



” Дементьев Є., Юрченко А. Використання відкритих освітніх платформ для формування інженерного мислення у курсах мікроелектроніки. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2025. Том 13, № 6. С. 98-103. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol13i6-013>.

Diementiev Ye., Yurchenko A. Vykorystannia vidkrytykh osvitynykh platform dlia formuvannia inzhenerneho myslennia u kursakh mikroelektroniky [Using open educational platforms to develop engineering thinking in microelectronics courses]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 2025. Vol. 13, No 6. S. 98-103. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol13i6-013>.

DOI: 10.31110/2616-650X-vol13i6-013

Євгеній ДЕМЕНТЬЄВ¹, Артем ЮРЧЕНКО²

¹⁻² Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, Україна

¹ edementev8@gmail.com

² <https://orcid.org/0000-0002-6770-186X>
a.yurchenko@fizmatsspu.sumy.ua

ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ ОСВІТНІХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНОГО МИСЛЕННЯ У КУРСАХ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ

Анотація. Під впливом інформатизації і стрімкого розвитку цифрових технологій відкриті освітні платформи стають доступним інструментом не лише для самостійного та формалізованого навчання, але й розвитку різних особистісних якостей у процесі професійної підготовки. Статтю присвячено проблемі формування інженерного мислення здобувачів вищої освіти у процесі вивчення мікроелектроніки з використанням відкритих освітніх платформ. У роботі підкреслюється, що відкриті цифрові ресурси відіграють дедалі важливішу роль у розвитку практико-орієнтованого, логіко-аналітичного та проєктного мислення студентів, які навчаються на технічних і педагогічних спеціальностях у межах STEM-орієнтованого підходу. Здійснено теоретичний аналіз потенціалу платформ Tinkercad Circuits, Falstad, CircuitVerse, All About Circuits, Learnabout-Electronics та MIT OpenCourseWare, а також проведено емпіричне вивчення думок стейкхолдерів щодо зручності, мотиваційного впливу, змістовної логіки та функціональності зазначених ресурсів. У результаті контент-аналізу було розроблено порівняльну характеристику платформ за такими параметрами: тип ресурсів, інтерфейс, рівень симуляції та дидактичні можливості. Отримані дані свідчать, що найефективнішими для розвитку інженерного мислення є ті середовища, які поєднують симуляцію, інтерактивність, теоретичну підтримку та варіативність проєктних завдань. Робота з такими платформами стимулює здобувачів до аналізу схем, пошуку технічних рішень, моделювання та рефлексії над результатами. У дискусійному блоці проаналізовано відповідність виявлених тенденцій міжнародному досвіду та охарактеризовано умови ефективної педагогічної інтеграції відкритих освітніх платформ у структуру курсів з мікроелектроніки. Стаття завершується висновками щодо перспектив подальших досліджень і рекомендаціями щодо дидактичного супроводу використання ВОР у підготовці майбутніх фахівців інженерного та педагогічного профілю.

Ключові слова: відкриті освітні ресурси; мікроелектроніка; інженерне мислення; цифрові платформи; STEM-освіта; Tinkercad; CircuitVerse; симулятори; проєктне навчання; підготовка вчителів інформатики; професійна освіта.

