фізика, лабораторні роботи, офлайн навчання, дистанційне навчання, віртуальність.

Chernova M. Ye.

Doctor of Sciences (Technical)
Professor of department of physical and mathematical sciences,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.
ORCID ID 0000-0001-6014-3087
e-mail: myroslava.chernova@nung.edu.ua

EXPERIENCE IN INTRODUCING THE LATEST TECHNOLOGIES TO PHYSICS LABORATORY WORK AT TECHNICAL UNIVERSITIES

The concept of a new approach to physics laboratory work, in particular virtual laboratory work, is considered for the purpose of mastering the basic physical laws on which further study of certain educational professional programs (EPP) in higher education is based. The main goal is not to “reinvent the wheel” but to study in practice the essence of the application of virtual laboratory work, developed by a team of specialists, headed by Frank McCulley, assistant professor of physics, Delsea Regional College, Pitman, New Jersey, founder of the Physics Aviary (Frank McCulley, 2024) [2].

Virtual physics labs have been successfully used by Boston University for its students since 2016. Ideally, these labs are home-based preparation for university classes, but for our students it is different. The main purpose of using these American developments is to enable students to perform physics labs in the current global situation.

To make the work effective, appropriate instructional material was developed, which clearly defines the scope of a particular laboratory work, specifies the initial data for the option, and what exactly should be determined in a specific laboratory work. It can be argued that these works work effectively in distance learning and are an alternative to "live" works that students could perform directly in the classroom of the educational institution's laboratories under favorable learning conditions.

The scientific novelty lies in the competent approach to the work, as well as in the very concept of the approach to solving the problem, which is associated with the frequent impossibility of access to classrooms for reasons dictated by the present in Ukraine, namely, military operations.

The main conclusions were drawn based on the use of the proposed model for 3 years, although the experiment itself and the improvement of the experience continue to this day, and can be characterized by the words of the great philosopher Socrates, who stated that "he who does not want - looks for reasons, and he who wants - looks for opportunities and means."

Key words: physics, laboratory work, offline learning, distance learning, virtuality.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Через інтеграцію сучасної освіти у європейський простір українська освітня система мусить стрімко оновлюватися, відповідати вимогам сучасності та міністерства освіти і науки (МОН) України щодо відповідності напрямку публікацій викладачів, котрі викладають відповідний предмет на певній спеціальності ВНЗ, зокрема, викладач фізики (за кваліфікацією фізик, викладач) повинен публікувати наукові статті з фізики, читаючи фізику майбутнім спеціалістам-буровикам. Така ситуація вимагає від викладачів-науковців відповідних корекцій у підходах до методики викладання. Впровадження таких потреб вимагає формування нового способу мислення стосовно сучасного освітнього простору. Теперішній викладач повинен бути не лише високоінтелектуальним і всебічно розвиненим, здатним не лише викладати навчальний матеріал, а й таким, котрий уміє організувати та заохотити студентів до пізнавальної діяльності, сприяти розвитку їх творчих здібностей шляхом використання сучасних засобів як навчання так і технологій, зокрема програмного забезпечення та штучного інтелекту (ШІ). Національна агенція МОН у реформі національної системи освіти зумовлює необхідність викладача, котрий бере участь в реалізації освітньої програми, відповідати певним вимогам, зокрема стосовно відповідних публікацій, що відповідають кваліфікації викладача, навіть, якщо захист докторської чи кандидатської дисертації стосується іншого фаху, до прикладу - буріння свердловин. Позитивною є концепція компетентнісного підходу в роботі довільного спрямування, до прикладу, якщо фізик викладає фізику майбутнім буровикам чи тим, хто буде займатися транспортуванням і зберіганням нафтопродуктів, то хто як не викладач-фізик, котрий захистив не лише кандидатську дисертацію а й докторську за технічною спеціальністю, здатний зрозуміло пояснити певні фізичні закони, котрі працюють у тих техніко-технологічних процесах, для котрої спеціальності ведеться викладання курсу фізики. Отже, відповідність освіти вимогам і можливостям суспільства в період інформаційної економіки, глобальної та масової комунікації є пріоритетом у викладанні певних дисциплін, зокрема фізики для будь-яких технічних спеціальностей. [1, с.267]

