

Булгакова О. Ф., старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0001-9834-2970

ОГЛЯД І УЗАГАЛЬНЕННЯ ПРАКТИК ВПРОВАДЖЕННЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ У ПІДГОТОВЦІ ІТ-ФАХІВЦІВ

Цифрова трансформація сучасного суспільства докорінно змінила вимоги та підходи до освіти в галузі інформаційних технологій. У статті показано, як технології віртуалізації трансформують підготовку фахівців, поєднуючи технічні рішення з обґрунтованими навчальними підходами. Розглянуто можливості віртуальних машин, контейнеризації, програмно визначених мереж, віртуалізації сховищ та хмарних віддалених лабораторій для безпечного й відтвореного моделювання навчальних середовищ. Мета роботи – продемонструвати, як ці технології посилюють практичну підготовку, оптимізують витрати, розширюють доступ і узгоджують результати навчання з очікуваннями роботодавців. Проведено огляд сучасних публікацій і аналіз типових архітектур розгортання. Показано, що ізоляція, сумісність і можливість повторення експериментів дають змогу безпечно відпрацьовувати складні сценарії та прискорюють набуття практичних навичок студентами. Водночас ідентифіковано обмеження: вимоги до мережевих та обчислювальних ресурсів, накладні витрати продуктивності у ресурсомістких завданнях, потребу в цілеспрямованій підготовці викладачів і ризики зниження мотивації та взаємодії в дистанційних форматах. Запропоновано практичні орієнтири: поетапне впровадження зі стандартизованими образами, розвиток користувацької підтримки, інтеграцію інструментів оцінювання та партнерства із компаніями для проєктного навчання. Окреслено перспективи використання штучного інтелекту для персоналізованого наставництва, периферійних обчислень для зменшення затримок, технологій розширеної реальності для інтуїтивних тривимірних інтерфейсів, а також хмарно-нативних і безсерверних підходів, що прискорюють масштабування і спрощують супровід навчальної інфраструктури. Запропоновані рішення допомагають поєднати якість навчання, масштабованість і економічну доцільність та підвищити готовність випускників до сучасних професійних викликів.

Ключові слова: інформаційні технології, віртуалізація, освіта, контейнеризація, хмарні технології, операційні системи.

Bulhakova O. F. A Review and synthesis of virtualization implementation practices in IT professional training

The digital transformation of contemporary society has fundamentally reshaped the requirements and approaches to education in the field of information technology. This article demonstrates how virtualization technologies transform professional preparation by aligning technical solutions with pedagogically grounded approaches. It examines the capabilities of virtual machines, containerization, software-defined networking (SDN), storage virtualization, and cloud-based remote laboratories for safe and reproducible modeling of instructional environments. The aim is to show how these technologies strengthen hands-on training, optimize costs, expand access, and align learning outcomes with employer expectations. The study presents a review of recent publications and an analysis of typical deployment architectures. It shows that isolation, compatibility, and repeatability enable students to practice complex scenarios safely and accelerate the acquisition of practical skills. At the same time, the study identifies constraints: requirements for network and compute resources, performance overhead in resource-intensive tasks, the need for targeted faculty development, and risks of reduced motivation and interaction in fully online settings. Practical guidelines are proposed, including phased implementation with standardized virtual machine images, development of learner support services, integration of assessment tools, and partnerships with companies for project-based learning. The paper outlines prospects for using artificial intelligence for personalized tutoring, edge computing to reduce latency, extended reality (XR) for intuitive three-dimensional interfaces, and cloud-native and serverless approaches that accelerate scaling and simplify the operation of educational infrastructure. The proposed solutions help reconcile instructional quality, scalability, and cost-effectiveness and increase graduates' readiness for contemporary professional challenges.

Key words: information technology, virtualization, education, containerization, cloud computing, operating systems.

Постановка проблеми. Цифрова трансформація сучасного суспільства докорінно змінила ландшафт ІТ-освіти, вимагаючи інноваційних підходів до підготовки фахівців для дедалі більш віртуалізованого професійного середовища. Віртуалізація, що визначається як створення віртуальних версій фізичних обчислювальних ресурсів – зокрема апаратних платформ, мережевих пристроїв, операційних систем і систем зберігання даних [1] – стала трансформаційним чинником у сфері освітніх технологій. Ця зміна парадигми

виходить за межі простого впровадження технологій, означаючи фундаментальне переосмислення того, як ІТ-освіту можна надавати, як до неї можна отримувати доступ і яким є досвід її здобуття.

У контексті підготовки ІТ-фахівців віртуалізація охоплює низку технологічних підходів: віртуальні машини (ВМ), контейнерні рішення, віртуалізацію мережі та хмарні лабораторні середовища. Сукупно ці технології розв'язують давні проблеми ІТ-освіти – насамперед забезпечення апаратно-програмної підтримки для складних технічних дисциплін (курсів) за умов обмежених ресурсів закладу. Зростання значущості віртуалізації і в промисловій практиці, і в освітній діяльності відображає її здатність долати традиційний розрив між теоретичними знаннями та практичним застосуванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтеграція технологій віртуалізації в освітні середовища означає суттєву еволюцію педагогічних підходів до викладання ІТ-дисциплін; наукові публікації фіксують цю трансформацію за кількома вимірами. Ці дослідження показали, що віртуалізація дає змогу викладати складні технічні дисципліни без традиційних обмежень фізичного (апаратного) середовища [3].

Подальші дослідження розширили це розуміння, охопивши ширші наслідки функціонування віртуалізованих навчальних середовищ. Теоретична рамка віртуалізації в освіті спирається на кілька педагогічних теорій, зокрема на теорію досвідного навчання, яка наголошує на важливості практичного досвіду у формуванні навичок, і на конструктивістські підходи до навчання, що надають пріоритет активному конструюванню знань через практичну взаємодію [5]. Ці теоретичні засади підтримують тезу, що технології віртуалізації можуть підвищувати результати навчання, надаючи студентам безпечні, ізольовані середовища для експериментування та відпрацювання навичок.

