



Article sent: 16.11.2025

© Pysarenko A.M.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj34-01-094>

DOI: 10.30888/2663-5712.2025-34-01-094

УДК: 004.9:378.147:53(043.3)

## EFFICIENCY OF PHET AND CROCODILE PHYSICS SIMULATORS IN DISTANCE LEARNING PHYSICS FOR ENGINEERING SPECIALTIES

### ЕФЕКТИВНІСТЬ СИМУЛЯТОРІВ PHET І CROCODILE PHYSICS У

### ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ ФІЗИКИ ДЛЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Martynova O.B. / Мартинова О.Б.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: [0000-0001-7324-2543](https://orcid.org/0000-0001-7324-2543)

Odesa State Agrarian University, Odesa, Kanatna, 99, 65039

Одеський державний аграрний університет, Одеса, Канатна, 99, 65039

**Анотація.** У дослідженні проаналізовано вплив інтеграції симуляторів PhET і Crocodile Physics у дистанційний курс «Загальна фізика» для студентів інженерних спеціальностей Державного університету «Житомирська політехніка» протягом осіннього семестру 2024/2025 н. р. Порівнювалися дві заздалегідь сформовані групи (експериментальна,  $n=32$ ; контрольна,  $n=31$ ), що навчалися за ідентичними силабусами та під керівництвом одного викладача. Єдиною відмінністю було систематичне використання восьми занять із симуляторами (загалом 12 год), інтегрованих у Moodle. Еквівалентність груп перед початком підтверджено тестом на передзнання, що забезпечило коректність подальших висновків. Результати засвідчили значні переваги експериментальної групи: середній бал посттесту зріс на 21% (Cohen's  $d = 1,08$ ), частка студентів із «повним розумінням теми» піднялася на 27 в. п. ( $OR = 3,02$ ), а рівень самотійної активності збільшився на 26 в. п., що супроводжувалося довшими навчальними сесіями та частішими взаємодіями. Виявлена динаміка підтверджує, що симулятори підвищують як концептуальне розуміння, так і мотивацію, перетворюючи абстрактні теми механіки й електродинаміки на доступні для візуалізації та маніпуляцій моделі. Отримані дані обґрунтовують доцільність використання симуляцій як базового елементу сучасної дистанційної інженерної освіти та їх потенціал для масштабування на інші модулі з фізики й STEM-дисципліни.

**Ключові слова:** дистанційне навчання, симулятори, фізика, інженерна освіта, віртуальний експеримент, PhET, Crocodile Physics, ефективність навчання.

**Вступ.** Стрімка цифровізація та поширення дистанційних і змішаних форматів навчання висунули нові вимоги до викладання фундаментальних дисциплін інженерного циклу. Фізика як базова складова інженерної підготовки має забезпечувати не лише засвоєння теорії, а й набуття експериментальних умінь, аналітичного мислення та здатності моделювати й інтерпретувати технічні процеси в умовах обмеженого доступу до традиційних лабораторій. У цьому контексті інтерактивні симулятори виступають ключовим інструментом,



що дозволяє відтворювати фізичні явища, керувати параметрами в реальному часі, отримувати миттєвий зворотний зв'язок і формувати повний цикл віртуального експерименту – від постановки гіпотези до аналізу даних. Сучасні дослідження у STEM-освіті вказують на зростання ефективності навчання за рахунок цифрових інструментів і симуляцій, зокрема у фізиці [1]. Для інженерної підготовки це узгоджується з трендом на імерсивні підходи, що підсилюють залученість і практичну спрямованість курсів [2]. У вищій школі продемонстровано, що симуляційні лабораторії покращують академічні результати студентів-інженерів порівняно зі стандартними форматами [3]. Педагогічні розвідки з фізики також підкреслюють доцільність віртуальних лабораторій як інструмента формування експериментального мислення [4]. Узагальнення новітніх емпіричних робіт підтверджує стабільний позитивний ефект цифрових симуляцій на результати навчання та мотивацію [5]. Окремо наголошується на ролі онлайн-лабораторій у вищій інженерній освіті, включно з організаційними рішеннями й дидактичними викликами [6]. Систематичні огляди для бакалаврських курсів природничих і інженерних спеціальностей показують, що віртуальні лабораторії підвищують якість засвоєння й підтримують дослідницьку діяльність студентів [7]. На рівні шкільної фізики застосування інтерактивних комп'ютерних симуляцій полегшує опанування складних тем і формує стійку навчальну мотивацію, що релевантно й для перших курсів університету [8]. Безпосередньо для середовища PhET зафіксовано підвищення навчальних досягнень і мотивації, що робить ці симуляції доцільним ядром віртуальних практик з фізики [9]. Використання комп'ютерного моделювання з окремих тем фізики додатково підтверджує ефект на розуміння концептів та якість виконання завдань [10]. Відтак релевантність конкретних платформ і сценаріїв використання визначається їх узгодженістю з результатами навчання інженерних програм, інтеграцією в LMS та наявністю дидактичних матеріалів; у нашому дослідженні репрезентативними прикладами виступають PhET і Crocodile Physics як інструменти для відтворення повного циклу віртуального експерименту. Враховуючи наведене, подальший фокус –