Мета статті. Основним, на сьогоднішній час у викладанні базового предмету, яким є фізика, застосування сучасних технологій, до прикладу, технологій програмного забезпечення, котрі дають можливість без доступу до технічного обладнання, віртуально виконувати лабораторні роботи з фізики. Запровадження такого досвіду, котрий був спричинений на початкових порах пандемією «COVID-19», а тепер через дозвіл індивідуальної та дистанційної форм навчання, зарекомендував себе як альтернативний, в умовах військового стану нашої держави. Враховуючи те, що більшість технічного обладнання у вищих навчальних закладах є залишком з минулого сторіччя, котре, ще працює, а сучасні технології невпинно витискають це обладнання як з повсякденного життя так і з

промислів, пропонується досвід використання віртуальних лабораторних робіт.

Виклад основного матеріалу. Важливим на сьогодні є у вищій школі вдосконалення освітнього процесу, що проводиться незалежними експертами, зокрема, галузевою експертною радою (ГЕР) та експертною групою (ЕГ), де акцентується увага на наявності викладачів, котрі мають окрім публікацій та фахової освіти відповідний вчений ступінь або ж вчене звання, а також мусять відповідати вимогам ліцензійних умов стосовно впровадження освітньої діяльності, зокрема пунктам таблиці 2 (котра наводиться у посиланні 3, відповідно до вказаного часу), що передбачає аргументацію доцільності викладання конкретної дисципліни певним викладачем, тобто мусить бути певна публікаційна активність [3, 2:31:22]. Виходячи з наведеного, для технічних спеціальностей особлива увага повинна приділятися засвоєнню основних законів фізики, враховуючи, що цей предмет не досконало подається у передвищій школі.

На сьогоднішній день молодь повинна уміти вирішувати складні нестандартні завдання, бути здатною до критичного аналізу певних обставин а також, відповідно, уміти приймати певні рішення, що базувалися б на аналізі отриманої інформації. В основі сучасних інноваційних технологій навчання є розвиток когнітивних і творчих навичок, а також уміння самостійно конструювати знання та орієнтуватися в інформаційному просторі [4, с. 14].

Це, відповідно, вимагає зміни як методів так і форм організації навчального процесу, що у свою чергу, активізує діяльність студента у часі занять, сприяє наближенню досліджуваних тем до реального життя, а відповідно, до пошуку шляхів вирішення проблем, що виникають.

Дослідники в галузі інноваційних технологій схиляються до думки, що нову методику навчання слід розглядати враховуючи такі основні моменти [5, с. 23]

- специфічний вид проектно-дослідницької технології, що включає дослідницький процес, аналітичні процедури, що передбачають розуміння проблеми та пошук шляхів її вирішення на основі кейсу, який виступає як технічне завдання, так і джерело інформації водночас;

- технологію колективного навчання, найважливішими компонентами якої є робота в групі (або підгрупах) та взаємний обмін інформацією;

- технології розвивального навчання, що включають процедури індивідуального, групового та колективного розвитку, спрямовані на формування різноманітних особистісних якостей у студентів;

- технологію, що дозволяє самостійно розібратися в запропонованій проблемі за допомогою відомих способів діяльності, самостійно оцінити ефективність цих методів і, за необхідності, оволодіти новими.

Пошук інноваційних методів викладання загального курсу фізики у вищих навчальних закладах (ВНЗ) України, є спричиненим не лише пандемією COVID-19, тривалими «локдаунами» в суспільстві, а й ситуативною проблемою, що виникла через російсько-українську війну, саме такі ситуації спричинили пошук і стрімке впровадження інноваційних засобів навчання.

Також важливим етапом у функціонуванні нових освітніх технологій є стрімкий розвиток у світі нанотехнологій (комп'ютерних технологій), які варто впроваджувати, незалежно від нашого бажання, адже це дає змогу віртуально моделювати всі сфери нашої життєдіяльності, а також розробляти інтерактивні ілюстрації досліджень не лише фізичних процесів і явищ законів елементарної фізики, але й у інших галузях науки та техніки [6, с. 798].

Виклики 21-го сторіччя вимагають не стільки нових знань, як нової системи організації навчального процесу, котра не відкидає класичних традиційних методів, а потужно підсилюється за рахунок використання нових можливостей, засобів та методів. Така система, бажано, мусить забезпечувати прогнозований стабільно високий рівень знань, а це є можливим за рахунок змін, тестування та аналізу. Довільні зміни та експерименти базуються на досвіді та інтуїції, бо саме вони можуть дати нові досягнення у вдосконаленні викладання як такого,

зокрема фізики.

