

ШЕВЧЕНКО В. І., к.т.н., доцент,
ЛАВРУХІН О. В., д. т. н., професор

VirtLab: концепція модульної цифрової освітньої екосистеми для професійної та STEM-підготовки фахівців транспортної галузі



Анотація. Стрімка цифровізація вищої освіти потребує єдиного цифрового середовища, що поєднує практичну підготовку, самостійне навчання та контроль знань, оскільки наявні рішення (LMS, Google Classroom, окремі віртуальні лабораторії) вирішують лише локальні завдання. У статті подано авторську концепцію цифрової освітньої екосистеми VirtLab, розроблену на кафедрі управління вантажною і комерційною роботою УкрДУЗТ, — модульного середовища, що об'єднує віртуальні лабораторії, електронні посібники, мультимедійні та інтерактивні ресурси, електронну бібліотеку та елементи AI-консультування. Педагогічне підґрунтя спирається на конструктивізм, соціоконструктивізм, компетентнісний та особистісно-орієнтований підходи, принципи STEM-освіти. Наукова новизна — єдиний модульний принцип побудови різномірних освітніх ресурсів і універсальний шаблон багатоформатного навчального модуля. Практична цінність роботи полягає у створенні та діючій реалізації уніфікованого цифрового середовища, яке розв'язує проблему відсутності комплексного лабораторного практикуму для дистанційного та змішаного навчання. Застосування єдиного модульного шаблону і радіальної архітектури дає змогу безпечно відпрацьовувати складні та потенційно небезпечні виробничі операції транспортної галузі, суттєво зменшує ресурсні витрати на організацію навчального процесу і забезпечує легке масштабування освітніх і STEM-ресурсів на інші дисципліни і заклади освіти.

Ключові слова: цифрова освіта, віртуальна лабораторія, STEM, інтерактивне навчання, цифрова освітня екосистема, електронний посібник, модульне навчання, транспортна освіта, цифрова трансформація, компетентнісний підхід, штучний інтелект в освіті.

Вступ

Застосування новітніх інформаційно-комунікаційних технологій є характерною рисою сучасності для закладів вищої освіти. Для підвищення якості освітнього процесу, а саме забезпечення доступності освіти, її відповідності вимогам ринку праці, а також посилення індивідуалізації та диференціації навчання, заклади вищої освіти запроваджують передові технолого-педагогічні заходи, які дають змогу значно підвищити рівень цифрової компетентності здобувачів, вийти на безпрецедентно новий рівень організації освітньої діяльності, унеможливити ризики неефективного використання цифрових ресурсів, забезпечити побудову прозорої та ефективної системи цифрової трансформації освітнього процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що цифрова трансформація освіти — це не поодинокі технічні рішення, а стратегічний напрям трансформації системи освіти, який передбачає використання цифрових технологій задля посилення індивідуалізації, диференціації навчання та розвитку цифрової компетентності здобувачів і викладачів [1 – 4]. Водночас практика показує, що наявні цифрові рішення здебільшого вирішують окремі, вузько локалізовані завдання. Системи управління навчанням (Learning Management Systems, LMS) на кшталт Moodle чи Canvas добре пристосовані для розміщення матеріалів курсу, керування завданнями та

оцінювання, але не призначені для повноцінного відтворення практичної, лабораторної складової підготовки фахівця. Сервіси, подібні Google Classroom, є зручними для організації навчальної комунікації, проте поступаються повноцінним LMS у глибині педагогічних інструментів, адмініструванні програм і сертифікації [5]. Окремі віртуальні лабораторії та STEM-платформи, зокрема, зазвичай є ізольованими продуктами одного постачальника чи однієї дисципліни і не інтегровані в єдиний освітній простір закладу.

Для транспортної галузі, де підготовка фахівця традиційно спирається на практичні та лабораторні роботи, тренажерну підготовку і аналіз виробничих ситуацій, дефіцит комплексних цифрових рішень є особливо відчутним. Обмежений доступ до дорогого обладнання, потреба в безпечному відпрацюванні небезпечних або рідкісних операцій, а також необхідність практико-орієнтованого навчання в умовах дистанційного чи змішаного формату формує запит на цифрове середовище, здатне поєднати лабораторний практикум, електронні посібники, мультимедійний контент і засоби контролю знань в одній системі.

Відповідно до умов сучасного освітнього процесу, існують окремі цифрові рішення: LMS, сервіси відеоконференцій, поодинокі віртуальні лабораторії, однак це не забезпечує єдиного, модульного та масштабованого цифрового освітнього середовища, здатного одночасно охоплювати

© ШЕВЧЕНКО В. І., ЛАВРУХІН О. В., 2026

ІНФОРМАЦІЙНО–КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

практичну підготовку, самостійне навчання, контроль знань і консультаційну підтримку здобувачів у межах однієї транспортної спеціальності чи закладу освіти в цілому.

Визначення мети та завдання дослідження.

Необхідність змін у системі підготовки фахівців транспортної галузі диктує необхідність цифрової трансформації основних процесів організації освітнього процесу. На сьогодні удосконалення лише окремих цифрових інструментів не відповідає сучасним вимогам, і відповідно прийняті програми так званої цифрової трансформації основних освітніх процесів, які насамперед націлені на підвищення рівня автоматизованого обслуговування здобувачів, є недостатніми. Проблема сучасних цифрових рішень полягає в тому, що, розробляючи системи, урахували старі підходи, за старою технологією, яка сьогодні не влаштовує ринок праці. Для виправлення ситуації заклади вищої освіти планують замінити ізольовані цифрові рішення на систему з організації освітнього процесу, яка базуватиметься на інтеграції з іншими учасниками освітнього процесу (викладачів, здобувачів, адміністраторів, роботодавців) і буде перспективним напрямом розвитку цифрових освітніх платформ, особливим напрямом якої стане можливість замовляти не тільки навчальні матеріали, а й інші послуги (лабораторні роботи, тренажери, консультації, сертифікацію). Тобто планують перехід від системи «Розміщення матеріалів» до системи «Освітнього середовища» з автоматизацією всього «процесу організації навчання – від заявки на курс до можливого отримання сертифіката».

Отже, проблема, яку покликана розв'язати ця робота, полягає в тому, що існуючі окремі цифрові рішення (LMS, сервіси відеоконференцій, поодинокі віртуальні лабораторії) не забезпечують єдиного, модульного та масштабованого цифрового освітнього середовища, здатного одночасно охоплювати практичну підготовку, самостійне навчання, контроль знань і консультаційну підтримку здобувачів у межах однієї транспортної спеціальності чи закладу освіти в цілому.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Сучасний стан професійної та STEM-підготовки фахівців транспортної галузі формується під впливом кількох взаємопов'язаних тенденцій: цифровізації освітнього середовища, впровадження модульних принципів побудови навчальних програм, розвитку віртуальних лабораторій і симуляцій, а також інтеграції міждисциплінарних підходів на основі STEM. У цьому контексті концепція VirtLab як модульної цифрової освітньої екосистеми обґрунтована через аналіз наявних досліджень і практик у сферах віртуальних лабораторій, модульної освіти, цифрових екосистем і STEM-підготовки для транспортної індустрії.