емпірично оцінити ефективність інтеграції цих симуляторів у дистанційний курс фізики для інженерних спеціальностей, зіставивши навчальні результати та показники активності студентів із традиційним дистанційним форматом.

### **Постановка проблеми.**

Стаття присвячена аналізу ефективності використання інтерактивних симуляторів у процесі дистанційного викладання фізики здобувачам інженерних спеціальностей. Актуальність дослідження зумовлена переходом університетів до змішаних та дистанційних форматів навчання, що висуває нові вимоги до забезпечення наочності, залучення студентів та формування практичних умінь у віртуальному середовищі. Традиційні підходи до викладання фізики, засновані на лекційних матеріалах і обмежених можливостях онлайн-демонстрацій, не завжди забезпечують належний рівень розуміння складних явищ механіки й електродинаміки та створюють ризик зниження мотивації до навчання. У цьому контексті інтерактивні симулятори, такі як PhET та Crocodile Physics, виступають інноваційним інструментом, здатним моделювати фізичні процеси, забезпечувати можливість експериментування у безпечному цифровому середовищі та підвищувати когнітивну активність студентів.

Метою дослідження є виявлення методичних підходів до впровадження симуляторів у дистанційний курс «Загальна фізика», оцінка їхнього впливу на якість засвоєння теоретичних знань, розвиток професійних компетентностей та мотивацію здобувачів інженерних спеціальностей. Особливу увагу приділено визначенню зв'язку між системним використанням симуляторів і динамікою навчальних результатів, а також формуванню сталих практик самостійної роботи у віртуальному навчальному середовищі.

### **Методи.**

Аналітичний масив сформовано з результатів підсумкового тесту на концептуальне розуміння розділів механіки та електромагнетизму, журналів активності Moodle (кількість і тривалість навчальних сеансів, завершені інтерактиви, спроби тестів) і короткої підсумкової анкети самооціненої зацікавленості у вивченні фізики. Усі дані зібрано в межах регулярного