На Всесвітньому урядовому саміті в Дубаї 2020 у виступі генерального директора «Tesla» і «Space-X» Ілона Маска окреслено важливий напрямок в освіті, зокрема, він сказав наступне: - «Я вважаю, що найкраща аналітична основа майбутнього - фізика. Я б рекомендував вивчати процес мислення у фізиці, тому що спосіб мислення у фізиці є найкращим фреймворком» [7]. Уточнюємо «Framework» – фрейм, платформа, структура – інфраструктура програмних рішень, що полегшує розробку складних систем.

Саме тому на кафедрі фізико-математичних наук Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, напрацювання вилились у посібник для виконання лабораторних робіт з курсу загальної фізики для студентів технічних спеціальностей, котрий можуть використовувати й викладачі технічних дисциплін інших університетів (вищих навчальних закладів). Посібник розроблено та запропоновано для затвердження вченою радою університету і містить інструктивний матеріал до 57-ми лабораторних робіт, охоплюючи практично усі розділи фізики. Це напрацювання включає в себе інструктивні матеріали, таблиці та додатки, де зазначено константи або межі, в діапазоні котрих варто їх виставити на симуляторі, за котрими кожен студент виконує власний варіант і від котрого залежать отримані результати обчислень.

З метою запобігання звинувачень у плагіаті, отримано дозвіл від розробників «Фізичного вольєру», та й на сторінці цього фізичного вольєру зазначено «Я надаю всі ці ресурси безкоштовно всім, кому вони будуть корисні. Програми на цьому сайті представлені без реклами, файлів cookie, трекерів та штучного інтелекту» [2, 8].

Структура лабораторних робіт є такою, що є необхідним дослідити зв'язок між кількома змінними величинами, тобто студенти повинні мати можливість з'ясувати, як ці змінні пов'язані між собою. Слідкуючи за однією змінною, необхідно зробити висновок про те, як зміна цієї незалежної величини впливає на зміну іншої, до прикладу, якщо віддаль між пластинами конденсатора не змінюється, але при цьому змінюється різниця потенціалів, що подається на пластини, то які фізичні величини будуть зазнавати змін, а котрі - ні. Це спричинює вміння побудувати графік з котрого варто буде підібрати математичне рівняння, що пов'язувало б дві змінні між собою. Така ситуація дасть привід для прогнозування вимірювань, які не проводилися в лабораторії. Окрім пошуку математичних зв'язків між двома перевіреними змінними, завжди доцільно запропонувати студентам обміркувати, які інші можливі змінні могли б вплинути на результат, якби ми не тримали ці параметри незмінними в часі виконання лабораторної роботи.

Важливо також підкреслити, що побудовані математичні моделі, часто мають обмеження, і ми маємо використовувати ці результати з обережністю, оскільки прогнози робляться в більш екстремальних обставинах. Студентам важливо подумати про деякі помилки, які могли статися в часі виконання лабораторних робіт, і про те, як ці помилки можна мінімізувати, щоб отримати кращі результати. Вони повинні усвідомлювати, що помилки неможливо усунути, але їх можна мінімізувати, щоб зробити наші моделі більш точними.

За отриманими результатами студенти повинні побудувати графіки вручну та віднайти рівняння лінійних графіків, знаходячи кут нахилу та точку перетину з віссю ординат. Студентам варто дозволити використовувати програму для побудови графіків, задля їхнього зосередження на вивченні закономірностей фізики, вивчених у лабораторії, і, відповідно, не загрузнути у встановленні масштабів для осей чи обчисленні співвідношень вручну.

За можливості, викладачам варто завжди вітати віртуальні лабораторні роботи, які проводяться зі студентами на комп'ютері. В ідеалі, жива частина, тобто виконана на технічному обладнанні, може точно відображати те, що було зроблено у віртуальній частині, але це не завжди можливо. Усі роботи представляють кілька варіантів того, як можливо створити живий двійник, і, сподіваюся, можна знайти достатньо ідей, щоб змусити один із них працювати за певних обставин.