Цифрова трансформація освіти і розвиток цифрових екосистем

Дослідження вказують, що цифровізація освіти є стратегічним пріоритетом для України, особливо в умовах воєнного стану та євроінтеграційних процесів [6]. Акцент зроблено на створенні єдиного функціонального освітнього середовища, де всі елементи навчального процесу від доступу до матеріалів і комунікацій, зворотного зв'язку та аналізу результатів пов'язані в цифрову екосистему [7 – 10]. Такий підхід відповідає ідеї VirtLab як інтегрованої платформи, що поєднує модульні освітні ресурси, віртуальні лабораторії, інструменти оцінювання і аналітики в єдину систему.

У науковій літературі зазначено про необхідність формування інтерактивних мультимедійних освітніх ресурсів із відкритим доступом для закладів освіти, що також узгоджується з концепцією модульної екосистеми, орієнтованої на гнучкість і масштабованість. Порівняльні дослідження систем управління навчанням (LMS) Moodle, Canvas і Google Classroom показують, що кожна з цих платформ має власну нішу застосування, проте жодна не забезпечує повноцінної інтеграції лабораторного практикуму, мультимедійного контенту і засобів контролю знань у єдиній архітектурі [5]. У межах Українського державного університету залізничного транспорту дистанційне навчання вже нині організовано комбіновано: асинхронно через LMS Moodle для технічних і економічних спеціальностей і Google Classroom для гуманітарних, а синхронно через сервіси відеоконференцій [11]. Це підтверджує як затребуваність цифрових інструментів, так і фрагментарність їх використання в межах одного закладу.

Модульний принцип організації навчального змісту

Модульна побудова навчальних програм є головним трендом у сучасній професійній і STEM-освіті. Зокрема, у методичних рекомендаціях щодо розвитку STEM-освіти запропоновано використання модульних курсів або додаткових модулів до існуючих предметів, що дає змогу поступово інтегрувати нові технології та практико-орієнтовані завдання [12, 13]. У контексті підготовки фахівців транспортної галузі модульність дає змогу поєднувати теоретичні блоки з практичними симуляціями, віртуальними лабораторіями та кейс-стаді, адаптуючи програми до конкретних потреб підприємств і ринку праці.

Дослідження також засвідчують, що модульний підхід сприяє інтеграції змісту кількох предметів у межах одного модуля, що особливо актуально для міждисциплінарної STEM-підготовки, де поєднані інженерія, технології, математика та природничі науки [12, 13].

ІНФОРМАЦІЙНО–КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Віртуальні лабораторії та симуляції у професійній підготовці

Віртуальні лабораторії визначені в науковій літературі як інформаційні системи, що інтерактивно моделюють реальні технічні об'єкти і їхні властивості, використовуючи засоби комп'ютерної візуалізації [14, 15]. У професійній підготовці для транспортної галузі віртуальні лабораторії та тренажери допомагають організувати безпечне, доступне та економічно ефективне навчання, особливо в умовах, коли робота з реальним обладнанням є обмеженою або небезпечною [16, 17].

У галузевій практиці описано хмарні платформи для навчання віртуальному моделюванню транспортних засобів, що поєднують 3D-моделі, засоби віртуального відображення та модулі збору даних про несправності, дають змогу реалізувати мережеве практичне навчання для професійної освіти в автомобільній сфері. Подібні за призначенням рішення застосовано і в логістиці і транспортному менеджменті, насамперед через платформи імітаційного моделювання на кшталт AnyLogic і Simio, які дають змогу відтворювати роботу логістичних центрів, управління ресурсами в кризових ситуаціях і моделювання складських процесів.

У міжнародному контексті віртуальні лабораторії розглядають як цифрові середовища для наукового відкриття, експериментування та управління дослідницькими робочими процесами, що не обмежено лише VR/AR, а включає модульні інтерфейси до цифрових або фізичних компонентів [14, 15, 18]. Це підтверджує доцільність концепції VirtLab як платформи, що інтегрує різні типи віртуальних лабораторій, симуляцій та інструментів аналізу в єдину екосистему.

STEM-підходи для підготовки фахівців транспортної галузі

STEM-освіта, яка інтегрує природничі науки, технології, інженерію та математику, стає важливим підґрунтям для формування компетентностей майбутніх фахівців транспортної індустрії. Сучасні дослідження підкреслюють необхідність використання інтерактивних методів, симуляторів транспортних систем, віртуальних лабораторій і проєктів на основі реальних кейсів (оптимізація транспортних потоків, планування маршрутів електромобілів, розумні світлофори тощо) [12, 13].

Особливу увагу приділено міждисциплінарності, коли інженерні, IT-, екологічні та управлінські компоненти поєднані в єдиних навчальних програмах, що відповідає модульній архітектурі VirtLab. Досвід міжнародних програм, зокрема магістерської програми подвійних дипломів «Стала логістика та управління ланцюгами постачання», яку УкрДУЗТ реалізує спільно з University of the West of Scotland (UWS), демонструє, що інтеграція цифрових технологій, принципів сталого розвитку та реальних виробничих завдань є критичною для підготовки фахівців, здатних

працювати в умовах відбудови транспортної інфраструктури [19].

Гнучкість, масштабованість і користувацька орієнтованість

У світовій практиці платформи типу VirtLab розглядають як гнучкі, масштабовані та орієнтовані на користувача рішення, які допомагають технічним і нетехнічним користувачам створювати, запускати і аналізувати симуляції без необхідності програмування. Це особливо важливо для освітніх екосистем, де викладачі, методисти і здобувачі мають різний рівень технічної підготовки.

Такі платформи підтримують мультиагентні взаємодії, просторове моделювання та адаптивні сценарії, що відкриває нові можливості для дослідження командної роботи, людино-машинної взаємодії та складних транспортних систем у навчальному середовищі.

Незважаючи на численні дослідження цифровізації освіти, віртуальних лабораторій, STEM-платформ і систем управління навчанням, у науковій літературі відсутня цілісна модель цифрової освітньої екосистеми транспортного профілю, яка б одночасно забезпечувала модульну побудову різноманітних цифрових ресурсів (лабораторії, посібники, мультимедійний контент, симулятори, тести, довідники); інтеграцію теоретичної, практичної, контрольної та консультаційної складових підготовки в межах єдиної архітектури; масштабованість на рівні кафедр, факультетів і закладів освіти без зміни базової структури. Наявні рішення — LMS (Moodle, Canvas), сервіси на кшталт Google Classroom, окремі віртуальні лабораторії та STEM-платформи — вирішують локальні завдання, проте не утворюють взаємопов'язаної екосистеми практико-орієнтованої підготовки фахівців транспортної галузі. Саме на подолання цієї прогалини — через розроблення та обґрунтування концепції модульної цифрової освітньої екосистеми VirtLab — і спрямовано це дослідження.