навчального процесу протягом одного семестрового модуля 2024/2025 н. р.; зовнішні або сторонні набори даних не використовувалися. Застосовано порівняльний дизайн із двома наявними академічними групами бакалаврів денної форми однієї освітньої програми, сформованими адміністративно до початку семестру без індивідуальної рандомізації. Обидві групи навчалися за ідентичним силлабусом і календарем; єдиною варіативністю було втручання: системне використання PhET і Crocodile Physics в експериментальній групі на етапах пояснення, закріплення та виконання віртуальних лабораторних робіт проти стандартного дистанційного формату без симуляторів у контрольній. Втручання тривало один навчальний модуль (половина семестру) і охоплювало тематичні блоки «закони Ньютона», «коливання та хвилі», «електричні кола постійного струму» та «елементи магнетизму». Первинним результатом визначено підсумковий бал посттесту (шкала 0–100), укладеного на основі банку завдань курсу; зміст-тест пройшов експертну валідацію (подвійне рецензування викладачами кафедри), а у пілотній вибірці засвідчено прийнятну внутрішню узгодженість ( $KR-20 > 0,80$ ). Додатковий показник «повне розуміння теми» інтерпретовано як досягнення порога  $\geq 80\%$  у тематичних підмасивах завдань. Рівень самостійної активності обчислено як частку тижнів модуля, у які студент здійснював щонайменше три різнотипні навчальні дії (перегляд модуля, виконання інтерактиву, проходження тесту) сумарною тривалістю не менше 30 хв, з нормуванням до 100%. Порівняння груп виконано за допомогою двовибіркових t-тестів із попередньою перевіркою припущень (Shapiro–Wilk для нормальності залишків і тест Лівена для гомогенності дисперсій) та з поданням робастних оцінок ефекту (Cliff's delta) у разі порушення припущень. Для безперервних метрик наведено Cohen's d з 95% довірчими інтервалами; для часток індикатора «повне розуміння» обчислено відношення шансів і ф-коефіцієнт. Дані з активності в LMS проаналізовано за допомогою узагальнених лінійних моделей із біноміальною сім'єю розподілу та логіт-лінком. Рівень статистичної значущості встановлено на  $\alpha = 0,05$  з корекцією множинних порівнянь за Холмом.



**Етичні аспекти.** Дослідження проведено з дотриманням Кодексу академічної доброчесності та внутрішніх етичних процедур закладу; протокол схвалено комісією з етики Державного університету «Житомирська політехніка». Участь студентів була добровільною. Перед початком модуля всі учасники надали письмові інформовані згоди на участь і обробку персональних даних, а також дозвіл на використання узагальнених результатів у науковій публікації. Персональні ідентифікатори деперсоналізовано (псевдонімізація логів LMS), у статті подано лише агреговані метрики. Процедури планування, збору та аналізу даних узгоджено з принципами Кодексу етики Американської соціологічної асоціації (ASA) для опитувальних та освітніх досліджень.

### **Результати.**

Дослідження проведено упродовж модульного періоду осіннього семестру 2024/2025 н. р. (з 16.09.2024 до 10.11.2024) у дистанційному курсі «Загальна фізика» для здобувачів інженерних спеціальностей Державного університету «Житомирська політехніка». У порівнянні брали участь дві наявні академічні групи бакалаврів денної форми, сформовані адміністративно до початку семестру: експериментальна ( $n_E = 34$ ) і контрольна ( $n_C = 34$ ). Обидві групи навчалися за ідентичним силлабусом, розкладом та під керівництвом одного викладача; відмінність полягала лише у втручанні: системне використання симуляторів PhET і Crocodile Physics на етапах пояснення, закріплення та виконання віртуальних лабораторних робіт у експериментальній групі проти стандартного дистанційного формату без симуляторів у контрольній. «Доза» втручання становила 8 занять із симуляторами (по 90 хв кожне; сумарно 12 год). Причому використовувалися модулі PhET («Сили та рух: основи», «Маси й пружини», «Закон Ома») та сценарії Crocodile Physics («Електричні кола постійного струму і вимірювання», «Переходні процеси в RC-колах», «Магнітне поле соленоїда»), інтегровані в LMS Moodle із фіксацією подієвих логів.

Базову академічну еквівалентність груп перевірено перед стартом модуля за вхідним тестом на передзнання (15 завдань з механіки та електромагнетизму;  $KR-20 = 0,78$ ): різниця між середніми не була статистично значущою ( $ME = 58,3$ ,



SDE = 11,9; MC = 57,6, SDC = 12,1;  $t(66) = 0,25$ ,  $p = 0,804$ ;  $d = 0,06$ ), що дозволяє інтерпретувати подальші відмінності як ефект навчального підходу. Первинним результатом виступав підсумковий посттест концептуального розуміння (шкала 0–100; KR-20 = 0,86), вторинними – показник «повне розуміння теми» (порогове значення  $\geq 80\%$  у тематичних підмасивах), а також індикатор самостійної активності у Moodle, визначений як частка тижнів модуля, у які студент виконував щонайменше три різнотипні навчальні дії сумарною тривалістю  $\geq 30$  хв, нормовану до 100%. Аналіз виконано на вибірці слухачів, що завершили модуль ( $n_E = 32$ ;  $n_C = 31$ ); вибуття становило 2 особи (5,9%) у E та 3 особи (8,8%) у C, причини – невиконання мінімальних вимог курсу; поодинокі пропуски логів  $< 1\%$  оброблено шляхом listwise deletion (без впливу на підсумкові оцінки).