Еволюція технологій віртуалізації йшла паралельно зі змінами в освітніх технологіях загалом. Перші реалізації фокусувалися на консолідації серверів і базовому розгортанні ВМ; їх навчальні застосування були обмежені через складність і вимоги до ресурсів. Проте поширення хмарних обчислень і контейнерних рішень радикально розширило доступність та придатність віртуалізації в освіті [1]. Сучасні роботи демонструють, як хмарні віртуальні лабораторії забезпечують масштабоване та економічно ефективне викладання складних ІТ-курсів, надаючи студентам доступ до індустріальних інструментів і середовищ.

Нещодавні наукові праці особливо підкреслюють роль віртуалізації в освіті з кібербезпеки, де здатність технологій створювати складні, реалістичні сценарії виявляється особливо цінною [2][6]. Ці дослідження демонструють, як віртуалізація дає змогу студентам працювати з витонченими викликами безпеки – зокрема веб-безпекою, атаками типу SQL-ін'єкцій та сценаріями мережевої захисту – у межах контрольованих навчальних середовищ. Можливість створювати багато віртуальних хостів, знімати обмеження мережевих інтерфейсів і надавати студентам права адміністратора у їхніх віртуальних середовищах становить суттєвий поступ у викладанні кібербезпеки.

Зростає увага і до контейнерних підходів у навчанні DevOps та сучасних методологій розробки [7]. Контейнери дають переваги над традиційними віртуальними машинами з огляду на ефективність використання ресурсів і швидкість розгортання, що особливо доречно там, де потрібне швидке надання і відтвореність навчальних середовищ. Це відповідає індустріальним трендам на контейнеризацію та мікросервіси.

Водночас література вказує на суттєві прогалини в поточних дослідженнях, зокрема щодо всебічної оцінки результатів навчання та довгострокового оцінювання впливу. Попри численні праці, що описують успішні впровадження й переваги, емпіричних даних, які порівнюють результати навчання між віртуалізованими та традиційними підходами до ІТ-освіти, досі бракує. Крім того, дослідження з професійного розвитку викладачів і управління змінами в закладах освіти в контексті впровадження віртуалізації залишаються недостатньо опрацьованими, попри критичну важливість цих чинників для успішної реалізації.

Теоретична рамка розуміння освітнього впливу віртуалізації має також враховувати ширші технологічні та педагогічні тенденції. Інтеграція штучного інтелекту, машинного навчання та периферійних (edge) обчислень із традиційними платформами віртуалізації свідчить, що майбутні освітні застосування ставатимуть дедалі складнішими та персоналізованішими. Це змушує заклади будувати адаптивні підходи, здатні встигати за технологіями без втрати освітньої ефективності.

Мета статті – всебічно проаналізувати роль технологій віртуалізації у підвищенні ефективності освітнього процесу для підготовки ІТ-фахівців, із акцентом на педагогічну результативність, покращення доступності та узгодженість з галузевими стандартами. Дослідження охоплює аналіз поточних стратегій впровадження, освітніх результатів та викликів інтеграції віртуалізації у стандартні освітні програми підготовки ІТ-фахівців. Використано методи огляду літератури, аналізу кейсів і вивчення найкращих практик закладів, що успішно реалізували навчальні середовища на основі віртуалізації.

Значущість роботи виходить за межі суто технологічних аспектів і охоплює проблематику освітньої справедливості та доступності. Технології віртуалізації здатні демократизувати доступ до якісної ІТ-освіти, знижуючи апаратні бар'єри та забезпечуючи віддалений доступ до лабораторій, – тим самим долаючи географічні та соціально-економічні обмеження, які традиційно звужують освітні можливості [4]. Більш того, у міру того як індустрія дедалі ширше спирається на віртуалізовану інфраструктуру, навчальні заклади відчують зростаючий тиск щодо узгодження програм із цими технологічними реаліями, аби гарантувати працевлаштованість і конкурентоздатність випускників.

Статтю структуровано як всебічний огляд ролі віртуалізації в ІТ-освіті: спершу викладено теоретичні засади та огляд літератури; далі подано детальний аналіз технологій віртуалізації та їхніх освітніх застосувань, стратегій впровадження, переваг і викликів; на завершення – майбутні тенденції та наслідки для зацікавлених сторін у сфері освіти.

Виклад основного матеріалу.

Технології віртуалізації та освітні застосування

А. Типи віртуалізації в ІТ-освіті

Ландшафт технологій віртуалізації, придатних для ІТ-освіти, охоплює кілька відмінних підходів, кожен з яких пропонує унікальні переваги для різних освітніх цілей і технічних вимог. Віртуальні машини (ВМ) є найбільш усталеною формою віртуалізації в освітніх контекстах; вони використовують технології гіпервізорів для створення повноцінних, ізольованих обчислювальних середовищ, здатних розміщувати різні операційні системи та прикладні програми [2]. Такий підхід дає студентам змогу працювати в різноманітних обчислювальних середовищах без потреби в багатьох фізичних машинах, розв'язуючи базову проблему забезпечення повноцінного практичного досвіду за умов обмежених ресурсів.

Технології гіпервізорів, зокрема рішення типу 1 (bare-metal) і типу 2 (hosted), становлять основу для розгортання навчальних віртуальних машин. Гіпервізори типу 1 забезпечують вищу продуктивність і зазвичай застосовуються в дата-центрах закладів освіти, що підтримують одночасну роботу багатьох користувачів, тоді як гіпервізори типу 2 дають змогу окремим студентам створювати віртуальні середовища на власних пристроях [3]. Така гнучкість моделей розгортання дозволяє закладам освіти впроваджувати стратегії віртуалізації, які враховують різну доступність ресурсів і вимоги до доступу.