Визначення мети та завдання дослідження

Необхідність змін у системі підготовки фахівців транспортної галузі диктує необхідність цифрової трансформації основних процесів організації освітнього процесу. На сьогодні лише удосконалення окремих цифрових інструментів не відповідає сучасним вимогам, і відповідно прийняті програми так званої цифрової трансформації основних освітніх процесів, які насамперед націлені на підвищення рівня автоматизованого обслуговування здобувачів, є недостатніми. Проблема сучасних цифрових рішень полягає в тому, що з розробленням систем урахували старі підходи, за старою технологією, яка сьогодні не влаштовує ринок праці.

Метою роботи є подання авторської концепції цифрової освітньої екосистеми VirtLab, що поєднує віртуальні лабораторії, електронні посібники, мультимедійні навчальні ресурси (Smart Video, Smart

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Audio), інтерактивні модулі (симулятори, кейс-стаді, тестування), електронну бібліотеку та довідкові сервіси, а також елементи автоматизованого консультування на основі штучного інтелекту в єдиному цифровому освітньому просторі закладу вищої освіти транспортного профілю. Для виправлення ситуації заклади вищої освіти планують замінити ізольовані цифрові рішення на систему з організації освітнього процесу, яка базуватиметься на інтеграції з іншими учасниками освітнього процесу (викладачів, здобувачів, адміністраторів, роботодавців) і є перспективним напрямом розвитку цифрових освітніх платформ, особливим напрямом якої стане можливість замовляти не тільки навчальні матеріали, а й інші послуги (лабораторні роботи, тренажери, консультації, сертифікацію). Тобто заплановано перехід від системи «Розміщення матеріалів» до системи «Освітнього середовища» з автоматизацією усього «процесу організації навчання – від заявки на курс до можливого отримання сертифіката».

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі завдання:

- обґрунтовано педагогічні засади моделі VirtLab щодо сучасних теорій навчання;
- обґрунтовано архітектуру та принципи побудови екосистеми;
- описано структуру її основних модулів;
- сформульовано наукову новизну запропонованого підходу;
- подано практичну реалізацію концепції на базі УкрДУЗТ;
- наведено результати апробації розробки на рівні кафедр та в контексті міжуніверситетської взаємодії;
- окреслено обмеження, ризики та перспективи розвитку екосистеми.

Отже, на сьогодні для комплексного цифрового освітнього середовища з оперативним залученням потужностей, можливостей і фахівців профільних підприємств, організацій і фізичних осіб необхідно створити певні умови, до яких насамперед необхідно віднести розроблення та запровадження технології проведення освітнього процесу із застосуванням модульної екосистеми в найкоротші терміни з урахуванням основних принципів цифрової трансформації освіти.

Основна частина дослідження

Перехід на новий рівень підготовки фахівців транспортної галузі потребує застосування нетрадиційних для освітнього процесу підходів, основною метою яких є надання комплексної послуги з навчання за мінімальних вимог до здобувача. Втілення системи «Освітнього середовища» для підготовки фахівців за схемою «від теорії до практики» потребує надання широкого діапазону додаткових послуг, які потрібні у складі комплексного навчально-методичного забезпечення. В основі нової системи запропонована система

ухвалення рішень, яка дасть змогу значно скоротити загальний час на навчання, скоротити не тільки витрати, пов'язані безпосередньо з навчальним процесом, а й витрати з надання додаткових послуг, таких як доступ до віртуальних лабораторій, підготовка до контрольних заходів, оформлення дозвільної документації, проведення консультацій, зберігання даних та ін.

Запропонована концепція цифрової освітньої екосистеми VirtLab ґрунтована не лише на технічних і архітектурних рішеннях, а й на чітко сформульованих педагогічних засадах. Її побудова відповідає сучасним теоріям навчання, зокрема конструктивізму, соціоконструктивізму, особистісно-орієнтованого та компетентнісного підходів, а також принципам змішаного (blended) і проєктного навчання в STEM-освіті.

Конструктивізм і соціоконструктивізм

У центрі педагогічної моделі VirtLab лежить ідея, що знання не передані здобувачу в готовому вигляді, а конструйовані ним у процесі активної взаємодії з навчальним середовищем [20]. Віртуальні лабораторії, симулятори та кейс-стаді, інтегровані в екосистему, створюють умови для дослідницької діяльності, експериментування та самостійного відкриття закономірностей. Здобувач не просто споживає теоретичний матеріал, а планує експеримент, взаємодіє з моделлю транспортного процесу, аналізує результати, робить висновки та корегує свої уявлення на основі зворотного зв'язку.

Соціоконструктивістський підхід реалізовано через можливість спільної роботи над кейсами, обговорення результатів лабораторних робіт, використання форумів, чатів і AI-помічника для колективного пошуку рішень [20]. Така організація навчального середовища сприяє формуванню комунікативних компетентностей, навичок командної роботи і критичного мислення, що є дуже важливим для фахівців транспортної галузі.

Компетентнісний і особистісно-орієнтований підходи

Модульна архітектура VirtLab дає змогу реалізувати компетентнісний підхід, орієнтуючись не лише на засвоєння знань, а на формування професійних компетентностей: уміння планувати експеримент, обробляти дані, моделювати технологічні процеси, ухвалювати обґрунтовані рішення [21]. Кожен модуль екосистеми (лабораторія, симулятор, кейс, тест) має чітко визначені очікувані результати навчання, що відповідають певним компетентностям професійного стандарту.

Особистісно-орієнтований підхід забезпечено багатоформатним поданням матеріалу: одна і та сама тема може бути подана як текст лекції, відеолекція, аудіолекція, кейс-стаді, симулятор, тест, комбінований модуль який включає декілька компонентів (або всі разом), це дає змогу здобувачам вибирати траєкторію навчання відповідно до їхніх індивідуальних стилів сприйняття інформації. AI-помічник додатково індивідуалізує навчання,

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

надаючи підказки, пояснення та рекомендації залежно від рівня підготовки здобувача.

Активне, проблемне і проєктне навчання

Активне навчання — основний принцип STEM-освіти, за якого здобувачі залучені до самостійного оволодіння знаннями та уміннями у процесі активної розумової та практичної діяльності [22]. У VirtLab цей принцип реалізовано через інтерактивні модулі, де здобувач не пасивно споживає контент, а взаємодіє із симулятором, змінює параметри моделі, спостерігає наслідки, аналізує результати, а також через дослідницькі завдання у віртуальних лабораторіях, що потребують формулювання гіпотез, планування експерименту, збору та обробки даних.