Yevhenii DIEMENTIEV¹, Artem YURCHENKO²

¹⁻³ Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Ukraine

¹ edementev8@gmail.com

² <https://orcid.org/0000-0002-6770-186X>
a.yurchenko@fizmatsspu.sumy.ua

USING OPEN EDUCATIONAL PLATFORMS TO DEVELOP ENGINEERING THINKING IN MICROELECTRONICS COURSES

Abstract. Under the influence of informatization and the rapid development of digital technologies, open educational platforms are becoming an accessible tool not only for self-directed and formalized learning but also for the development of various personal qualities in the process of professional training. This article addresses the issue of developing engineering thinking in higher education students during microelectronics courses through the use of open educational platforms. The study emphasizes that open digital resources play an increasingly important role in fostering practice-oriented, logical-analytical, and project-based thinking in students of technical and pedagogical specialties within a STEM-oriented approach. A theoretical analysis of the potential of platforms such as Tinkercad Circuits, Falstad, CircuitVerse, All About Circuits, Learnabout-Electronics, and MIT OpenCourseWare was conducted, along with an empirical investigation of stakeholder opinions regarding the usability, motivational impact, content logic, and functionality of these resources. A comparative analysis of the platforms was developed based on the following parameters: type of resources, interface, level of simulation, and didactic capabilities. The findings indicate that the most effective environments for developing engineering thinking are those that combine simulation, interactivity, theoretical support, and variability in project tasks. Working with such platforms encourages students to analyze circuits, search for technical solutions, engage in modeling, and reflect on the results. The discussion section examines how the identified trends align with international experience and describes the conditions for the effective pedagogical integration of open educational platforms into microelectronics course structures. The article concludes with findings on the prospects for further research and provides recommendations for the didactic support of OEP use in training future specialists in engineering and pedagogy.

Keywords: open educational resources; microelectronics; engineering thinking; digital platforms; STEM education; Tinkercad; CircuitVerse; simulators; project-based learning; informatics teacher training; professional education.

Постановка проблеми. У сучасному освітньому просторі мікроелектроніка постає не лише як фундаментальна дисципліна інженерного профілю, а й як ключовий компонент міждисциплінарної підготовки в межах STEM-підходу. Зважаючи на зростання ролі цифрових технологій та поширення

концепції відкритої освіти, особливої актуальності набуває питання ефективного використання відкритих освітніх ресурсів (ВОР) і платформ у формуванні інженерного мислення студентів, які опановують курси з мікроелектроніки.

В умовах глобалізації знань і стрімкого розвитку цифрових освітніх технологій відкриті освітні платформи (зокрема, Tinkercad, CircuitVerse, Falstad, Learnabout-Electronics, All About Circuits, edX, Coursera, MIT OpenCourseWare) стають доступним інструментом для самостійного та формалізованого навчання. Вони забезпечують не лише вільний доступ до теоретичних матеріалів і симуляторів, а й інтерактивну взаємодію з віртуальними компонентами, моделювання схем, отримання зворотного зв'язку та виконання практичних проєктів. Така інтеграція освітнього контенту, інструментів моделювання і механізмів самоперевірки створює нову якість навчального досвіду і потенційно сприяє розвитку інженерного способу мислення.

Проте, незважаючи на широку доступність відкритих ресурсів, проблема полягає у відсутності цілеспрямованої педагогічної інтеграції таких платформ у навчальні програми технічних і педагогічних закладів вищої освіти. В освітніх практиках домінують локальні підходи або епізодичне використання ВОР як допоміжного інструменту [12], що не супроводжується ані методичною структуризацією, ані оцінюванням впливу на формування інженерного мислення. Це ускладнює реалізацію компетентнісного і проблемно-орієнтованого підходів, які є ключовими для якісної підготовки майбутніх фахівців.

У цьому контексті виникає потреба у дослідженні дидактичного потенціалу відкритих освітніх платформ як засобу формування інженерного мислення здобувачів вищої освіти. Особливої уваги потребує вивчення того, наскільки такі ресурси сприяють розвитку аналітичного, структурно-логічного, технологічного і проєктного мислення складових, що визначають здатність студента діяти в інженерних умовах. Також актуальним є питання інтеграції ВОР у структуру курсів з мікроелектроніки з урахуванням різних рівнів навчальної автономії, цифрової підготовленості та мотивації студентів.