Рішення на основі контейнерів, зокрема платформи Docker і Kubernetes, становлять суттєвий еволюційний крок у технологіях віртуалізації та мають особливу значущість для сучасної ІТ-освіти [7]. На відміну від традиційних віртуальних машин, які віртуалізують цілу операційну систему, контейнери забезпечують віртуалізацію на рівні операційної системи, пакуючи застосунки разом із їхніми залежностями у легкі портативні одиниці. Такий підхід забезпечує майже як у природному середовищі продуктивність під час операцій із процесором, пам'яттю, диском і мережею, водночас уможливаючи швидке розгортання та масштабування навчальних середовищ. Технології контейнерів особливо корисні для навчання практик DevOps, архітектур мікросервісів і підходів до розроблення, спроектованих для хмари (cloud-native), які дедалі ширше застосовуються у професійному ІТ-середовищі.

Технології віртуалізації мережі, зокрема SDN (Software-Defined Networking) та віртуальні мережеві функції (VNF) – відкривають можливості для складних мережевих лабораторій, які фізично відтворити складно або неможливо [1]. Ці технології дозволяють студентам створювати складні мережеві топології, експериментувати з протоколами маршрутизації та опановувати засади мережевої безпеки у контрольованих, відтворюваних середовищах. Здатність оперативно змінювати конфігурацію мережевих середовищ і моделювати різні умови роботи мереж надає освітні можливості, максимально наближені до реальних викликів мережевої інженерії.

Віртуалізація зберігання (даних) доповнює інші технології віртуалізації, абстрагуючи фізичні ресурси сховищ і даючи змогу гнучко розподіляти місткість між багатьма віртуальними середовищами. В освітньому контексті вона полегшує створення сталих студентських середовищ і водночас оптимізує використання ресурсів інституційної інфраструктури. Ця можливість особливо цінна для проєктно-орієнтованого навчання, коли студентам потрібен стабільний доступ до своїх робочих середовищ упродовж тривалого часу.

Хмарні віртуальні лабораторії – це поєднання кількох технологій віртуалізації в платформах із віддаленим доступом, які усувають традиційні бар'єри доступу до ІТ-освіти [8][4]. Такі платформи використовують моделі IaaS і PaaS, надаючи студентам ресурси за запитом: потужні обчислювальні засоби та спеціалізовані програмні середовища. Концепція «Lab@Home», що спирається на приватну хмарну інфраструктуру на основі серверної віртуалізації та розподіленого зберігання даних, демонструє, як хмарні підходи можуть розширювати освітній доступ за межі традиційних кордонів, зберігаючи при цьому педагогічний контроль і можливості оцінювання.

В. Технічні рамки впровадження

Десктопна віртуалізація є базовим підходом до впровадження, який дозволяє окремим студентам створювати та керувати віртуальними середовищами на власних обчислювальних пристроях. Зазвичай цей підхід використовує гіпервізори типу 2 (наприклад, VMware Workstation, VirtualBox або Parallels Desktop), щоб надати студентам повний контроль над їхніми навчальними середовищами [5]. Десктопна віртуалізація має низку освітніх переваг, зокрема можливість відтворювати експерименти вдома, підтримувати постійні середовища розроблення із збереженням стану, а також експериментувати з різними операційними системами та конфігураціями ПЗ без ризику для основного середовища.

Освітня ефективність десктопної віртуалізації значною мірою залежить від належної конфігурації та дієвих служб підтримки. Студентам потрібні достатні апаратні ресурси – насамперед обсяг оперативної пам'яті та місткість сховища – щоб забезпечити одночасну роботу кількох віртуальних машин. Крім того, заклади освіти мають надавати всебічну технічну підтримку й навчання, аби студенти могли ефективно

користуватися інструментами віртуалізації. Властивості ізоляції, сумісності та інкапсуляції образів віртуальних машин особливо цінні в цьому контексті, адже вони дають змогу розгортати реалістичні навчальні середовища та водночас утримувати під контролем складність, зумовлену різноманітністю освітніх інструментів і вимог [5].

Серверна віртуалізація для масштабованих лабораторних середовищ є більш просунутим підходом до впровадження, який спирається на інфраструктуру закладу освіти для підтримки багатьох одночасних користувачів і складних навчальних сценаріїв. Зазвичай цей підхід використовує гіпервізори та платформи керування промислового рівня, що забезпечують централізоване адміністрування та розподіл ресурсів між численними віртуальними середовищами [1]. Рішення на базі серверів дають змогу підтримувати більші групи студентів, зберігаючи стабільні показники продуктивності та доступності.

Переваги масштабованості серверної віртуалізації виходять за межі простої місткості користувачів і охоплюють здатність швидко розгортати нові лабораторні середовища та адаптуватися до змін вимог дисциплін. Інструменти автоматизованого розгортання та підготовки ресурсів (provisioning) дають змогу за лічені хвилини розгорнути попередньо налаштовані образи віртуальних машин і мережеві топології, тож складні лабораторні роботи запускаються без тривалих ручних налаштувань. Це особливо важливо за обмеженого навчального часу й дає змогу виконувати частіші ітерації та експерименти під час розроблення й оновлення змісту курсів.

Вкладена віртуалізація (nested) – це просунута техніка реалізації, що дозволяє віртуальним машинам розміщувати інші віртуальні машини, формуючи багаторівневі середовища віртуалізації [2]. Такий підхід особливо цінний в освіті з кібербезпеки, де студентам потрібно моделювати складні сценарії атак й оборони за участю багатьох взаємопов'язаних систем. Вкладена віртуалізація дає змогу створювати реалістичні корпоративні середовища в межах навчальних лабораторій, водночас зберігаючи ізоляцію та контроль над експериментальними умовами.

Технічна складність вкладеної віртуалізації потребує ретельного врахування впливу на продуктивність і стратегій розподілу ресурсів. Кілька рівнів віртуалізації додають накладні витрати, що можуть позначатися на швидкодії системи, тож потрібні достатні апаратні ресурси та оптимізація конфігурацій віртуалізації. Водночас освітні переваги можливості створювати комплексні, реалістичні ІТ-середовища часто виправдовують додаткову складність, особливо для просунутих курсів із кібербезпеки, системного адміністрування та керування мережами.