Позитивним у цих віртуальних роботах є ще й те, що на кафедрах фізики, вірніше у їхніх лабораторіях, здебільшого, наявне обладнання минулого століття, котре «майже не працює», у кращому випадку то є «гробу» з котрих «витискають» усе що ще можна. То є антикваріат, на котрий студенти дивляться з цікавістю, але працювати з таким обладнанням їм не дуже комфортно, бо завжди щось виходить з ладу. Віртуальні ж лабораторні роботи їм цікаві ще й тим, що там присутня, здебільшого, динаміка, котра їм ближча по суті, до прикладу, вони бачать рух рідини, рух дрона чи авто, рух елементарних часток, поширення хвиль й таке інше.

Варта наголосити, що ще у 2013 році було засновано Physics Aviary, де почали створюватися кросплатформні програми, які працюють майже на всіх пристроях, підключених до Інтернету, щоб допомогти студентам у всьому світі опанувати великі ідеї у фізиці. Автор Frank McCulley стверджує, що робить усі ці ресурси доступними без реклами та безкоштовно для всіх, хто їх потребує [8]. Як сказав Томас Джефферсон у листі до Ісаака Макферсона, від 13 серпня 1813 року «Той, хто отримує від мене ідею, сам отримує настанови, не применшуючи моїх; як той, хто запалює свою свічку від моєї, отримує світло, не затьмарюючи мене. Ідеї мають вільно поширюватися від однієї до іншої по всій земній кулі, бо моральне та взаємне навчання людини та покращення її стану, здається, були особливим і доброзичливим планом природи» [9, с. 8].

Усі програми віртуальних лабораторних робіт, спрямовані на те, щоб студенти самостійно вчилися думати, вимірювати та вирішувати проблеми, що виникають. Бо як відомо, мисленнєвий процес спричинює збільшення нейронних зв'язків, що позитивно впливає на віднайдення, у кінцевому варіанті, вирішення проблеми, що виникла. Адже більшість зі студентів надалі будуть працювати на виробництві, вирішуючи проблеми відбудови повоєнної економіки України. Коли це можливо, студенти будуть змушені отримувати свої дані з аналогових інструментів. Віртуальні роботи допомагають їм розвинути здатність читати всі типи вимірювальних приладів, мір і ваг. Повторення цих навичок у багатьох різних контекстах зробить оцінку та судження інтуїтивно зрозумілими для студентів, які регулярно користуються цими симуляторами. Їм доводиться робити судження та оцінити ефективність більшості програм. Задля цього на платформі дистанційного навчання, звідки студенти отримують для навчання й виконання лабораторних робіт інформацію, і куди завантажують виконані роботи для перевірки викладачем, їм дана можливість оцінити ці роботи та їх ефективність, відповівши на 20 запитань анкети (обравши відповідь з наведених типу «погоджуюсь», «частково погоджуюсь», «не погоджуюсь»), що видало середній бал 19,8 з 20-ти (за участі 150-ти опитуваних). Ці числа мовлять самі за себе, тобто 148 зі 150 студентів позитивно сприймають впровадження віртуальних лабораторних робіт в часі дистанційного навчання і з задоволенням виконують їх, якщо є така можливість, як заміна «живій лабораторній роботі».

В умовах сучасного розвитку ІІІ, моделювання явищ та процесів набуло широкого розвитку й поширення не лише у фізиці а поширюється й у інших науках. Крім того, багато традиційних предметів нашого технічного університету обов'язково мають обчислювальну складову, оскільки все більше науковців переконуються у важливості того, що кожен випускник повинен бути «інноваційно грамотним».

Особливий інтерес представляє моделювання фізичних процесів. Вивчення фізики вимагає навчитися розробляти, тестувати та застосовувати моделі для пояснення або прогнозування фізичних явищ. Цей процес є значно полегшений за допомогою використання готових комп'ютерних моделей, і якщо студенти не беруть активної участі в часі вивчення навчальної програми з фізики, в розрахунках на основі комп'ютерного моделювання, вони втрачають значну частину того, чому можна навчитися за допомогою таких прийомів. Лабораторні роботи з фізики на основі комп'ютерного моделювання, тобто віртуальні лабораторні роботи, надають студентам нові способи розуміння, опису, пояснення та прогнозування фізичних явищ, що дає новий погляд на поведінку тієї чи іншої системи [10].