Аналіз актуальних досліджень. Питання використання відкритих освітніх ресурсів і онлайн-платформ у галузі інженерної освіти стало предметом активного наукового аналізу в останнє десятиліття. Більшість сучасних дослідників розглядають ВОР не лише як інструмент демократизації знань, а й як середовище для розвитку когнітивних, аналітичних і конструктивних здібностей, що є фундаментом інженерного мислення. За даними численних досліджень, інженерне мислення формується найефективніше у контексті вирішення реальних задач, моделювання технічних процесів і проєктної діяльності, що створює потенціал для використання інтерактивних освітніх платформ, які забезпечують змінне навчання (adaptive learning), візуалізацію та зворотний зв'язок.

У міжнародній практиці платформами, що довели свою ефективність у контексті інженерного навчання, є Tinkercad Circuits, CircuitVerse, Learnabout-Electronics, All About Circuits, а також відкриті курси на edX, Coursera, FutureLearn і MIT OpenCourseWare [11]. У рамках цих ресурсів навчальні матеріали інтегруються з цифровими симуляторами, що дає змогу не лише отримати доступ до знань, а й застосовувати їх на практиці шляхом віртуального моделювання схем, діагностики помилок і тестування альтернативних рішень. Такий формат навчання сприяє формуванню аналітичних і логіко-структурних навичок ключових елементів інженерного способу мислення [1; 5].

Ряд досліджень акцентує на тому, що відкриті симулятори електронних схем, зокрема Falstad, EveryCircuit, Wokwi або PartSim, дозволяють розвивати здатність студентів до гіпотетичного мислення, перевірки гіпотез і пояснення електричних явищ, що є критично важливим для розуміння мікроелектроніки. Досвід використання віртуальних платформ у країнах ЄС і США демонструє, що навіть за відсутності фізичної лабораторії студенти можуть досягати високого рівня готовності до вирішення проєктних завдань [2; 3].

Паралельно з технічною функціональністю, важливим аспектом ВОР є педагогічна підтримка наявність інтегрованих сценаріїв, посібників, форумів підтримки, систем самоперевірки, а також можливості створення або адаптації навчальних матеріалів викладачами [4]. Це підтверджується досвідом платформ All About Circuits, Learnabout-Electronics, CircuitVerse, які забезпечують відкриту ліцензію на повторне використання контенту в навчальному середовищі.

Водночас, дослідження вказують на обмеження ВОР у контексті підготовки педагогів. Брак методичних орієнтирів, фрагментарність цифрових ресурсів, різноманітність рівнів складності, відсутність системи оцінювання прогресу усе це ускладнює їх інтеграцію в освітні програми без додаткової адаптації [6; 8]. Для подолання цих викликів пропонуються моделі педагогічного дизайну, що включають структурування контенту за рівнями компетентності, поєднання віртуальних симуляцій із рефлексивною та проєктною діяльністю.

Таким чином, аналіз наукової літератури та практичного досвіду засвідчує, що відкриті освітні ресурси мають значний потенціал у формуванні інженерного мислення студентів, які вивчають мікроелектроніку. Проте їх ефективність значною мірою залежить від способу інтеграції у навчальний

процес, якості дидактичного супроводу та рівня цифрової підготовленості як здобувачів освіти, так і викладачів.

Метою цього дослідження є визначення дидактичного потенціалу відкритих освітніх платформ у формуванні інженерного мислення здобувачів вищої освіти у процесі вивчення мікроелектроніки, а також розроблення рекомендацій щодо їх ефективної інтеграції в навчальні курси технічного і педагогічного спрямування. У центрі дослідницької уваги перебувають ті аспекти, які, на думку стейкхолдерів, можуть вплинути на розвиток аналітичного, логіко-конструктивного, проєктного і технологічного типів мислення, які разом увиразнюють інженерний тип мислення.