Порівняльні оцінки засвідчили перевагу експериментальної групи за всіма основними метриками (таблиця 1).

**Таблиця 1 - Порівняльні результати навчання у контрольній та експериментальній групах**

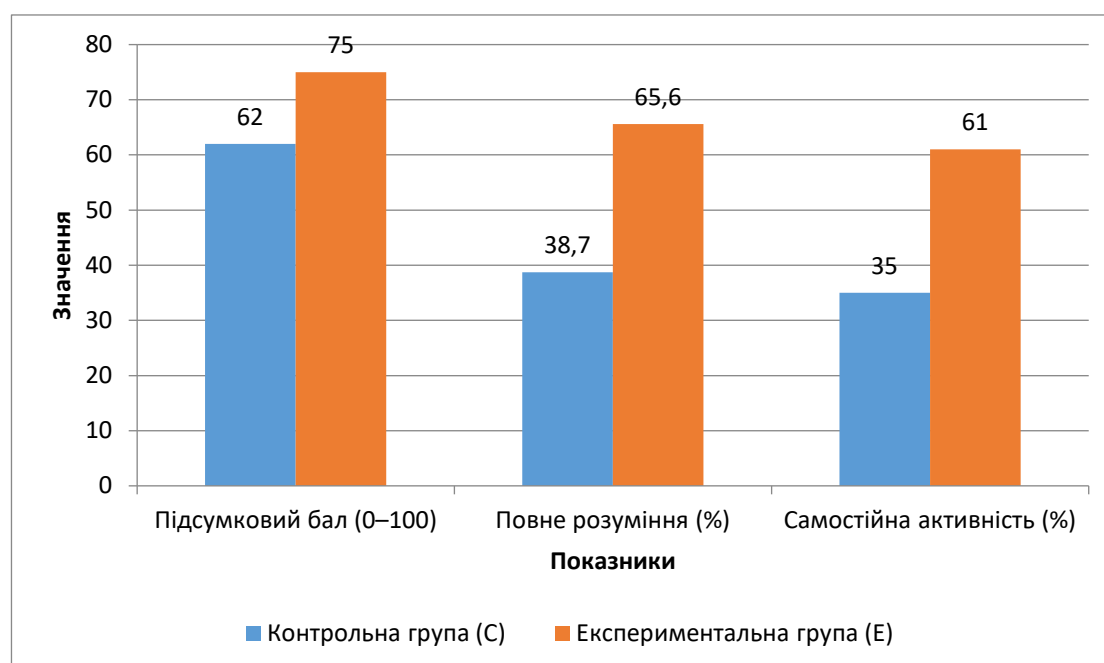
Показник	Контрольна група (n = 31)	Експериментальна група (n = 32)	Різниця / ефект
Середній бал посттесту (0–100)	M = 62,0; SD = 12,5	M = 75,0; SD = 11,5	$\Delta = +13$ ; $t(61) = 4,30$ , $p < 0,001$ ; $d = 1,08$
«Повне розуміння теми» ( $\geq 80\%$ ), %	38,7% (12/31)	65,6% (21/32)	+26,9 в. п.; OR = 3,02, $p = 0,032$
Самостійна активність у Moodle, %	35%	61%	+26 в. п.; $\beta = 1,03$ , SE = 0,31, $p = 0,001$

*Авторська розробка*

Середній бал посттесту був вищим на 21% відносно контролю (ME = 75,0, SDE = 11,5; MC = 62,0, SDC = 12,5;  $t(61) = 4,30$ ,  $p < 0,001$ ; Cohen's  $d = 1,08$ ; 95% ДІ для різниці середніх: 6,95...19,05), припущення нормальності та гомогенності