Стратегії впровадження та найкращі практики

Кейси успішного впровадження віртуалізації

Впровадження віртуалізації в ІТ-освіті продемонструвало відчутні успіхи в закладах різних типів. Комплексний аналіз програм з кібербезпеки показує, що віртуалізація дає змогу студентам виходити за межі традиційної аудиторії: створювати багато віртуальних хостів, знімати обмеження мережевих інтерфейсів та адмініструвати власні віртуальні середовища [2][6]. Цей підхід дозволяє моделювати сценарії, які на реальному обладнанні були б практично нереалізовними або економічно невиправданими.

Переорієнтація на хмарні віртуальні лабораторії комп'ютерних мереж становить зміну парадигми у способах надання освіти [1]. Такі реалізації спираються на синергію віртуалізації та хмарних обчислень: хмарні серверні системи значною мірою ґрунтуються на технологіях віртуалізації, щоб забезпечити масштабовані та економічно ефективні навчальні середовища. Концепція Lab@Home ілюструє цей підхід: приватна хмарна інфраструктура, побудована на серверній віртуалізації та розподіленому зберіганні даних, забезпечує легкі, портативні й економічно доцільні лабораторні практики, які виходять за межі традиційних рамок закладу, водночас зберігаючи педагогічний контроль і можливості оцінювання [4].

Популярні віртуальні лабораторії з безпеки – DeterLab, Tele-Lab IT та NETinVM – стали еталонними орієнтирами успішного впровадження [6]. Ці платформи демонструють, як завдяки віртуалізації студенти можуть налаштовувати мережі з віртуальних машин і відпрацьовувати сценарії несанкціонованого доступу та заходів захисту. Можливість відтворювати експерименти вдома продовжує навчання за межами закладу та забезпечує безперервність між аудиторними заняттями і самостійною практикою.

Вимоги до інфраструктури та розподілу ресурсів

Ефективне впровадження віртуалізації потребує ретельного врахування технічної інфраструктури та стратегій розподілу ресурсів. Створення віртуальних аналогів фізичних обчислювальних ресурсів охоплює апаратні платформи, обчислювальні пристрої, мережеве обладнання, пристрої введення/виведення та системи зберігання даних [1]. Такий комплексний підхід забезпечує студентам роботу в реалістичних навчальних середовищах, водночас зберігаючи ізоляцію, сумісність та інкапсуляцію, необхідні для досягнення якісних результатів навчання [5].

Хмарна інфраструктура стала ключовим чинником масштабованого розгортання віртуалізації. Університети, що впроваджують хмарні обчислення, отримують зниження витрат, просте додавання віртуальних ресурсів і поліпшені можливості інтеграції – усе це разом підвищує конкурентоспроможність закладу [9]. Перехід до хмарних рішень також допомагає стримувати зростання витрат, пов'язаних із дедалі більшою різноманітністю інструментів і середовищ, потрібних у сучасній ІТ-освіті [5].

Планування розподілу ресурсів має враховувати і десктопну, і повну (серверну) віртуалізацію, адже кожна з них слугує різним освітнім цілям [6]. Десктопна віртуалізація підтримує індивідуальні сценарії навчання, тоді як повна (серверна) дає змогу будувати складні багатовузлові конфігурації, необхідні для просунутої підготовки з ІТ. Застосування вкладеної (nested) віртуалізації ще більше розширює можливості, дозволяючи реалізовувати складні освітні сценарії, що наближені до реальних корпоративних середовищ.

Підготовка викладачів і системи підтримки

Успішне впровадження технологій віртуалізації потребує комплексних програм розвитку викладачів, що охоплюють і технічні компетентності, і педагогічну адаптацію. Віртуальне навчання вимагає широкого спектра інструментів для віртуальної взаємодії, знань щодо програмного та апаратного забезпечення, тож потрібне безперервне підвищення кваліфікації викладачів [10]. Стрімке розширення платформ віртуальної освіти, яке особливо прискорила пандемія COVID-19, підсвітило критичну важливість готовності викладацького складу до роботи у віртуальних навчальних середовищах.

Контроль якості та оцінювання у віртуалізованих середовищах породжують специфічні виклики, що потребують спеціальної підготовки [10]. Викладачам слід розвивати нові компетентності з моніторингу прогресу студентів у віртуалізованих середовищах (зокрема із використанням образів віртуальних машин), розуміючи, як віртуалізація дає змогу розгортати реалістичні навчальні середовища без втрати педагогічної ефективності [5]. Найкращі результати демонструють інтерактивні віртуальні заняття, що підтримують активну участь студентів і ощадливе використання навчального часу.

Системи підтримки мають охоплювати інтеграцію ІТ-інфраструктури та онлайн-платформ, особливо для викладачів із невеликим попереднім досвідом у сфері віртуальної освіти [11]. Програми підвищення кваліфікації варто вибудовувати з акцентом на практичній взаємодії та командних форматах роботи, що формують переваги віртуального навчання порівняно з традиційними дистанційними підходами.

Моделі доступу для студентів і концепції віддалених лабораторій

Демократизація ІТ-освіти завдяки віртуалізації потребує ретельно спроектованих моделей доступу для студентів, які враховують різні освітні потреби й життєві обставини. Віртуальне навчання створює можливості для інклюзивності та різноманіття, даючи університетам змогу навчати студентів з інших країн, а також тих, хто через фізичні чи економічні обмеження не може відвідувати заняття очно [9]. Запровадження технологій з відкритим кодом зробило віртуальне навчання привабливішим і доступнішим для ширших студентських аудиторій.

Концепції віддалених лабораторій помітно еволюціонували в епоху хмарних обчислень, і модель Lab@Home уособлює комплексний підхід до розподіленого навчання [4]. Ця концепція передбачає надання студентам легких, компактних, портативних та економічно доцільних лабораторних наборів і програмних середовищ, що дає змогу здійснювати віддалене оцінювання прогресу та водночас розширює традиційні підходи до віддалених лабораторій – як з погляду технологічної інфраструктури, так і з погляду навчання й викладання.

Гнучкість віртуального навчання, що включає цілодобовий доступ до матеріалів, менші витрати на дорогу та вищу самостійність, слід збалансовувати з ризиками низької мотивації й прокрастинації. Ефективні моделі доступу спираються на підтримувальне навчальне середовище та достатню інфраструктуру, адже саме вони є критично важливими для успіху віртуальної освіти.