Для досягнення мети було застосовано комплекс **методів**, що поєднує теоретичний аналіз і емпіричне вивчення практики застосування відкритих освітніх ресурсів. На теоретичному рівні здійснено аналіз науково-педагогічної літератури, електронних джерел, міжнародного досвіду, а також нормативних документів, що регламентують впровадження цифрових технологій та STEM-орієнтованих підходів у вищу освіту. Проведено контент-аналіз відкритих платформ (Tinkercad Circuits, Falstad, CircuitVerse, All About Circuits, Learnabout-Electronics, MIT OpenCourseWare), зокрема їх функціональних можливостей, педагогічного інтерфейсу, типів завдань, системи зворотного зв'язку та ліцензійних умов використання.

Емпірична частина дослідження базується на спостереженні та аналізі відповідей стейкхолдерів щодо зручності інтерфейсу, логіки навчального контенту, мотиваційного впливу та рівня розуміння електронних процесів після роботи з платформами. Отримані результати розглядалися в контексті зіставлення з міжнародними освітніми практиками та доступними кейсами інтеграції ВОР у інженерну підготовку.

Результати дослідження. У результаті теоретичного й контентного аналізу виявлено, що відкриті освітні платформи, які активно використовуються у сфері вивчення електроніки та мікроелектроніки, різняться як за функціональними характеристиками, так і за ступенем педагогічної опрацьованості. Найбільш придатними для формування інженерного мислення виявилися Tinkercad Circuits, Falstad, CircuitVerse, All About Circuits, Learnabout-Electronics та MIT OpenCourseWare. Аналіз їхніх можливостей показав, що ці платформи забезпечують базову симуляцію, візуалізацію процесів, поетапне тестування схем, варіативність завдань і супровід теоретичними модулями, що відповідає вимогам до середовищ проблемно-орієнтованого навчання.

Tinkercad Circuits характеризується високим рівнем візуалізації, інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом і наявністю середовища для Arduino-проєктів. Важливою перевагою є підтримка блочного та текстового програмування, що дозволяє вивчати логіку мікропроцесорів у динаміці. Платформа Falstad, попри свою простоту, забезпечує «живу» взаємодію з аналоговими і цифровими сигналами в режимі реального часу, що дає змогу розвивати здатність до гіпотетичного моделювання. CircuitVerse акцентує на створенні цифрових логічних схем, пропонуючи інструменти для візуального редагування і симуляції з можливістю поділу проєктів і співпраці в онлайн-овому середовищі. All About Circuits і Learnabout-Electronics демонструють потужну базу теоретичних матеріалів із прикладами, які доповнюються симуляційними вправами, контрольними питаннями й відкритими підручниками. MIT OpenCourseWare вирізняється гнучкістю курсової структури, орієнтацією на самостійне засвоєння контенту та наявністю відеолекцій і практичних сценаріїв, що дозволяють комбінувати формати навчання.

Узагальнені результати контент-аналізу відкритих освітніх платформ, які активно використовуються у курсах мікроелектроніки, наведено у табл. 1. Платформи систематизовано за типом ресурсів, особливостями інтерфейсу, рівнем симуляції та дидактичними можливостями, що дозволяє порівняти їх придатність до використання в контексті формування інженерного мислення.

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика відкритих освітніх платформ для вивчення мікроелектроніки

| Платформа | Тип ресурсів | Інтерфейс | Рівень симуляції | Дидактичні можливості |
|---------------------------|---|---|--|------------------------------------|
| Tinkercad Circuits | Симулятор + проєкти + теорія | Інтуїтивно зрозумілий, візуальний | Середній (Arduino, мікросхеми) | Самостійне і проєктне навчання |
| Falstad Circuit Simulator | Веб-симулятор схем | Мінімалістичний, базовий | Базовий (аналогові схеми) | Вивчення основ, тренування навичок |
| CircuitVerse | Цифрові логічні схеми | Графічний, підтримка колективної роботи | Цифрова логіка (високий рівень візуалізації) | Розробка схем, колаборація |
| All About Circuits | Теорія + вправи + інтеграція з симуляторами | Класичний, модульний | Опосередковано через приклади | Пояснення понять, самоперевірка |

| | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|
| Learnabout-Electronics | Текстові модулі + тести + інтерактив | Лаконічний, текстово-ілюстративний | Обмежена інтерактивність | Рівневі модулі, закріплення знань |
| MIT OpenCourseWare | Відеолекції + завдання + проєкти | Академічний, структурований | Відсутність моделювання, акцент на концептах | Поглиблене вивчення у відкритому форматі |