Проблемне навчання реалізовано через кейс-стаді, що базовані на реальних проблемах транспортної галузі, — оптимізації транспортних потоків, управлінні складськими процесами, плануванні маршрутів, публічних закупівлях на транспорті тощо. Здобувачі стикаються з неповною інформацією, необхідністю аналізу нормативних документів, ухваленням рішень в умовах невизначеності, що наближає навчальний процес до реальної професійної діяльності, стимулює критичне мислення.

Проєктне навчання закладено в модуль конструктора курсових і контрольних робіт, де здобувачі послідовно проходять такі етапи: визначення проблеми → пошук інформації → ухвалення рішення → виконання розрахунків → оформлення пояснювальної записки → аналіз результатів → можливість виправлення визначених помилок → тестування → презентація результатів. AI-помічник супроводжує цю діяльність, надаючи підказки з вибору теми, формулювання мети, вибору джерел і оформлення результату.

Змішане (blended) навчання

VirtLab реалізує принципи змішаного навчання, поєднуючи асинхронну роботу з електронними посібниками, Smart Video, Smart Audio, віртуальними лабораторіями та синхронну взаємодію через відеоконференції, обговорення кейсів і спільні проєкти, описані вище. Така організація допомагає ефективно використовувати контактний час для практичних і дискусійних форм роботи, тоді як теоретичний матеріал здобувач опрацьовує самостійно в зручний для нього час.

STEM-підхід як педагогічна основа

VirtLab побудовано з урахуванням основних принципів STEM-освіти: міждисциплінарність, інтеграція природничих наук, технологій, інженерії та математики, акцент на практико-орієнтованих завданнях і проєктах. Модулі екосистеми поєднують інженерні, IT-, екологічні та управлінські компоненти, що відповідає сучасним вимогам щодо підготовки фахівців транспортної галузі.

Дослідження підтверджують, що впровадження елементів STEM-освіти в підготовку фахівців із транспортних технологій і логістики сприяє розвитку

критичних і аналітичних навичок, заохочує творчий потенціал і мотивує до вивчення математичних дисциплін [12, 13]. Саме такі ефекти закладено в архітектуру VirtLab через використання симуляторів, віртуальних лабораторій і кейсів, що потребують застосування математичних моделей, інженерного аналізу і технологічних рішень.

Дидактичні принципи побудови віртуальних лабораторій

Педагогічне обґрунтування віртуальних лабораторій у складі VirtLab спирається на загальні дидактичні теорії навчання та положення особистісно-орієнтованого підходу. Важливими дидактичними принципами є:

- інтерактивність — здобувач активно взаємодіє з навчальним середовищем, а не пасивно спостерігає;
- моделювання та візуалізація — складні технологічні процеси транспортної галузі відтворено у зручному для сприйняття вигляді;
- послідовність етапів — від визначення мети і очікуваних результатів через експериментальний етап до аналізу даних і рефлексії;
- безпека та доступність — можливість відпрацювати небезпечні або рідкісні операції без ризику для обладнання та людей необмежена ні часом, ні кількістю [16, 17].

Ці принципи забезпечують не лише технічну реалізацію віртуальних лабораторій, а і їхню педагогічну цінність як засобу формування професійних компетентностей.

Отже, педагогічне обґрунтування моделі VirtLab демонструє, що запропонована екосистема не є суто технічним рішенням, а становить цілісну дидактичну модель, яка відповідає сучасним теоріям навчання (конструктивізм, соціоконструктивізм, компетентнісний і особистісно-орієнтований підходи), реалізує принципи змішаного та проєктного навчання, критично важливі для професійної підготовки, та інтегрує STEM-підхід як основу для формування міждисциплінарних компетентностей фахівців транспортної галузі. Саме таке педагогічне підґрунтя відрізняє VirtLab від традиційних LMS і вузькоспеціалізованих тренажерів, перетворюючи його на повноцінну освітню екосистему, орієнтовану на формування професійних компетентностей, а не лише на передавання знань.

В основу концепції VirtLab покладено ідею єдиного цифрового простору, у центрі якого перебуває не окремий навчальний курс чи дисципліна, а сама екосистема як інтегроване середовище, що об'єднує різноманітні за форматом освітні ресурси навколо спільної архітектури, спільного принципу навігації та спільної бази даних. На відміну від традиційної LMS, яка організує навчання «зверху вниз» від курсу до матеріалів, VirtLab організований «від модуля». Кожен тип цифрового ресурсу (лабораторія, посібник, відео, тест, кейс, симулятор, аудіоматеріал, бібліотечна одиниця,

ІНФОРМАЦІЙНО–КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

довідник, інструмент) є самостійним, універсальним модулем, який може бути прив'язаний до будь-якої дисципліни, кафедри чи факультету.

Архітектура екосистеми має радіальну, а не ієрархічну структуру (рисунок): у центрі перебуває платформа VirtLab, яка виконує функції єдиної точки входу, навігації та зберігання даних, а навколо неї розташовані функціональні модулі — віртуальні лабораторії, електронні посібники, відео-,

аудіоматеріали, кейс-стаді, тести, симулятори, електронна бібліотека, довідники, інструменти конструювання навчальних завдань. Така побудова забезпечує логіку «єдиного входу — множинного виходу»: здобувач і викладач звертаються до одного порталу, а отримують доступ до всього спектра освітніх ресурсів незалежно від факультету чи кафедри.