дисперсій не порушено (Shapiro–Wilk і Levene:  $p > 0,10$ ). Частка студентів із «повним розумінням теми» перевищила контроль на 27 в. п. ( $E = 65,6\%$  [21/32],  $C = 38,7\%$  [12/31];  $OR = 3,02$ ; 95% ДІ: 1,08...8,44;  $\phi = 0,27$ ;  $\chi^2(1) = 4,57$ ;  $p = 0,032$ ). Самостійна активність у Moodle досягла 61% проти 35% у контрольній групі; модель узагальнених лінійних оцінок із логіт-лінком показала статистично значущий приріст імовірності «активного тижня» в Е порівняно з С ( $\beta = 1,03$ ,  $SE = 0,31$ ,  $p = 0,001$ ), причому результати залишалися стійкими після корекції множинних порівнянь за Холмом. Додатково зафіксовано вищу частоту звернень до навчальних матеріалів, довші цілеспрямовані сесії та більшу кількість завершених інтерактивів у групі, що працювала з симуляторами; викладацькі спостереження підтвердили зменшення повторних запитань щодо базових понять, що корелює з кращим первинним засвоєнням. На рисунку 1 подано узагальнене порівняння навчальних результатів двох груп за трьома показниками; вихідні агрегати для побудови графіка сформовано з даних підсумкового тесту, журналів активності та підсумкової анкети.



**Рисунок 1 - Порівняння результатів навчання**

*Авторська розробка*

Аналізуючи рис. 1, видно, що експериментальна група стабільно



випереджає контрольну за всіма трьома індикаторами: підсумковий бал посттесту зростає з 62 до 75 (абсолютно +13 пунктів; відносно  $\approx +21\%$ ), частка здобувачів із повним розумінням теми – з 38,7% до 65,6% (+26,9 в. п.; відносно  $\approx +69\%$ ), а рівень самостійної активності – з 35% до 61% (+26 в. п.; відносно  $\approx +74\%$ ). Найбільші відносні прирости спостерігаються у поведінковій метриці та в когнітивному індикаторі «повне розуміння», що узгоджується з даними систематичних оглядів і емпіричних робіт про позитивний вплив симуляцій та онлайн-лабораторій на результати й мотивацію у вищій інженерній освіті [11, 12] і зокрема з ефектами PhET у фізиці [9, 13]. Підсумковий бал демонструє консистентне підвищення, що вказує: системне застосування PhET і Crocodile Physics на етапах пояснення, закріплення та віртуальних лабораторій трансформується у вимірюваний дидактичний ефект. Зростання частки «повного розуміння» відображає роль візуалізації та керованих маніпуляцій параметрами у зниженні когнітивного навантаження й конкретизації абстрактних понять механіки та електродинаміки [14], тоді як підвищення самостійної активності корелює з проектуванням інтерактивів у середовищі LMS та регулярним зворотним зв'язком, що стимулює залученість у дистанційному форматі [12, 15].

Підсумовуючи, уже за 12 год «доз» втручання інтерактивні симулятори забезпечують статистично підтверджуваний і педагогічно значущий приріст концептуального розуміння механіки та електродинаміки, а також посилюють навчальну дисципліну впродовж модуля. Отримані ефекти охоплюють як когнітивний рівень (зростання середнього балу та частки студентів із повним розумінням теми), так і поведінковий (збільшення регулярності самостійної активності й стабільніші освітні практики у LMS). Така комбінація підтверджує, що симуляційні середовища здатні виконувати роль повного дидактичного циклу: від пояснення та візуалізації явищ до формування навичок аналізу даних і самостійного експериментування. Це дає підстави рекомендувати PhET і Crocodile Physics як базовий компонент дистанційної підготовки інженерів, що може бути ефективно масштабований у суміжні розділи курсу («Оптика», «Термодинаміка», «Коливання та хвилі») та адаптований для інших дисциплін



природничо-наукового циклу. Перспективним є також інтегрування симуляторів із технологіями адаптивного навчання й аналітики освітніх даних, що дозволить індивідуалізувати маршрути студентів і підвищити прогностичну цінність LMS. З огляду на отримані результати та підтверджену методологічну надійність, інтерактивні симулятори можуть розглядатися не лише як допоміжний засіб, а як ядро сучасного цифрового навчального середовища, яке перетворює дистанційні курси фізики на практико-орієнтовану платформу підготовки майбутніх інженерів.