Доведено, що моделювання усуває слабкі сторони традиційного навчання шляхом залучення студентів до використання фізичних моделей для опису, пояснення та прогнозування явищ. Використання студентами моделей, кероване дослідження фізичних систем і концепцій є потужним підходом до залученого навчання, тому що природа фізики передбачає симуляцію, а не анімацію, яка розв'язує математичну модель. Слід пам'ятати, що симуляція відображає припущення моделі, а не реальний світ [11, с. 13]. Ось чому вважається, що додавання «живого компонента», тобто виконання аналогічної лабораторної роботи «вживу» (за наявної можливості) до віртуальної лабораторії є важливим, щоб переконатися, що припущення моделі збігаються з реальним світом.

Інформація, зареєстрована розробником, засвідчує, що використання у освітньому процесі розробленого і запропонованого до застосування лабораторного практикуму віртуальних лабораторних робіт з фізики має позитивну динаміку. Зокрема, за даними Google Analytics встановлено, що Україна, на думку автора, за рахунок студентів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, перебуває на другому місці за використанням цих програм. У таблиці №1, котрою люб'язно поділився у часі листування автор «Фізичного вольєру», Україна випереджає Канаду та Англію. На рисунку 1 наведено статистику від серпня 2023 року до лютого 2024 року.

Звички, вироблені у часі виконання цих лабораторних робіт допоможуть студентам розвинути певні навички, які зроблять їх кращими та допоможуть зрозуміти, як набуваються, перевіряються та поширюються знання. Є думка, що під час навчання за допомогою цих запропонованих ресурсів студенти покращать свої навички спостереження, збору даних, моделювання систем, щоб побачити, як вони працюють, розмірковуючи над помилками, які можуть існувати в різних методах, і знаходячи не лише знання, а й шляхи їх застосування.

Country ▾ +		↓ Users -----	New users -----
		658,339 100% of total	666,362 100% of total
1	United States	547,259	554,766
2	Ukraine	15,276	15,448
3	Canada	14,921	14,821
4	Philippines	6,486	6,546
5	Mexico	6,452	6,393
6	United Kingdom	5,015	4,962
7	Australia	4,729	4,712
8	United Arab Emirates	4,501	4,443
9	Thailand	4,088	4,083
10	Indonesia	4,069	3,935

Рис. 1 Таблиця статистичних даних із використання віртуальних лабораторій моделювання фізичних процесів, розробленою групою під керівництвом Френка МакКаллі.

Зараз більше ніж будь-коли є люди, які можуть намагатися змусити студентів повірити у всілякі хибні ідеї, і є надія, що завдяки ретельному вивченню кількох обраних тем студенти дізнаються про процес, за допомогою якого можна отримати справжні знання.

Беззаперечним є той факт, що, сприймати і впроваджувати нове важко, тому заради розвитку суспільства та оновлення методики викладання фізики у вищих навчальних закладах (ВНЗ) варто ламати стереотипи та пробувати щось нове.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Базуючись на розгляді наведеного напрямку нової методики навчання в фізиці, вважаю, що запропонована методика навчання може суттєво сприяти розвитку самостійного мислення у студентів, умінню слухати та враховувати альтернативну точку зору, аргументовано висловлювати власну.

2. На основі цього методу студенти мають можливість не лише продемонструвати а й вдосконалити свої аналітичні навички, також навчитися працювати в команді та віднаходити найбільш раціональне рішення поставленої проблеми.

3. Розгляд впливу застосування віртуальних лабораторних робіт на сприйняття студентами процесу навчання як такого, доводить факт надання студенту можливості перевірити теорію на практиці, активізувати свої здібності, реалізувати здатність творчо мислити.