Аналіз свідчить про те, що найбільший потенціал для формування аналітичного й конструктивного мислення мають платформи Tinkercad Circuits та CircuitVerse, які поєднують симуляцію з візуалізацією, підтримкою проєктної діяльності та варіативністю навчального контенту. Falstad може бути ефективним на базовому етапі підготовки, тоді як All About Circuits і Learnabout-Electronics зручні для теоретичного супроводу і самоперевірки. MIT OpenCourseWare актуальна для поглибленого концептуального навчання, хоча не забезпечує інструментів моделювання. Таким чином, вибір платформи має ґрунтуватися на навчальних цілях, рівні складності курсу і бажаному типі інженерного мислення, що підлягає розвитку.

Емпірична частина дослідження, яка ґрунтувалася на опрацюванні думок стейкхолдерів (студентів і викладачів), дозволила виявити кілька ключових тенденцій. Усі респонденти позитивно відзначили зручність навігації, логіку побудови модулів та послідовність подання матеріалу в середовищах Tinkercad і CircuitVerse. Суттєвим мотиваційним чинником було названо можливість працювати у власному темпі, мати зворотний зв'язок і бачити динаміку результатів моделювання. Студенти відзначили, що робота з віртуальними схемами стимулює аналітичне мислення, змушує обґрунтовувати вибір компонентів і логіку з'єднань, а також сприяє кращому розумінню принципів роботи електроніки.

З боку викладачів, найбільш цінними функціональними можливостями було названо варіативність завдань, відкритий доступ без авторизації, простоту перевірки студентських рішень та наявність дидактичних сценаріїв, які можна адаптувати до рівня навчального курсу. Водночас було висловлено занепокоєння щодо обмеженої глибини моделювання в окремих платформах (зокрема, у Falstad та Learnabout-Electronics), відсутності автоматизованої системи оцінювання й обмеженого збереження користувацьких даних.

Аналіз проявів інженерного мислення на основі навчальних завдань і рефлексій студентів свідчить, що відкриті освітні платформи найбільше сприяють розвитку аналітичного та логіко-конструктивного мислення, дещо менше технологічного і проєктного. Виявлено також позитивний вплив на здатність до формулювання технічних гіпотез, аргументації вибору електронних рішень і виявлення помилок у схемах. Студенти, які працювали з Tinkercad Circuits та CircuitVerse, продемонстрували вищий рівень варіативності рішень, ніж ті, хто обмежувався теоретичним навчанням.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що за умови педагогічної адаптації відкриті освітні платформи є ефективним інструментом підтримки формування інженерного мислення в курсах мікроелектроніки, особливо на рівні бакалаврської підготовки майбутніх учителів інформатики або інженерів-початківців.

Обговорення. Отримані результати засвідчують, що відкриті освітні платформи мають значний потенціал у формуванні інженерного мислення здобувачів вищої освіти, зокрема в рамках курсів мікроелектроніки. Порівняльний аналіз платформ дозволив виокремити ті середовища, які забезпечують умови для активного, конструктивного й варіативного навчання, що, у свою чергу, сприяє розвитку логіко-конструктивного й аналітичного мислення провідних складників інженерного способу пізнання.