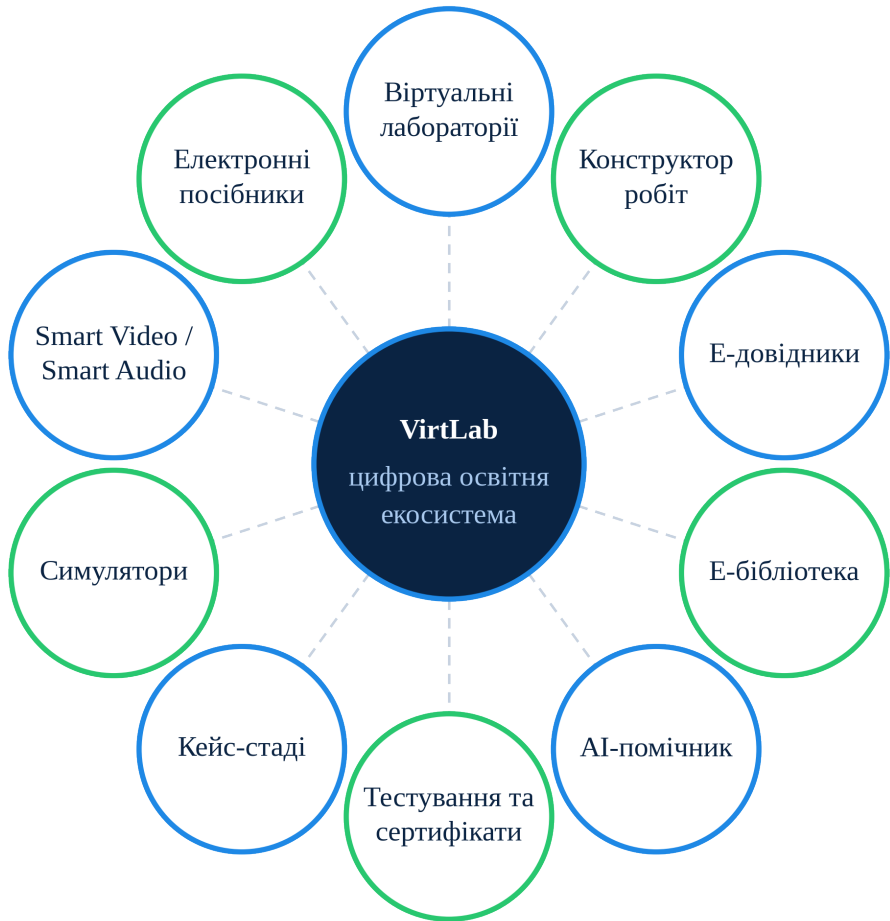


Рис. Радіальна архітектура цифрової освітньої екосистеми VirtLab

Структура цифрової екосистеми VirtLab
Функціонально екосистема VirtLab складається з модулів, узагальнену характеристику яких наведено в табл. 1.

Структура модулів цифрової освітньої екосистеми VirtLab

Модуль	Призначення
Віртуальні лабораторії	Виконання практичних і лабораторних робіт в інтерактивному вебформаті без прив'язки до фізичного обладнання
Електронні посібники	Самостійне вивчення теоретичного матеріалу за уніфікованим цифровим шаблоном

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Симулятори	Відпрацювання практичних навичок і виробничих операцій у безпечному цифровому середовищі
Smart Video	Інтерактивне відео з вбудованими запитаннями, підказками та контрольними точками
Smart Audio	Аудіонавчання для сприйняття матеріалу в асинхронному та мобільному форматах
Кейс-стаді	Аналіз реальних виробничих ситуацій для розвитку прикладного мислення
Тести і сертифікати	Багаторівневий контроль знань із таймером і автоматичним формуванням звіту в режимах навчання/контроль знань
AI-помічник	Автоматизоване консультування, підказки та супровід заповнення документів
Електронна бібліотека	Відкритий доступ до підручників, посібників і навчальних матеріалів
Е-довідники	Інтерактивні довідкові бази з пошуком, фільтрацією та порівнянням даних
Конструктор курсових і контрольних робіт	Покрокове формування структури та індивідуальних завдань самостійної роботи
Доступ до нормативно-правових актів	Пряме посилання на чинні нормативні документи за темою підготовки

Наукова новизна запропонованого дослідження полягає в такому:

- запропоновано авторську модель модульної цифрової освітньої екосистеми транспортного профілю, яка об'єднує лабораторний практикум, електронний посібник, мультимедійний і контрольно-оцінювальний контент у єдиній архітектурі з радіальною структурою навігації;

- обґрунтовано інтеграцію віртуальних лабораторій і електронних посібників у межах спільного цифрового шаблону, що усуває розрив між теоретичною та практичною складовими підготовки фахівця;

- запропоновано єдиний принцип побудови віртуальних лабораторій різних кафедр і факультетів, що забезпечує їхню взаємну сумісність і можливість повторного використання цифрових компонентів;

- розроблено універсальний шаблон електронного навчального модуля, придатний до масштабування на нові дисципліни без зміни базової архітектури;

- сформульовано модель багатоформатного навчання, за якою одна і та сама навчальна тема одночасно подана у форматах тексту, відео, аудіо, симулятора і тесту, що дає змогу враховувати різні стилі сприйняття інформації здобувачами;

- обґрунтовано радіальну, а не ієрархічну архітектуру цифрового освітнього середовища: на відміну від традиційної для LMS структури «заклад → факультет → курс → тиждень → ресурс», у VirtLab здобувач звертається до єдиної точки входу (порталу)

і вибирає модуль за темою чи навичкою, а не за належністю до конкретного курсу;

- запропоновано відкрити, а не закрити модель екосистеми: архітектура VirtLab допускає підключення сторонніх LMS, бібліотечних систем, відеоплатформ і тренажерів як модулів, що перетворює VirtLab з окремого програмного продукту на платформу інтеграції різномірних освітніх ресурсів.

Запропонована концепція реалізована у вигляді діючої цифрової освітньої екосистеми «ВіртЛаб УкрДУЗТ», доступної за адресою <https://virtlab.kart.edu.ua/>. Саме ця платформа є експериментальною базою для апробації архітектурних рішень, модульного підходу і цифрових освітніх сервісів, описаних у статті.

Концепція реалізована не лише на теоретичному рівні, а і у вигляді діючого цифрового продукту. У межах проекту VirtLab УкрДУЗТ розроблено та впроваджено:

- головний портал ВіртЛаб УкрДУЗТ — єдину точку входу до освітніх напрямів, екосистеми модулів, розділів партнерства та центру проєктів;

- демонстраційний цифровий освітній шоурум DemoLab, який дає в одному місці всі формати подання навчального матеріалу — PDF-підручники, інтерактивні е-лекції, відеолекції, аудіолекції, смарт-відео, комбіновані лекції, віртуальні AI-асистенти і кейс-стаді — на прикладі однієї теми, що унаочнює принцип «одна тема — кілька способів її пізнати»;

- серію віртуальних лабораторій і електронних посібників для кафедр факультету

ІНФОРМАЦІЙНО–КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

управління процесами перевезень і механіко-енергетичного факультету, побудованих за єдиним цифровим шаблоном;

– окремі STEM-модулі та інтерактивні довідники, інтегровані в загальну структуру порталу;

– механізми подання заявок на ініціювання нових лабораторій і симуляторів і центр моніторингу реалізованих і поточних проєктів екосистеми.

Принцип єдиного цифрового шаблону вже підтверджено на рівні конкретних навчальних дисциплін кількох кафедр і факультетів університету: за єдиною модульною логікою розроблено повноцінні предметні цифрові платформи, кожна з яких охоплює

практично весь цикл підготовки — від лекційного матеріалу до самостійної та курсової роботи (табл. 2).