4. Разом з тим, практична ситуація викликає інтерес до навчання, оскільки, стає зрозуміло студентів, яких теоретичних знань не вистачає для вирішення тих чи інших проблем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биков В.Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти: монографія. Київ: Атіка, 2008. 684 с.
2. Frank McCulley The Physics Aviary. URL: fmcculley@thephysicsaviary.com (дата звернення 24.06.2025)
3. Бутенко А.П. Засідання Національного агентства Режим доступу <https://www.youtube.com/live/i-bni-T6GsY?t=54s> (дата звернення 24.06.2025).
4. Свирида О.В. Кейс технології в освітньому просторі. *Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції*: Центр фінансово-економічних досліджень (м. Полтава, 07 жовтня 2022). Полтава, ЦФЕНД, 2022 С. 13-15.
5. Сурмін Ю.П. Кейс-метод: становлення та розвиток в Україні. *Вісник Національної академії державного управління при Президентові України*. 2015. - № 2. С. 19-28.
6. Дубічинський В.В. Сучасний тлумачний словник української мови. Харків: Школа, 2009. 1008 с.
7. З виступу Ілона Маска на саміті світового уряду в ОАЕ, Дубаї 2020. *З сайту Міжнародного Історико-біографічного інституту*. URL: <https://whfpdubai.com/internship> (дата звернення 21.12.2020)
8. Frank McCulley. Фізичний вольєр URL: <https://thephysicsaviary.com/Physics/UkrainianResources/index.html> (дата звернення 2013).
9. Титов В. Д. Філософсько-правові погляди Томаса Джефферсона. *Вісник Національної юридичної академії імені Ярослава Мудрого. Серія: Філософія, філософія права, соціологія*. 2010. №5. С. 3 - 12.
10. Чернова М.Є. Віртуальні лабораторні роботи з фізики для україномовних. URL: <https://www.thephysicsaviary.com> (дата звернення 2022)
11. Дементієвська Н.П., Соколюк О.М. Віртуальні лабораторні роботи з фізики з використанням інтерактивних комп'ютерних моделювань: збірник навчальних матеріалів. Київ: ІЦО НАПН України, 2022. 157 с.

REFERENCES

1. Bykov, V.Yu. (2008). *Modeli organizatsiyinyh system vidkrytoyi osvity*. - Kyiv.: Atika [in Ukraine].
2. Frank McCulley (2024). *The Physics Aviary*. URL: fmcculley@thephysicsaviary.com

3. Butenko, A.P. (2025). *Zasidannia natsionalnoho agentstva [Meeting of the National Agency 24.06.25]* URL <https://www.youtube.com/live/i-bni-T6GsY?t=54s> [in Ukrainian].
4. Svyryda, O.V. (2022). *Kais tehnologii v osvritnomu prostori [Case study of technology in the educational space]*, *Proceedings from MIIM Collection of abstracts of reports of the International Scientific and Practical Conference [center for financial-economic research]* Poltava, TzFEND 13-15 [in Ukrainian].
5. Surmin, Ju.P. (2015) *Kais metod: stanovlennia ta rozvytok v Ukrayini case method: formation and development in Ukraine*. Bulletin of the National Academy of Public Administration under the President of Ukraine, 2. C. 19 – 28 [in Ukrainian].
6. Dubichinskii, V.V. (2009). *Suchasnyi tlumachnyi slovnyk ukrayinskoï movy: modern explanatory dictionary of the Ukrainian language*. Kharkiv: Shkola. 1008 p [in Ukraine].
7. From Elon Musk's speech at the world government summit in the UAE 2020: website Historical Biographical Institute I World History: Famous Personalities. URL: internship@whfpdubai.com [in Ukraine].
8. Frank McCulley (2013). *The Physics Aviary* URL: <https://thephysicsaviary.com/Physics/UkrainianResources/index.html>.
9. Tytov, V. D. (2010). *Filosofsko-pravovi poglady Tomasa Gefersona: philosophical and legal views of Thomas Jefferson*. *Visnyk Natsionslnoyi Yuryduchnoyi akademiï imeni Yaroslava Mudrogo. Seiya: filosofoya, filosofiya prava, sotsiologiya*. 5, 3-12 [in Ukraine].
10. Chernova, M.Ye. (2022). *Sait virtualnyx laboratornyh robot z fizyky [Virtual laboratory works in physics]*. URL: <https://www.thephysicsaviary.com> [in Ukraine].
11. Dementiyevska, N.P. & Sokoliyk, O.M. (2022). *Virtualni labolatorni roboty z fizyky z vykorystanniam snteraktyvnyh kompiuternyh modeliyvan: zbirnyk navchalnyh materialiv: virtual Physics Laboratory Work Using Interactive Computer Simulations: A Collection of Educational Materials*. P. 157 [in Ukraine].

Статтю надіслано до редколегії 29.07.2025 р.

Статтю рекомендовано до друку 02.09.2025 р.