Переваги та освітні результати

Посилені можливості практичного навчання

Віртуалізація докорінно змінює масштаб і якість практичної складової ІТ-освіти. Технологія дозволяє студентам створювати більше віртуальних хостів, ніж доступно фізичних комп'ютерів, знімати традиційні обмеження мережевих інтерфейсів і виконувати адміністрування власних віртуальних середовищ [2, 6]. Це дає змогу відпрацьовувати складні сценарії, раніше недосяжні у традиційних лабораторних умовах, і працювати з витонченими конфігураціями та взаємодіями між кількома системами.

Властивості ізоляції, сумісності та інкапсуляції, притаманні віртуальним машинам, створюють оптимальні умови для реалістичних навчальних середовищ [5]. Студенти можуть експериментувати з різними операційними системами, мережевими конфігураціями та сценаріями безпеки без ризику пошкодити фізичну інфраструктуру чи вплинути на роботу інших здобувачів. Така «безпечна пісочниця» заохочує дослідження й ітеративне навчання – ключові складові формування ІТ-навичок.

Віртуальні лабораторії переконливо демонструють навчальний потенціал віртуалізації. Вони дають змогу розгортати мережі та сервіси з віртуальних машин, моделювати робочі середовища операційних систем і баз даних, а також відпрацьовувати процеси DevOps/MLOps та інтеграцію розподілених систем у хмарних платформах і сервісах (IaaS/PaaS/Serverless). Відтворюваність таких експериментів удома продовжує навчання поза межами закладу й підсилює аудиторні заняття завдяки регулярній практиці [12, 13].

Економічна ефективність та оптимізація ресурсів

Економічні переваги віртуалізації в освіті виходять за межі простого скорочення витрат на апаратне забезпечення і охоплюють комплексні стратегії оптимізації ресурсів. Впровадження хмарних обчислень забезпечує закладам освіти помітне зниження витрат, спрощує додавання віртуальних ресурсів і покращує

інтеграційні можливості [9]. У сукупності ці вигоди підвищують конкурентоспроможність закладів, що впроваджують технології віртуалізації.

Віртуалізація дає відповідь на зростання витрат, пов'язане з дедалі більшою різноманітністю інструментів і середовищ, необхідних у сучасній ІТ-освіті [5]. Консолідація багатьох навчальних середовищ на спільній фізичній інфраструктурі дозволяє максимізувати віддачу від інвестицій у техніку й водночас надати студентам доступ до різних конфігурацій ПЗ та систем, підтримка яких у вигляді окремих фізичних стендів була б надмірно дорогою.

Модель Lab@Home демонструє, що завдяки віртуалізації можна створювати доступні, компактні й мобільні лабораторії [4]. Це зменшує залежність від великих стаціонарних комплексів, зберігаючи рівень навчання та масштабованість без додаткових витрат.

Підвищена доступність і демократизація ІТ-освіти

Віртуалізація робить ІТ-освіту доступнішою: знімає звичні бар'єри для входу й участі. Вона дає змогу університетам навчати студентів з інших країн і тих, кому заважають фізичні чи фінансові обмеження [9]. Гнучкий формат із цілодобовим доступом до матеріалів і без постійних поїздок на пари помітно розширює можливості для навчання.

Цифрова трансформація, прискорена останніми глобальними подіями, продемонструвала спроможність віртуалізації забезпечувати безперервність навчання в складних умовах. Традиційні університети пройшли значні процеси віртуалізації, що підтвердило ефективність технологій для підтримання безперервного навчального досвіду попри зовнішні обмеження.

Технології з відкритим кодом зробили віртуальне навчання привабливішим і доступнішим для широких аудиторій [9]. Така технологічна демократизація дає змогу меншим закладам і регіонам, що розвиваються, надавати якісну ІТ-освіту без значних капіталовкладень у традиційні лабораторні комплекси.

Узгодження розвитку навичок із галузевими стандартами

Віртуалізація в освіті безпосередньо знімає розрив між академічною підготовкою та вимогами галузі. Синергія віртуалізації та хмарних обчислень означає, що студенти, які навчаються з використанням цих технологій, здобувають прямий досвід роботи з інфраструктурними підходами, що домінують у сучасних ІТ-середовищах [1]. Така відповідність гарантує, що випускники мають навички, які можна відразу застосувати на робочому місці.

Комплексний характер навчання в середовищах віртуалізації – охоплення апаратних платформ, обчислювальних пристроїв, мережевого обладнання та систем зберігання даних [1] – формує в студентів цілісне розуміння сучасної ІТ-інфраструктури. Така широта досвіду є ключовою для підготовки універсальних ІТ-фахівців, здатних працювати у різних технологічних доменах.

Інтерактивні віртуальні заняття, що стимулюють активну участь студентів, демонструють кращі результати порівняно з традиційними підходами [11]. Можливість експериментувати зі складними конфігураціями та багаторазово відтворювати сценарії прискорює опанування навичок і поглиблює концептуальне розуміння, тож випускники краще готові до вирішення практичних завдань у професійному ІТ-середовищі.

Виклики та обмеження

Технічні інфраструктурні бар'єри

Впровадження віртуалізації в освітніх середовищах стикається з помітними інфраструктурними труднощами, що можуть гальмувати успішний запуск. Недостатня швидкість/стабільність інтернету та повільні (застарілі) пристрої є ключовими перешкодами для повноцінного функціонування віртуального навчання [11]. Ці обмеження особливо відчутні в регіонах зі слаборозвиненою технологічною інфраструктурою, що спричиняє нерівність у доступі та неоднакову якість освітніх послуг.

Інтеграція потужної ІТ-інфраструктури та онлайн-платформ залишається постійним викликом, особливо для закладів із невеликим попереднім досвідом у віртуальній освіті [11]. Керування віртуалізованими середовищами складне й потребує спеціалізованої технічної експертизи, якої традиційним закладам може бракувати. Це вимагає суттєвих інвестицій у служби технічної підтримки та можливості обслуговування.