Приклади предметних цифрових платформ, реалізованих у складі екосистеми VirtLab

Навчальна дисципліна	Реалізовані модулі та їх обсяг
Публічні закупівлі на транспорті	15 інтерактивних лекцій; понад 30 кейс-стаді; понад 30 смарт-відео; понад 30 аудіоматеріалів; вісім інтерактивних практичних робіт; вісім симуляторів; інтерактивна бібліотека; аналітично-освітній блок «Новини»; контрольна робота; тести; електронний посібник; понад 20 методичних вказівок
Організація виконання вантажних операцій	Вісім інтерактивних практичних робіт; симулятор; інтерактивний блок конструювання курсової роботи з використанням AI-помічника; інтерактивна бібліотека; понад 30 методичних вказівок; вісім інтерактивних довідників; тривірневий інтерактивний тестовий модуль
Системи енергетичного менеджменту	15 інтерактивних лекцій; чотири симулятори; інтерактивний блок конструювання курсової роботи з використанням AI-помічника; тести; 15 інтерактивних практичних робіт; понад 10 методичних вказівок
Дисципліни кафедри «Теплотехніка, теплові двигуни та енергетичний менеджмент»	понад 10 лабораторних робіт; два електронні інтерактивні довідники

Обмеження та ризики впровадження

Об'єктивне оцінювання запропонованої концепції потребує чіткого окреслення її поточних обмежень і ризиків, які визначають напрями подальшої роботи над проєктом:

– обмежена вибірка апробації: на сьогодні екосистема практично впроваджена в межах кількох кафедр двох факультетів УкрДУЗТ, тому висновки про її ефективність поки не можна екстраполювати на весь заклад освіти чи на інші університети без додаткової перевірки;

– відсутність тривалого моніторингу результатів навчання: наявні дані апробації відображають позитивне сприйняття розробки на рівні кафедр та окремих зустрічей з іншими закладами, проте кількісні показники впливу на успішність і компетентності здобувачів протягом кількох навчальних циклів ще не зібрано;

– технічні обмеження: повноцінна робота з інтерактивними лабораторіями, симуляторами та мультимедійним контентом потребує стабільного доступу до інтернету і достатньо потужних пристроїв, що не завжди гарантовано в умовах воєнного стану,

перебоїв з електропостачанням чи обмеженої матеріально-технічної бази здобувачів;

– потреба підвищити цифрову компетентність викладачів: ефективне наповнення і супровід модулів екосистеми (створення електронних посібників, Smart Video, кейс-стаді, налаштування тестів) потребує від науково-педагогічних працівників додаткових цифрових навичок і часу для системного методичного супроводу та підвищення кваліфікації;

– ризики, пов'язані з розвитком AI-складової: розширення функціоналу AI-помічника потребує виваженого підходу для достовірності консультацій, академічної доброчесності та захисту персональних даних здобувачів.

Ці обмеження не заперечують практичну цінність концепції VirtLab, проте окреслюють реалістичні межі поточних висновків і мають бути враховані для планування подальшого масштабування екосистеми на нові кафедри, факультети і заклади освіти.

Перспективи розвитку

Подальший розвиток екосистеми VirtLab передбачений за такими напрямками:

ІНФОРМАЦІЙНО–КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

– розширення функціоналу AI-помічника до рівня повноцінного інтелектуального тьютора, здатного індивідуалізувати траєкторію навчання здобувача;

– впровадження технологій віртуальної (VR) і доповненої (AR) реальності для окремих лабораторних і тренажерних модулів, що потребують просторової візуалізації виробничих процесів;

– формування концепції цифрового кампусу як логічного розширення екосистеми VirtLab на рівень усього закладу освіти;

– адаптація архітектури VirtLab для використання іншими закладами вищої освіти транспортного і технічного профілю;

– створення міжуніверситетської мережі віртуальних лабораторій, що дасть змогу спільно використовувати цифрові освітні ресурси кількома закладами освіти в межах національної та міжнародної співпраці.

Ці напрями визначають дослідницьку і проектну перспективу подальших публікацій, а також формують підґрунтя для участі проекту VirtLab у національних і міжнародних грантових програмах, орієнтованих на цифровізацію освіти і розвиток інфраструктури університетів.

Авторська концепція розвитку VirtLab. В основу подальшого розвитку екосистеми VirtLab покладено систему принципів, сформульованих авторами як концептуальна основа проекту:

1.Принцип модульності — кожен освітній ресурс є самостійним, незалежним модулем, який може бути доданий, замінений або оновлений без порушення роботи всієї екосистеми.

2.Принцип багатформатного навчання — одна навчальна тема одночасно подана у форматах тексту, відео, аудіо, симулятора і тесту.

3.Принцип інтерактивності — здобувач є активним учасником освітнього процесу, а не пасивним споживачем контенту.

4.Принцип практикоорієнтованості — пріоритет надано модулям, що відтворюють реальні виробничі ситуації та операції.

5.Принцип масштабованості — додавання нових кафедр, факультетів чи закладів освіти не потребує перегляду базової архітектури.

6.Принцип міждисциплінарності — модулі екосистеми придатні до використання в межах різних спеціальностей і галузей знань.

7.Принцип відкритої інтеграції — архітектура VirtLab допускає підключення сторонніх сервісів, зокрема LMS, бібліотечних систем і засобів відеозв'язку.

8.Принцип повторного використання цифрових ресурсів — розроблений модуль (шаблон посібника, лабораторії чи тесту) може бути повторно застосований для іншої дисципліни чи кафедри.

Саме ці принципи, а не окремі технічні рішення, становлять концептуальне ядро проекту і відрізняють VirtLab від опису конкретного

програмного продукту: вони формують модель, яка може бути відтворена та адаптована іншими закладами освіти незалежно від їхньої галузевої спеціалізації.

Висновки

У статті подано та обґрунтовано авторську концепцію цифрової освітньої екосистеми VirtLab, розроблену на кафедрі управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Створено нову модель організації цифрового навчання, яка, на відміну від традиційних систем управління навчанням і поодиноких віртуальних лабораторій і STEM-платформ, поєднує практичну, теоретичну, контрольну-оцінювальну та консультативну складові підготовки фахівця в межах єдиної модульної архітектури.

Підтверджено практичну реалізацію концепції: розроблено головний портал VirtLab УкрДУЗТ, демонстраційний шоурум DemoLab, серію віртуальних лабораторій та електронних посібників, що охоплюють кілька кафедр і факультетів університету. Розробку схвалено на засіданні кафедри та рекомендовано для використання в освітньому процесі, а надання концепції іншим закладам вищої освіти засвідчило зацікавленість у подальшій співпраці.

Показано перспективи масштабування екосистеми в напрямках штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності, цифрового кампусу та міжуніверситетської мережі лабораторій. Викладена концепція вводить у науковий обіг поняття «цифрова освітня екосистема VirtLab» як самостійну модель організації цифрового навчання і слугуватиме першоджерелом для подальших публікацій, присвячених окремим лабораторіям, електронним посібникам, STEM-модулям і функціям штучного інтелекту в межах цього проекту, а також основою для підготовки грантових заявок, спрямованих на розвиток цифрової інфраструктури університету.

Внесок авторів

Шевченко В. І. — ідея концепції VirtLab, розроблення архітектури цифрової освітньої екосистеми, написання основної частини тексту статті.

Лаврухін О. В. — наукове консультування, методологічне обґрунтування дослідження, редагування тексту, узагальнення результатів.