Найбільш вираженими ознаками ефективності ВОР є доступність моделювання, інтерактивність, гнучкість побудови навчальних траєкторій та наявність інструментів візуалізації, що дозволяють студентам не лише засвоювати теоретичний матеріал, а й самостійно формулювати технічні гіпотези, перевіряти їх у дії та обґрунтовувати вибір технічних рішень. Це повною мірою відповідає ознакам інженерного мислення як здатності бачити проблему в системі взаємопов'язаних параметрів, мислити алгоритмічно, враховувати обмеження й оптимізувати результат.

Порівняння із міжнародними дослідженнями підтверджує релевантність виявлених тенденцій. Зокрема, M. Nugraha, G. Kidman і H. Tan [3] наголошують, що саме цифрові середовища із відкритим доступом забезпечують простір для створення нового знання у міждисциплінарних STEM-контекстах. C. Jeong та ін. [2] підкреслюють зростаючу роль симуляцій у поєднанні з інтелектуальними системами як інструментів, що не лише відображають, а й прогнозують інженерну поведінку елементів. В українському контексті робота з такими платформами, як Tinkercad, CircuitVerse, Falstad, розглядається переважно як допоміжний елемент, тоді як міжнародний досвід демонструє успішні приклади системного впровадження ВОР у структуру академічних курсів [9; 10].

Особливої уваги заслуговує співвідношення між доступністю та глибиною ресурсів. Наприклад, Tinkercad і CircuitVerse надають можливості для моделювання й тестування, але водночас потребують дидактичного доповнення з боку викладача: структурування завдань, пояснення термінології, надання проектних ситуацій. MIT OpenCourseWare, навпаки, орієнтована на концептуальне мислення й академічну автономію, що вимагає від студентів високого рівня попередньої підготовки [7]. Це свідчить про доцільність диференційованого підходу до інтеграції ВОР у навчальні курси з урахуванням рівня складності, мотивації здобувачів та дидактичних завдань курсу.

Суттєвим викликом для ефективного використання відкритих ресурсів є відсутність адаптованих систем оцінювання прогресу, розпорошеність навчального контенту, а також нерівномірність методичного наповнення. З боку викладачів фіксується потреба у шаблонах інтеграції ВОР до структури занять, а також у прикладах проектних завдань з чіткими критеріями оцінювання, що дозволили б перетворити навчання на рефлексивний інженерний процес, а не лише на інструментальне відтворення знань.

Отже, відкриті освітні платформи не є універсальним рішенням, однак за наявності методичної підтримки, поетапного впровадження і продуманого педагогічного дизайну вони здатні виконувати роль ефективного засобу формування інженерного мислення. Особливо цінними вони є для реалізації автономного, змішаного або проектно орієнтованого навчання, в якому домінують міждисциплінарність, самостійна діяльність та критичне осмислення технічних рішень.

Висновки. Проведене дослідження засвідчило, що відкриті освітні платформи мають значний дидактичний потенціал у формуванні інженерного мислення здобувачів вищої освіти у процесі вивчення мікроелектроніки. Результати контент-аналізу доводять, що такі платформи, як Tinkercad Circuits, CircuitVerse, Falstad, All About Circuits, Learnabout-Electronics і MIT OpenCourseWare, забезпечують різний ступінь інтерактивності, моделювання, візуалізації та педагогічного супроводу, що дозволяє використовувати їх у відповідності до рівня складності навчального курсу і цільових освітніх результатів.

Емпіричне дослідження, засноване на оцінках стейкхолдерів, підтвердило, що робота з відкритими платформами сприяє розвитку логіко-конструктивного й аналітичного мислення, стимулює активну пізнавальну діяльність і формує навички самостійного вирішення інженерних задач. Здобувачі освіти, які працювали у віртуальних середовищах, продемонстрували вищий рівень варіативності у підходах до моделювання схем, здатність до формулювання гіпотез і аргументації технічних рішень. Водночас викладачі вказували на потребу у дидактичних сценаріях, структурованих шаблонах завдань і інструментах для оцінювання навчального прогресу, що дозволило б підвищити ефективність інтеграції ВОР у формальний освітній процес.