Механізми контролю якості у віртуалізованих середовищах потребують розвинених систем моніторингу й оцінювання, які суттєво відрізняються від традиційних підходів до освітнього оцінювання [10]. Розроблення та впровадження таких систем вимагає значних технічних ресурсів і компетенцій, що може створювати додаткові бар'єри для закладів з обмеженими технічними можливостями.

Накладні витрати продуктивності

Віртуалізація за своєю природою додає накладні витрати продуктивності, що може позначатися на навчальному процесі, особливо у ресурсомістких сценаріях підготовки з ІТ. Запуск багатьох віртуальних машин на спільному фізичному обладнанні створює вузькі місця продуктивності, які обмежують складність і реалістичність лабораторних завдань. Це особливо відчутно, коли відтворюються сценарії промислового рівня або коли одночасно працює велика кількість користувачів.

Підтримка балансу між економією та швидкістю – постійний виклик для впровадження віртуалізації. Попри скорочення витрат на апаратне забезпечення, забезпечення прийняттого рівня продуктивності часто вимагає інвестицій у високопродуктивну інфраструктуру (сервери, сховища, мережі), що може частково нівелювати фінансові переваги.

Студенти, які працюють із власних пристроїв, можуть стикатися зі значними обмеженнями продуктивності, особливо під час доступу до ресурсомістких віртуальних лабораторій. Така нерівність у доступі до необхідних обчислювальних ресурсів підриває демократизуючий потенціал технологій віртуалізації.

Адаптація викладачів і вимоги до підготовки

Перехід до віртуалізованого формату навчання потребує комплексного розвитку викладачів, що виходить за межі суто технічного тренінгу й охоплює педагогічну трансформацію. Викладачі мають опанувати керування інструментами віртуальної взаємодії, програмним та апаратним забезпеченням і водночас адаптувати методики викладання до віртуальних середовищ [10]. Поєднання технічної й педагогічної підготовки формує значний запит на підвищення кваліфікації.

Брак досвіду з платформами та методиками віртуального навчання під час переходу часто знижує ефективність. Викладачам без належної підготовки важче створювати цікаві й результативні онлайн-курси, що може тимчасово погіршити результати студентів.

Потреба в безперервній підтримці для викладачів, які працюють із технологіями віртуалізації, є суттєвим зобов'язанням для закладу. Швидка еволюція платформ і інструментів віртуалізації вимагає постійного підвищення кваліфікації, аби зберігати педагогічну ефективність, що створює довгострокові виклики розподілу ресурсів для освітніх установ.

Проблеми мотивації та залученості студентів

Віртуальні навчальні середовища висувають особливі виклики для підтримання мотивації та залученості, які суттєво відрізняються від динаміки традиційної аудиторії. Студенти можуть відчувати незадоволеність через брак мотивації, прокрастинацію та труднощі онлайн-комунікації, що негативно впливає на результати навчання. Ці мотиваційні ризики особливо помітні в онлайн- та змішаних форматах навчання, де відсутні звичні соціальні та мотиваційні механізми підтримки.

Відсутність безпосередньої взаємодії «викладач–студент» і «студент–студент» істотно позначається і на результатах навчання, і на задоволеності студентів. Віртуальні формати не завжди відтворюють спонтанні взаємодії та командну динаміку очного навчання, тож зменшуються соціальні чинники, важливі для успіху.

Технічні збої та обмеження платформ викликають фрустрацію і підривають залученість та мотивацію. Коли системи віртуального навчання працюють ненадійно або мають неінтуїтивний чи повільний інтерфейс, у студентів формується стійке негативне ставлення до онлайн- та змішаних форматів навчання – навіть після усунення конкретних технічних проблем.

Тренди майбутнього та наслідки

Інтеграція з новітніми технологіями

Зближення віртуалізації зі штучним інтелектом і машинним навчанням обіцяє докорінно змінити ІТ-освіту завдяки персоналізованим та адаптивним навчальним середовищам. Віртуальні лабораторії на базі ІІШ можуть включати інтелектуальні системи, що підлаштовуються під індивідуальні шаблони навчання студентів, пропонують індивідуалізовані завдання та підтримку на основі аналізу результатів у реальному часі. Така інтеграція дає змогу створювати віртуальні середовища, які не лише моделюють технічні системи, а й забезпечують розумне наставництво та оцінювання.

Інтеграція периферійних (edge) обчислень із технологіями віртуалізації відкриває нові освітні підходи: обчислювальні ресурси розміщуються ближче до здобувачів освіти, водночас зберігається гнучкість і економічність віртуальних середовищ. Такий розподілений підхід зменшує затримки у віртуальних лабораторіях і надає студентам практичний досвід роботи з сучасними архітектурами розподілених обчислень, які стають дедалі важливішими у професійному ІТ-середовищі.

Поєднання платформ віртуалізації з технологіями розширеної реальності (XR) створює занурювальні (immersive) формати навчання: безпечні, ізольовані віртуальні середовища доповнюються інтуїтивними 3D-інтерфейсами. Такі гібридні підходи підвищують залученість і засвоєваність матеріалу, водночас зберігаючи практичні переваги традиційної віртуалізації [10, 11].

Переорієнтація на хмарно-нативні навчальні платформи

Перехід від традиційної віртуалізації до хмарно-нативних (cloud-native) освітніх архітектур означає фундаментальну зміну підходів до організації та масштабування ІТ-освіти. Контейнеризація та архітектури на основі мікросервісів дають змогу будувати більш модульні, ефективні й швидкі в розгортанні навчальні середовища, які можна точно налаштовувати під конкретні навчальні цілі та динамічно масштабувати за попитом.

Парадигми безсерверних обчислень (serverless) дозволяють закладам освіти зосередитися на змісті й методиці, а не на керуванні інфраструктурою, зменшуючи технічні бар'єри для впровадження віртуалізації. Такий рух до керованих освітніх платформ демократизує доступ до складних віртуальних навчальних середовищ для закладів із обмеженими технічними ресурсами [12, 13].