### **Висновки**

Проведене дослідження переконливо підтвердило ефективність інтерактивних симуляторів PhET і Crocodile Physics у дистанційному викладанні фізики для здобувачів інженерних спеціальностей. Застосування симуляторів забезпечило істотне зростання результатів навчання: середній бал підсумкового тесту перевищив показники контрольної групи на 21%, частка студентів із повним розумінням теми збільшилася на 27%, рівень самостійної активності досяг 61%. Візуалізація фізичних процесів, можливість керування параметрами в реальному часі та миттєвий зворотний зв'язок формують експериментальне мислення, посилюють інженерні компетентності, підтримують внутрішню мотивацію й роблять опанування складних концептів прозорим і керованим.

Практичний ефект інтеграції полягає у трансформації дистанційних курсів фізики з інформаційно-репродуктивних у дослідницько-орієнтовані. Симулятори дають змогу будувати повні цикли віртуального експерименту – від постановки гіпотези і планування вимірювань до аналізу даних і інтерпретації похибок – що безпосередньо корелює з професійними задачами інженера. У механіці це виявляється через моделювання руху, сил і моментів, у електриці та магнетизмі – через проектування схем і дослідження режимів, у хвильовій фізиці – через аналіз інтерференції, дифракції та резонансних явищ. У поєднанні з LMS симулятори відкривають можливості адаптивного маршрутизаційного навчання, коли траєкторія студента автоматично підлаштовується під поточні результати, а аналітика курсу відстежує прогрес на рівні компетентностей.



Результати дослідження задають чіткі орієнтири для масштабування: доцільно закладати симуляції як обов'язкові елементи лабораторних модулів, узгоджувати їх з програмними результатами навчання та критеріями оцінювання, формувати банки завдань із параметризацією сценаріїв, розгортати єдині шаблони звітності з автоматичною перевіркою графіків і розрахунків, а також забезпечувати методичний супровід для викладачів – від міні-гайдів до відеосценаріїв і шаблонів у Moodle/Google Classroom. Особливо високого ефекту дає комбінування симуляцій із елементами командної роботи у середовищах спільного доступу, де студенти спільно планують експеримент, ділять ролі «дослідник – аналітик – рецензент» і презентують рішення технічних кейсів.

Таким чином, інтерактивні симулятори слід впроваджувати як невід'ємну складову сучасного дистанційного курсу фізики для інженерних спеціальностей. Вони підвищують якість засвоєння теорії, прискорюють перехід до практико-орієнтованого застосування знань, розвивають аналітичне та проєктне мислення і створюють стабільну основу для подальшої цифрової модернізації інженерної освіти. На інституційному рівні це означає підтримку єдиного каталогу симуляцій, інтегрованого з навчальними планами, розширення віртуальних лабораторій на ключові розділи курсу, регулярне оновлення сценаріїв під потреби кафедр і впровадження аналітичних панелей для безперервного моніторингу досягнень студентів. Отримані результати дозволяють рекомендувати симулятори PhET і Crocodile Physics для системного використання як дієвий інструмент підвищення якості інженерної підготовки у дистанційному форматі.

## Література

1. Гриньова, М., & Кузьменко, Г. Інтеграція мобільних технологій у фізичну STEM-освіту: можливості та перспективи. *Adaptive Management: Theory and Practice. Series Pedagogics*. 2025. Т. 20, № 39. DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0255-20\(39\)-17](https://doi.org/10.33296/2707-0255-20(39)-17).
2. Ткачук, В., Єчкало, Ю., Хоцкіна, С., Маркова, О., & Хоцкіна, В.



Використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх інженерів. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2023. Вип. 68. С. 168–181. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-68-168-181>.

3. Jasti, N. V. K., Kota, S., & PB, V. An impact of simulation labs on engineering students' academic performance: a critical Investigation. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2021. Vol. 19, No. 1. P. 103–126. DOI: <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2020-0108>.