Список використаних джерел

1. Дущенко, О. С. (2021). Сучасний стан цифрової трансформації освіти. *Фізико-математична*

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

osvima, 2(28), 40–45. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-028-2-007>

2. Verina, N., & Titko, J. (2019). Digital transformation: Conceptual framework. In *Contemporary Issues in Business, Management and Economics Engineering: Proceedings of the 6th International Scientific Conference* (pp. 719–727). VGTU Press. <https://doi.org/10.3846/cibmee.2019.073>

3. Сафонов, Ю. М., & Коротун, О. П. (2024). Цифровізація освіти в Україні: технології та методики навчання. *Трансформаційна економіка*, (2), 89–94. <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2024-7-15>

4. Пріма, Р., Гончарук, О., Пріма, Д., & Рославець, Р. (2023). Цифровізація освіти — тренд, стратегія й виклик часу. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, (3), 183–191

5. Bousboula, T., El Fadli, F., & Khaldi, M. (2025). Comparative study between Moodle, Canvas and Google Classroom. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 9(4), 581–593. DOI: 10.47772/IJRISS.2025.90300219

6. Павлиш, Т., Басараб, В., Терещенко, О., & Рогів, М. (2023). Цифровізація освітнього процесу в закладах вищої освіти в умовах воєнного стану. *Освітні обрії*, (1), 106–109.

7. Suleimankadieva, A., Petrov, M., & Kuznetsov, A. (2021). Digital educational ecosystem as a tool for the intellectual capital development. *SHS Web of Conferences*, 116, Article 00060. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202111600060>

8. Zhao, Y., & Yang, Z. (2024). Research on collaborative innovation optimization strategies for digitally enabled higher education ecosystems. *PLoS ONE*, 19(4), Article e0302285. DOI: [10.1371/journal.pone.0302285](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302285)

9. Bobro, N. (2025). Modeling the educational and economic ecosystem of the digital university in the context of intellectual capital formation. *Economic Synergy*, (2), 6–18. DOI: 10.53920/ES-2025-2-1

10. Otto, D., Scharnberg, G., Kerres, M., & Zawacki-Richter, O. (2023). Introduction: Distributed learning ecosystems. Concepts, resources, and repositories. In D. Otto, G. Scharnberg, M. Kerres, & O. Zawacki-Richter (Eds.), *Distributed Learning Ecosystems: Concepts, Resources, and Repositories* (pp. 1–11). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-38703-7_1

11. Український державний університет залізничного транспорту. (б. д.). *Портал дистанційного навчання*. <https://kart.edu.ua/osvita/portal-do>

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

13. Khalid, I. L., Abdullah, M. N. S., & Mohd Fadzil, H. (2024). A systematic review: Digital learning in STEM education. *Journal of Advanced Research in*

Applied Sciences and Engineering Technology, 51(1), 98–115. DOI: 10.37934/araset.51.1.98115

14. Solvang, L., & Haglund, J. (2020). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 29(6), 749–762. DOI: 10.1007/s10956-020-09866-0

15. Wahyudi, M. N. A., & Sutrisno, J. (2024). Understanding virtual laboratories in engineering education: A systematic literature review. *International Journal of Pedagogy and Teacher Education*, 7(2). DOI: 10.20961/ijpte.v7i2.85271

16. de Jong, T., Keller, M. C., Tortola, J. J., & Pedaste, M. (2013). Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education: Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 575–593. DOI: 10.1002/jee.20022

17. Zhu, H., Yang, Z., Xiong, Y., Wang, Y., & Kang, L. (2018). Virtual emulation laboratories for teaching offshore oil and gas engineering. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1603–1613. DOI: 10.1002/cae.21977

18. de la Torre, L., Heradio, R., Jara, C. A., Sanchez, J., Dormido, S., Torres, F., & Candelas, F. A. (2013). Providing collaborative support to virtual and remote laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(4), 312–323. DOI: 10.1109/TLT.2013.20

19. Студенти УкрДУЗТу можуть отримати диплом University of the West of Scotland. (2024, 18 березня). *Railinsider*. <https://www.railinsider.com.ua/studenty-ukrdzutu-mozhut-otrymaty-dyplom-university-of-the-west-of-scotland/>

20. Ahmadvand, S., & Khoshchreh, M. (2023). Theory and practice: Implications of social constructivism in education. *International Journal of Humanities and Social Development Research*, 7(2), 19–30. <https://doi.org/10.30546/2523-4331.2023.7.2.19>

21. Pérez Zúñiga, R., Martínez García, M., & Oliva Ibarra, F. E. (2025). Employability and its relationship with the competency-based approach, teaching methodologies, and assessment in higher education: A systematic review. *Frontiers in Education*, 10, Article 1703144. DOI: <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1703144>

22. Roig, P. J., Alcaraz, S., Gilly, K., Bernad, C., & Juiz, C. (2026). Combining active learning methodologies in a STEM-related course: A case study. *Education Sciences*, 16(5), Article 740. <https://doi.org/10.3390/educsci16050740>

References

1. Dushchenko, O. S. (2021). Suchasnyi stan tsyfrovoy transformatsii osvity [The current state of digital transformation of education]. *Fizyko-Matematychna Osvita*, 2(28), 40–45. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-028-2-007>