Розвиток освітніх PaaS-рішень (platform-as-a-service), спеціально спроектованих для ІТ-підготовки, стандартизуватиме підходи до віртуалізації й водночас дозволить закладам зосередитися на розробленні змісту та підтримці студентів, а не на технічній реалізації. Такі спеціалізовані платформи можуть надавати

попередньо налаштовані навчальні середовища, інструменти автоматизованого оцінювання та вбудовані засоби співпраці, оптимізовані під потреби ІТ-освіти.

Аспекти сталого розвитку та масштабованості

Для забезпечення глобального доступу до освіти розвивають розподілені архітектури віртуалізації, здатні обслуговувати кілька географічних регіонів із підтриманням сталої якості навчання; такі підходи водночас враховують технічні аспекти масштабування та регуляторні вимоги щодо локалізації даних і захисту персональної інформації в міжнародних освітніх контекстах.

Паралельно застосування принципів раціонального повторного використання та продовження життєвого циклу ресурсів в освітніх технологіях заохочує повторне застосування віртуальних образів, шаблонів і середовищ у різних навчальних сценаріях, що підвищує віддачу від інвестицій у віртуалізацію та зменшує втрати й дублювання під час розгортання і супроводу освітньої інфраструктури.

Можливості партнерства з індустрією

Стратегічні партнерства між закладами освіти та технологічними компаніями формують нові моделі ІТ-освіти на основі віртуалізації, які забезпечують студентам прямий доступ до інструментів і середовищ, що відповідають вимогам ІТ-індустрії. Такі партнерства надають змогу здобувати досвід виконання реальних проєктів у межах навчальних курсів, а компаніям – виявляти й розвивати таланти через участь в освітніх ініціативах.

Інтеграція професійної сертифікації з віртуалізованими навчальними середовищами дозволяє здобувачам під час навчання отримувати визнання на ринку підтвердження професійних навичок і компетентностей (сертифікати). Така узгодженість академічних досягнень із професійною кваліфікацією спрощує перехід від освіти до працевлаштування та гарантує актуальність змісту відповідно до галузевих стандартів і практик.

Партнерства у сфері досліджень і розробок зосереджені на технологіях освітньої віртуалізації, створюють можливості для розвитку як методик навчання, так і комерційних платформ віртуалізації. Такі спільні проєкти стимулюють інновації на перетині освіти й індустрії та надають студентам досвід роботи з передовими технологіями і процесами розроблення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Інтеграція технологій віртуалізації у підготовку ІТ-фахівців є трансформаційним підходом, який розв'язує ключові проблеми доступності, економічної доцільності та освітньої ефективності. Цей всебічний аналіз показує, що віртуалізація – це не лише інструмент скорочення витрат, а передусім базовий рушій розширеного практичного фахового досвіду, набутого під час навчання, який готує студентів до реалій сучасних ІТ-середовищ.

Наявні дані свідчать: успішне впровадження віртуалізації забезпечує суттєві переваги, зокрема посилення практичної складової навчання, демократизацію доступу до складних технічних середовищ і краще узгодження між академічною підготовкою та вимогами індустрії. Віртуальні лабораторії та хмарні платформи навчання здатні надавати складні й реалістичні практичні навички, які раніше були неможливими або економічно невиправданими в традиційних умовах [2, 1, 5, 6]. Можливість надавати студентам права на адміністрування у віртуальних середовищах, самостійно відтворювати експерименти та працювати зі сценаріями промислового масштабу означає якісний стрибок у способах організації ІТ-освіти.

Водночас упровадження віртуалізації в освіті потребує пильної уваги до низки викликів: обмежень технічної інфраструктури, вимог до підготовки викладачів та підтримання мотивації й залученості студентів. Успіх ініціатив з віртуалізації критично залежить від належного інтернет-з'єднання, розвинених систем технічної підтримки та комплексних програм підвищення кваліфікації викладачів, що охоплюють і технічні компетентності, і педагогічну адаптацію [10, 11]. Потрібно також дбати, щоб накладні витрати на віртуалізацію не знижували освітню ефективність.

Подальший розвиток віртуалізації в ІТ-освіті спрямований на поглиблену інтеграцію з новітніми технологіями: штучним інтелектом, периферійними (edge) обчисленнями та хмарно-нативними архітектурами. Такі рішення покликані зняти нинішні обмеження і водночас відкрити нові можливості для персоналізованого, масштабованого та сталого надання освітніх послуг. Партнерства з індустрією та інтеграція професійної сертифікації ще більше зміцнять зв'язок між академічною підготовкою та професійною практикою, забезпечуючи актуальність і цінність віртуалізованої освіти для студентів і роботодавців.

Очевидний висновок для зацікавлених сторін ІТ-освіти: віртуалізація є водночас можливістю і необхідністю для збереження актуальності освіти у сучасному цифровому професійному середовищі. Зкладам варто інвестувати в надійну технічну інфраструктуру, розвиток викладачів і дієві системи підтримки студентів – як ключові передумови успішного впровадження. Водночас слід зважати на притаманні віртуальному навчанню обмеження й ризики, щоб технологічні новації працювали на реальне підвищення якості освіти, а не ставали самоціллю.

Майбутні дослідження варто зосередити на довготривалому відстеженні результатів студентів у програмах із використанням віртуалізації, порівняльних аналізах різних підходів і платформ, а також пошуку оптимальних стратегій інтеграції новітніх технологій. Окрему увагу слід приділити стратегіям упровадження, орієнтованим на рівність і інклюзивність, щоб максимально реалізувати демократизуючий потенціал цих технологій у різних освітніх контекстах і для різних груп здобувачів.