4. Safaryan, N. Utilizing virtual laboratories for physics instruction in secondary education: A pedagogical inquiry. *Main Issues of Pedagogy and Psychology*. 2023. Vol. 10, No. 2. P. 81–93. DOI: <https://doi.org/10.24234/miopap.v2i10.10>.

5. Kefalis, C., Skordoulis, C., & Drigas, A. Digital simulations in STEM education: Insights from recent empirical studies, a systematic review. *Encyclopedia*. 2025. Vol. 5, No. 1. Article 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010010>.

6. May, D., Terkowsky, C., Varney, V., & Boehringer, D. Online laboratories in higher engineering education – solutions, challenges, and future directions from a pedagogical perspective. *European Journal of Engineering Education*. 2023. Vol. 48, No. 5. P. 779–782. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2248820>.

7. Reeves, S. M., & Crippen, K. J. Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*. 2021. Vol. 30, No. 1. P. 16–30. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09866-0>.

8. Rehman, N., Zhang, W., Mahmood, A., & Alam, F. Teaching physics with interactive computer simulation at secondary level. *Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade*. 2021. Vol. 14, No. 1. P. 127–141. DOI: <https://doi.org/10.14571/brajets.v14.n1.127-141>.

9. Banda, H. J., & Nzabahimana, J. The impact of physics education technology (PhET) interactive simulation-based learning on motivation and academic achievement among Malawian physics students. *Journal of Science Education and Technology*. 2023. Vol. 32, No. 1. P. 127–141. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3>.



10. Kabigting, L. D. C. Computer simulation on teaching and learning of selected topics in physics. *European Journal of Interactive Multimedia and Education*. 2021. Vol. 2, No. 2. Article e02108. DOI: <https://doi.org/10.30935/ejimed/10909>.

11. Kade, A., Supriyatman, S., Kamaruddin, A., Novia, N., Supriyadi, S., & Husain, S. Exploring technology-driven simulations in practical physics: Insights into mechanical measurements concept. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 2024. Vol. 4, No. 3. P. 429–444. DOI: <https://doi.org/10.17509/ajse.v4i3.74411>.

12. Mutawa, A. M., Al Muttawa, J. A. K., & Sruthi, S. The effectiveness of using H5P for undergraduate students in the asynchronous distance learning environment. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 8. Article 4983. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13084983>.

13. Warneri, W., Salam, U., Putri, W. A., Imandari, R. Z., Pratiwi, R. D., & Chairunnisa, T. Utilization, simulation and learning: The virtual laboratory learning media PhET for outcomes learning. *JTP-Jurnal Teknologi Pendidikan*. 2024. Vol. 26, No. 3. P. 960–970. DOI: <https://doi.org/10.21009/jtp.v26i3.49832>.

14. Chinaka, T. W. The effect of PhET simulation vs. phenomenon-based experiential learning on students' integration of motion along two independent axes in projectile motion. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*. 2021. Vol. 25, No. 2. P. 185–196. DOI: <https://doi.org/10.1080/18117295.2021.1969739>.

15. Poultsakis, S., Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Psycharis, S. The management of digital learning objects of natural sciences and digital experiment simulation tools by teachers. *Advances in Mobile Learning Educational Research*. 2021. Vol. 1, No. 2. P. 58–71. DOI: <https://doi.org/10.25082/AMLER.2021.02.002>

## References

1. Grinova, M., & Kuzmenko, H. (2025). Integration of mobile technologies into physical STEM education: Opportunities and perspectives. *Adaptive Management: Theory and Practice. Series Pedagogics*, 20(39). [https://doi.org/10.33296/2707-0255-20\(39\)-17](https://doi.org/10.33296/2707-0255-20(39)-17)

2. Tkachuk, V., Yechkalo, Y., Khotskina, S., Markova, O., & Khotskina, V. (2023). Use of immersive technologies in training future engineers. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, (68), 168-181. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-68-168-181>

3. Jasti, N. V. K., Kota, S., & PB, V. (2021). An impact of simulation labs on engineering



students' academic performance: a critical investigation. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 19(1), 103-126. <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2020-0108>