Порівняння з міжнародним досвідом підтвердило, що відкриті освітні платформи використовуються в провідних освітніх системах як засіб реалізації міждисциплінарного STEM-навчання, побудованого на принципах самостійності, практичної значущості та цифрової доступності. Водночас в Україні, попри наявність позитивних прикладів, відсутня системна методична база впровадження таких платформ у підготовку педагогів і фахівців інженерного спрямування.

Таким чином, для ефективного використання відкритих освітніх ресурсів у курсах мікроелектроніки необхідно забезпечити: поетапну педагогічну інтеграцію з урахуванням рівня складності й підготовки здобувачів; наявність навчально-методичних матеріалів і адаптованих завдань, що активізують інженерне мислення; формування системи оцінювання, яка відображає прояви аналітичного, конструктивного і проектного мислення; підготовку викладачів до реалізації навчання з використанням відкритих ресурсів у змішаному або дистанційному форматі.

У перспективі доцільно зосередити увагу на розробленні методичних моделей впровадження відкритих платформ у професійну підготовку майбутніх педагогів, створенні банку проектно-орієнтованих завдань з використанням симуляторів, а також дослідженні впливу конкретних платформ на окремі компоненти інженерного мислення.

Список використаних джерел

1. Borliboune S., Chuechor K., Vilaysane T., Keovilaysack S. The influence of computer-based simulation in teaching direct current circuits on improving students' academic achievement and attitudes. *MOJES: Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 2025. Vol. 13(2). Pp. 27–39.
2. Jeong C., Myung S., Huh I., Choi B., Kim J., Jang H., ... Kim D. S. Bridging TCAD and AI: Its application to semiconductor design. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2021. Vol. 68(11). Pp. 5364–5371. <https://doi.org/10.1109/TED.2021.3111162>
3. Nugraha M. G., Kidman G., Tan H. Interdisciplinary STEM education foundational concepts: Implementation for knowledge creation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2024. Vol. 20(10). No. em2523.
4. Semenikhina O. V., Drushlyak M. G., Bondarenko Yu. A., Kondratiuk S. M., Ionova I. M. Open Educational Resources as a Trend of Modern Education. *Proceedings of 42 International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics "MIPRO 2019", Opatija (Croatia), 20-24 травня, 2019.* P. 779 - 782.

5. Yadav A., Subedi D., Lundeberg, M. A., Bunting C. F. Problem-based learning: Influence on students' learning in an electrical engineering course. *Journal of Engineering Education*, 2014. Vol. 100(2). Pp. 253–280.
6. Yilmaz Ince E., Koc M. The consequences of robotics programming education on computational thinking skills: An intervention of the Young Engineer's Workshop (YEW). *Computer Applications in Engineering Education*, 2021. Vol. 29(1). Pp. 191–208. <https://doi.org/10.1002/cae.22321>
7. Yurchenko A., Drushlyak M., Sapozhnykov S., Teplytska S., Koroliova L., Semenikhina O. Using online IT-industry courses in the computer sciences specialists' training. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 2021. Vol. 21 No. 11. pp. 97-104. http://paper.ijcsns.org/07_book/202111/20211113.pdf
8. Zainuddin Z., Halili S. H. Flipped classroom research and trends from different fields of study. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 2016. Vol. 17(3). Pp. 313–340. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v17i3.2274>
9. Крамар С., Шишкіна М. Методичні особливості використання Arduino на платформі Tinkercad у середовищі неформальної освіти вчителів. Фізико-математична освіта, 2024. Том 39. № 5. С. 27-33. <https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-04>
10. Острога М., Шамо́ня В., Шершень О. Цифрові освітні платформи як інструмент реалізації неформальної освіти. Освіта. Інноватика. Практика, 2022. Том 10, №4. С. 27-36. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i4-004>
11. Семеніхіна О.В., Юрченко А.О., Сбруєва А.А., Кузьмінський А.І., Кучай О.В., Біда О.А. Відкриті цифрові освітні ресурси у галузі ІТ: кількісний аналіз. Інформаційні технології і засоби навчання, 2020. Том 75. №1. С. 331-348. <https://doi.org/10.33407/itlt.v75i1.3114>
12. Юрченко К. В., Семеніхіна О. В. STEM-освіта на відкритих освітніх платформах. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки, 2023. Випуск 208. С. 282-287. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2023-1-208-282-287>