Список використаних джерел:

1. Usman A. Teaching and Learning Cybersecurity courses with Virtualization Technology: presentation. York St John University, 2021. URL: <https://surl.li/tfmvgn> (дата звернення: 14.08.2025)
2. Gercek G., Saleem N., Steel D. Implementing Cloud Based Virtual Computer Network Labs for Online Education: Experiences from a Phased Approach. *International Journal of Online Engineering*, 2016. Т. 12, № 3. С. 70–76. DOI: 10.3991/ijoe.v12i03.5564
3. Saliah-Hassane H. та ін. Lab@Home: Remote Laboratory Evolution in the Cloud Computing Era. Proceedings of the 2011 ASEE Annual Conference & Exposition (Vancouver, Canada, 26–29 June 2011), 2011. URL: <https://surl.li/uojsrv> (дата звернення: 14.08.2025).
4. Romero-Zaldivar V. A., Pardo P., Burgos D., Delgado K. Monitoring student progress using virtual appliances: A case study. *Computers & Education*, 2012. Т. 58, № 3. С. 1059–1069. DOI: 10.1016/j.compedu.2011.12.003.
5. Hashim M. A. M., Tlemsani I., Matthews R. Higher education strategy in digital transformation. *Education and Information Technologies*, 2022. Т. 27. С. 3171–3195. DOI: 10.1007/s10639-021-10739-1.
6. Vakilian A., Zare Ranjbar E., Hassanipour M., Ahmadinia H., Hasani H. The effectiveness of virtual interactive video in comparison with online classroom in the stroke topic of theoretical neurology in COVID-19 pandemic. *Journal of Education and Health Promotion*, 2022. Т. 11. Ст. 219. DOI: 10.4103/jehp.jehp_1297_21.
7. Grados-Espinoza P. A cross-sectional study to assess the level of satisfaction with virtual education in Peruvian medical students. *Frontiers in Public Health*, 2022. Т. 10. Ст. 1004902. DOI: 10.3389/fpubh.2022.1004902.
8. Rivera-Vargas P., Anderson T., Alonso-Cano C. Exploring students' learning experience in online education: analysis and improvement proposals based on the case of a Spanish open learning university. *Educational Technology Research and Development*, 2021. Т. 69, № 6. С. 3367–3389. DOI: 10.1007/s11423-021-10045-0.
9. Alenezi A. Digital Learning and Digital Institution in Higher Education. *Education Sciences*, 2023. Т. 13, № 1. Ст. 88. DOI: 10.3390/educsci13010088.
10. Bermejo J., Fernández C., Villena J. et al. Best Practices for Developing Extended Reality Experiences in Higher Education. *Information*, 2023. Т. 14, № 1. Ст. 3. DOI: 10.3390/info14010003.
11. Ochoa X., Domínguez A. On the Need for an Open eXtended Reality for Education Framework (OXREF). *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 2023. Т. 24, № 1. С. 303–316. DOI: 10.19173/irrodl.v24i3.7109.
12. Kandpal M., Sharma M., Nivedita. BS-GeoEduNet 1.0: Blockchain-Assisted Serverless Geo-Education Network. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2024. Т. 13, № 8. Ст. 274. DOI: 10.3390/ijgi13080274.
13. Shojaei Rad Z., Shafiee S., Taherkhani A. Data Pipeline Approaches in Serverless Computing: A Taxonomy and Review. *Journal of Big Data*, 2024. Т. 11, № 1. Ст. 37. DOI: 10.1186/s40537-024-00939-0.

References:

1. Usman, A. (2021). Teaching and learning cybersecurity courses with virtualization technology [Conference presentation]. York St John University. Retrieved from: <https://surl.li/tfmvgn>
2. Gercek, G., Saleem, N., & Steel, D. (2016). Implementing cloud based virtual computer network labs for online education: Experiences from a phased approach. *International Journal of Online Engineering*, 12(3), 70–76. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v12i03.5564>
3. Saliah-Hassane, H. (2011). Lab@Home: Remote laboratory evolution in the cloud computing era. In Proceedings of the 2011 ASEE Annual Conference & Exposition (Vancouver, Canada, 26–29 June 2011). Retrieved from: <https://surl.li/uojsrv>
4. Romero-Zaldivar, V. A., Pardo, P., Burgos, D., & Delgado, K. (2012). Monitoring student progress using virtual appliances: A case study. *Computers & Education*, 58(3), 1059–1069. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.12.003>
5. Hashim, M. A. M., Tlemsani, I., & Matthews, R. (2022). Higher education strategy in digital transformation. *Education and Information Technologies*, 27, 3171–3195. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10739-1>
6. Vakilian, A., Zare Ranjbar, E., Hassanipour, M., Ahmadinia, H., & Hasani, H. (2022). The effectiveness of virtual interactive video in comparison with online classroom in the stroke topic of theoretical neurology in COVID-19 pandemic. *Journal of Education and Health Promotion*, 11, 219. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1297_21
7. Grados-Espinoza, P. (2022). A cross-sectional study to assess the level of satisfaction with virtual education in Peruvian medical students. *Frontiers in Public Health*, 10, 1004902. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1004902>
8. Rivera-Vargas, P., Anderson, T., & Alonso-Cano, C. (2021). Exploring students' learning experience in online education: Analysis and improvement proposals based on the case of a Spanish open learning university. *Educational Technology Research and Development*, 69(6), 3367–3389. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10045-0>
9. Alenezi, A. (2023). Digital learning and digital institution in higher education. *Education Sciences*, 13(1), 88. <https://doi.org/10.3390/educsci13010088>
10. Bermejo, J., Fernández, C., Villena, J., et al. (2023). Best practices for developing extended reality experiences in higher education. *Information*, 14(1), 3. <https://doi.org/10.3390/info14010003>

-
11. Ochoa, X., & Domínguez, A. (2023). On the need for an Open eXtended Reality for Education Framework (OXREF). *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 24(1), 303–316. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v24i3.7109>
 12. Kandpal, M., Sharma, M., & Nivedita. (2024). BS-GeoEduNet 1.0: Blockchain-assisted serverless geo-education network. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(8), 274. <https://doi.org/10.3390/ijgi13080274>
 13. Shojaee Rad, Z., Shafiee, S., & Taherkhani, A. (2024). Data pipeline approaches in serverless computing: A taxonomy and review. *Journal of Big Data*, 11(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s40537-024-00939-0>

Дата надходження статті: 25.10.2025

Дата прийняття статті: 17.11.2025

Опубліковано: 30.12.2025