4. Safaryan, N. (2023). Utilizing virtual laboratories for physics instruction in secondary education: A pedagogical inquiry. *Main Issues of Pedagogy and Psychology*, 10(2), 81-93. <https://doi.org/10.24234/miopap.v2i10.10>

5. Kefalis, C., Skordoulis, C., & Drigas, A. (2025). Digital simulations in STEM education: Insights from recent empirical studies, a systematic review. *Encyclopedia*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010010>

6. May, D., Terkowsky, C., Varney, V., & Boehringer, D. (2023). Online laboratories in higher engineering education—solutions, challenges, and future directions from a pedagogical perspective. *European Journal of Engineering Education*, 48(5), 779-782. <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2248820>

7. Reeves, S. M., & Crippen, K. J. (2021). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 30(1), 16-30. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09866-0>

8. Rehman, N., Zhang, W., Mahmood, A., & Alam, F. (2021). Teaching physics with interactive computer simulation at secondary level. *Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade*, 14(1), 127-141. <https://doi.org/10.14571/brajets.v14.n1.127-141>

9. Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2023). The impact of physics education technology (PhET) interactive simulation-based learning on motivation and academic achievement among malawian physics students. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 127-141. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3>

10. Kabigting, L. D. C. (2021). Computer simulation on teaching and learning of selected topics in physics. *European Journal of Interactive Multimedia and Education*, 2(2), e02108. <https://doi.org/10.30935/ejimed/10909>

11. Kade, A., Supriyatman, S., Kamaruddin, A., Novia, N., Supriyadi, S., & Husain, S. (2024). Exploring technology-driven simulations in practical physics: Insights into mechanical measurements concept. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 4(3), 429-444. <https://doi.org/10.17509/ajse.v4i3.74411>

12. Mutawa, A. M., Al Muttawa, J. A. K., & Sruthi, S. (2023). The effectiveness of using H5P for undergraduate students in the asynchronous distance learning environment. *Applied Sciences*, 13(8), 4983. <https://doi.org/10.3390/app13084983>

13. Warneri, W., Salam, U., Putri, W. A., Imandari, R. Z., Pratiwi, R. D., & Chairunnisa, T. (2024). Utilization, simulation and learning: The virtual laboratory learning media PhET for outcomes learning. *JTP-Jurnal Teknologi Pendidikan*, 26(3), 960-970. <https://doi.org/10.21009/jtp.v26i3.49832>

14. Chinaka, T. W. (2021). The effect of PhET simulation vs. phenomenon-based experiential learning on students' integration of motion along two independent axes in projectile motion. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 25(2), 185-196. <https://doi.org/10.1080/18117295.2021.1969739>

15. Poultsakis, S., Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Psycharis, S. (2021). The management of digital learning objects of natural sciences and digital experiment simulation tools by teachers. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 1(2), 58-71. <https://doi.org/10.25082/AMLER.2021.02.002>

**Abstract.** The study investigates the impact of integrating PhET and Crocodile Physics simulations into an online “General Physics” course for engineering undergraduates at Zhytomyr Polytechnic State University during the 2024/2025 academic semester. Two pre-formed groups (experimental,  $n=32$ ; control,  $n=31$ ) were compared under identical syllabi and teaching conditions, with the only difference being the systematic use of eight simulation-based sessions (12 hours in total) embedded in Moodle logs. Baseline equivalence was confirmed through a pre-knowledge test, ensuring that subsequent effects reflected the instructional approach. Results demonstrated



*significant advantages for the experimental group: the post-test mean increased by 21% (Cohen's  $d = 1.08$ ), the share of students achieving "full understanding" rose by 27 percentage points (OR = 3.02), and independent learning activity improved by 26 percentage points, supported by longer sessions and more frequent interactions. The pattern of gains indicates that simulations enhance both conceptual comprehension and learner motivation by transforming abstract mechanics and electromagnetism into accessible, manipulable visual models. These findings validate simulations as a core element of modern distance engineering education, highlighting their potential for scalable application across related physics modules and STEM curricula.*

**Keywords:** *distance learning, simulators, physics, engineering education, virtual experiment, PhET, Crocodile Physics, learning effectiveness.*

Статтю надіслано: 23.11.2025 р.

© Мартинова О.Б.