2. Verina, N., & Titko, J. (2019). Digital transformation: Conceptual framework. In *Contemporary Issues in Business, Management and Economics Engineering: Proceedings of the 6th International Scientific Conference* (pp. 719–727). VGTU Press. <https://doi.org/10.3846/cibmee.2019.073>.
3. Safonov, Yu. M., & Korotun, O. P. (2024). Tsyfrovizatsiia osvity v Ukraini: tekhnolohii ta metodyky navchannia [Digitalization of education in Ukraine: Technologies and teaching methods]. *Transformatsiina Ekonomika*, (2), 89–94. <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2024-7-15>.
4. Prima, R., Honcharuk, O., Prima, D., & Roslavets, R. (2023). Tsyfrovizatsiia osvity — trend, stratehiia i vyklyk chasu [Digitalization of education — Trend, strategy and challenge of time]. *Pedahohichni Nauky: Teoriia, Istoriia, Innovatsiini Tekhnolohii*, (3), 183–191.
5. Bousboula, T., El Fadli, F., & Khaldi, M. (2025). Comparative study between Moodle, Canvas and Google Classroom. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 9(4), 581–593. DOI: 10.47772/IJRISS.2025.90300219.
6. Pavlysh, T., Basarab, V., Tereshchenko, O., & Rohiv, M. (2023). Tsyfrovizatsiia osvitnoho protsesu v zakladakh vyshchoi osvity v umovakh voiennoho stanu [Digitalization of the educational process in higher education institutions under martial law]. *Osvitni Obrii*, (1), 106–109.
7. Suleimankadieva, A., Petrov, M., & Kuznetsov, A. (2021). Digital educational ecosystem as a tool for the intellectual capital development. *SHS Web of Conferences*, 116, Article 00060. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202111600060>.
8. Zhao, Y., & Yang, Z. (2024). Research on collaborative innovation optimization strategies for digitally enabled higher education ecosystems. *PLoS ONE*, 19(4), Article e0302285. DOI: [10.1371/journal.pone.0302285](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302285)
9. Bobro, N. (2025). Modeling the educational and economic ecosystem of the digital university in the context of intellectual capital formation. *Economic Synergy*, (2), 6–18. DOI: 10.53920/ES-2025-2-1
10. Otto, D., Scharnberg, G., Kerres, M., & Zawacki-Richter, O. (2023). Introduction: Distributed learning ecosystems. Concepts, resources, and repositories. In D. Otto, G. Scharnberg, M. Kerres, & O. Zawacki-Richter (Eds.), *Distributed Learning Ecosystems: Concepts, Resources, and Repositories* (pp. 1–11). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-38703-7_1.
11. Ukrainian State University of Railway Transport. (n.d.). *Portal dystantsiinoho navchannia* [Distance learning portal]. <https://kart.edu.ua/osvita/portal-do>.
12. Kefalis, C., Skordoulis, C., & Drigas, A. (2025). Digital simulations in STEM education: Insights from recent empirical studies, a systematic review. *Encyclopedia*, 5(1), Article 10. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010010>.
13. Khalid, I. L., Abdullah, M. N. S., & Mohd Fadzil, H. (2024). A systematic review: Digital learning in STEM education. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 51(1), 98–115. DOI: 10.37934/araset.51.1.98115
14. Solvang, L., & Haglund, J. (2020). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 29(6), 749–762. DOI: 10.1007/s10956-020-09866-0
15. Wahyudi, M. N. A., & Sutrisno, J. (2024). Understanding virtual laboratories in engineering education: A systematic literature review. *International Journal of Pedagogy and Teacher Education*, 7(2). DOI: 10.20961/ijpte.v7i2.85271
16. de Jong, T., Keller, M. C., Tortola, J. J., & Pedaste, M. (2013). Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education: Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 575–593. DOI: 10.1002/jee.20022
17. Zhu, H., Yang, Z., Xiong, Y., Wang, Y., & Kang, L. (2018). Virtual emulation laboratories for teaching offshore oil and gas engineering. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1603–1613. DOI: 10.1002/cae.21977
18. de la Torre, L., Heradio, R., Jara, C. A., Sanchez, J., Dormido, S., Torres, F., & Candelas, F. A. (2013). Providing collaborative support to virtual and remote laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(4), 312–323. DOI: 10.1109/TLT.2013.20
19. Studenty UkrDUZTu mozhut otrymaty dyplom University of the West of Scotland [Students of UkrSURT can get a degree from the University of the West of Scotland]. (2024, March 18). *Rail.insider*. <https://www.railinsider.com.ua/studenty-ukrdutztu-mozhut-otrymaty-dyplom-university-of-the-west-of-scotland/>
20. Ahmadvand, S., & Khoshchreh, M. (2023). Theory and practice: Implications of social social constructivism in education. *International Journal of Humanities and Social Development Research*, 7(2), 19–30. <https://doi.org/10.30546/2523-4331.2023.7.2.19>
21. Pérez Zúñiga, R., Martínez García, M., & Oliva Ibarra, F. E. (2025). Employability and its relationship with the competency-based approach, teaching methodologies, and assessment in higher education: A systematic review. *Frontiers in Education*, 10, Article 1703144. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1703144>
22. Roig, P. J., Alcaraz, S., Gilly, K., Bernad, C., & Juiz, C. (2026). Combining active learning methodologies in a STEM-related course: A case study. *Education Sciences*, 16(5), Article 740. <https://doi.org/10.3390/educsci16050740>

Shevchenko V., Lavrukhin O. VirtLab: A Modular Digital Educational Ecosystem Concept for Professional and STEM Training of Transport Industry Specialists

Abstract. *The rapid digitalization of higher education intensifies the need for a unified digital educational environment capable of combining practical training, self-directed learning, and knowledge assessment within a single space. Existing solutions — learning management systems (Moodle, Canvas), services such as Google Classroom, and individual virtual laboratories and STEM platforms — address local tasks but do not form a coherent, interconnected ecosystem for practice-oriented professional training. The aim of the study is to provide a pedagogical rationale for, and to present the architecture, design principles, and practical implementation of, VirtLab as a modular environment that integrates virtual laboratories, e-manuals, multimedia resources (Smart Video, Smart Audio), and interactive educational resources (simulators, case studies, testing), together with an electronic library, reference modules, and elements of AI-based automated consultation. The pedagogical foundation of the model draws on constructivism, socio-constructivism, competency-based and learner-centered approaches, as well as the principles of active, problem-based, project-based, and blended learning within STEM education. The scientific novelty lies in the following: an original model of a unified modular principle for structuring heterogeneous digital educational resources within a single ecosystem is proposed, together with a universal template for an e-learning module that allows the same educational content to be presented in multiple formats. The practical implementation is represented by the main VirtLab UkrDUZT portal (virtlab.kart.edu.ua), the DemoLab demonstration educational showroom, and a series of virtual laboratories and e-manuals covering several departments and faculties of the university. The development has been reviewed and approved at a department meeting and recommended for use in the educational process; the concept has been presented to other higher education institutions, which expressed interest in further cooperation. The limitations of the current approbation are outlined (a limited sample of departments, the absence of long-term monitoring of learning outcomes), along with prospects for the ecosystem's development in the areas of artificial intelligence, virtual and augmented reality, a digital campus, and an inter-university network of laboratories,*

which forms the basis for further scholarly publications and grant initiatives.

Keywords: *digital education, virtual laboratory, STEM, interactive learning, digital educational ecosystem, e-manual, modular learning, transport education, digital transformation, competency-based approach, artificial intelligence in education.*

Шевченко Віталій Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна. Тел.: +38 (050) 582-24-21. E-mail: 50801@ukr.net; ORCID iD: 0000-0002-0873-3802.

Лаврухін Олександр Валерійович, докт. техн. наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна. Тел.: +38 (097) 428-27-74. E-mail: tilavalval@gmail.com; ORCID iD: [0000-0003-1302-4960](https://orcid.org/0000-0003-1302-4960).

Shevchenko Vitaly, Ph. D., associate Professor of the Department of freight and commercial work of the Ukrainian state University of Railway transport, Kharkiv, Ukraine. Tel. +38 (057) 730-10-85. E-mail: 50801@ukr.net; ORCID iD: 0000-0002-0873-3802.

Lavrukhin Oleksandr, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of freight and commercial work of the Ukrainian state University of Railway transport, Kharkiv, Ukraine Tel. +38 (097) 428-27-74. E-mail: tilavalval@gmail.com; ORCID iD: [0000-0003-1302-4960](https://orcid.org/0000-0003-1302-4960).

Стаття надійшла 19.08.26

Стаття прийнята до друку після рецензування 05.09.26

Стаття опублікована (оприлюднена) 06.10.26

Стаття поширена на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.