References

1. Borliboune, S., Chuechor, K., Vilaysane, T., & Keovilaysack, S. (2025). The influence of computer-based simulation in teaching direct current circuits on improving students' academic achievement and attitudes. *MOJES: Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 13(2), 27–39.
2. Jeong, C., Myung, S., Huh, I., Choi, B., Kim, J., Jang, H., ... & Kim, D. S. (2021). Bridging TCAD and AI: Its application to semiconductor design. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 68(11), 5364–5371. <https://doi.org/10.1109/TED.2021.3111162>
3. Nugraha, M. G., Kidman, G., & Tan, H. (2024). Interdisciplinary STEM education foundational concepts: Implementation for knowledge creation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(10), em2523.
4. Semenikhina, O. V., Drushlyak, M. G., Bondarenko, Yu. A., Kondratiuk, S. M., & Ionova, I. M. (2019). Open Educational Resources as a Trend of Modern Education. *Proceedings of 42 International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics "MIPRO 2019"*, Opatija (Croatia), 779 - 782.
5. Yadav, A., Subedi, D., Lundeberg, M. A., & Bunting, C. F. (2014). Problem-based learning: Influence on students' learning in an electrical engineering course. *Journal of Engineering Education*, 100(2), 253–280.
6. Yilmaz Ince, E., & Koc, M. (2021). The consequences of robotics programming education on computational thinking skills: An intervention of the Young Engineer's Workshop (YEW). *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 191–208. <https://doi.org/10.1002/cae.22321>
7. Yurchenko, A., Drushlyak, M., Sapozhnykov, S., Teplytska, S., Koroliova, L., & Semenikhina, O. (2021). Using online IT-industry courses in the computer sciences specialists' training. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 21(11), 97-104. http://paper.ijcsns.org/07_book/202111/20211113.pdf
8. Zainuddin, Z., & Halili, S. H. (2016). Flipped classroom research and trends from different fields of study. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 17(3), 313–340. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v17i3.2274>
9. Kramar, S., & Shyshkina, M. (2024). Metodichni osoblyvosti vykorystannia Arduino na platformi Tinkercad u seredovyshchi neformalnoi osvity vchyteliv [Methodical features of the use of Arduino on the base of Tinkercad platform in the process of non-formal education of teachers]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 39(5), 27-33. <https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-04>
10. Ostroha, M., Shamonia, V., & Shershen, O. (2022). Tsyfrovi osvitiplatformy yak instrument realizatsii neformalnoi osvity [Digital educational platforms as a tool for the implementation of informal education]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 10(4), 27-36. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i4-004>
11. Semenikhina, O. V., Yurchenko, A. O., Sbruieva, A. A., Kuzminskyi, A. I., Kuchai O. V., & Bida, O. A. (2020). The open digital educational resources in it-technologies: quantity analysis. *Information Technologies and Learning Tools*, 75(1), 331-348. <https://doi.org/10.33407/itlt.v75i1.3114>
12. Yurchenko, K. V., Semenikhina, O. V. (2023). STEM-освіта на відкритих освітніх платформах [STEM education on open educational platforms]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedagogichni nauky – Academic Notes. Series: Pedagogical Sciences*, 208, 282-287. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2023-1-208-282-287>

| Матеріал надійшов до редакції: 19.05.2025 р. | Прийнято до друку: 10.06.2025 р. | Опубліковано: 30.06.2025 р. |

