

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ СИМУЛЯТОРІВ У STEM-ОСВІТІ

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-422-1-12>

### **Олександр ОЛЕНЮК**

кандидат технічних наук, доцент  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
e-mail: alexander olenyuk@gmail.com

### **Руслана СЕМЕНИШЕНА**

кандидат педагогічних наук, доцент  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
e-mail: alexrusl@ukr.net

### **Василь ДУГАНЕЦЬ**

кандидат технічних наук, доцент  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
e-mail: duganec.vasil@gmail.com

**Вступ.** Інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій суттєво трансформують освітній процес, зокрема у галузі STEM-дисциплін (science, technology, engineering, mathematics). Традиційні методи викладання поступаються місцем інноваційним цифровим засобам навчання, що забезпечують наочність, інтерактивність та індивідуалізацію. Особливе місце серед таких технологій займають віртуальні симулятори – інтерактивні комп'ютерні програми, що імітують реальні або модельні процеси, явища, ситуації. Їхнє використання в освітній практиці відкриває нові можливості для підвищення ефективності навчання STEM-дисциплін.

У сучасному освітньому середовищі віртуальні симулятори вже стали не просто технологічним додатком, але й невід'ємною частиною навчального процесу. Вони відкривають широкі можливості для створення інтерактивних та захоплюючих занять, дозволяючи здобувачам зануритися у віртуальне середовище та експериментувати без обмежень, які часто зустрічаються у реальних лабораторних умовах. Такий підхід не лише сприяє зрозумінню складних концепцій та законів науки, але й стимулює творче мислення та розвиток практичних навичок. Однією з ключових переваг використання віртуальних симуляторів є можливість доступу до широкого спектру експериментів та моделювання різних сценаріїв без значних витрат на обладнання та матеріали. Це особливо важливо у сучасному світі, де доступ до обладнання та ресурсів може бути обмеженим. Крім того, віртуальні симулятори дозволяють здобувачам вчитися у віддалених режимах, зокрема під час карантину або у випадку обмежених можливостей для навчання у лабораторіях. Аналіз наукової літератури свідчить про зростання інтересу вчених до проблеми впровадження віртуальних симуляторів в освітній процес. Так, українські дослідники В. Биков, М. Жалдак, О. Спірін, А. Стрюк вивчають теоретичні та методичні засади використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні, розглядають дидактичні можливості віртуальних лабораторних практикумів. Зарубіжні науковці D. Sousa, H. Leemkuil, B. McKenna досліджують вплив віртуальних симуляторів на мотивацію, пізнавальну активність і якість засвоєння навчального матеріалу здобувачами [1-5].

Водночас, аналіз психолого-педагогічної літератури засвідчив, що недостатньо дослідженими залишаються питання ефективності використання віртуальних симуляторів у STEM-освіті, їх впливу на формування практичних умінь та навичок здобувачів освіти. Отже, актуальним є вивчення можливостей застосування віртуальних симуляторів як засобу інноваційного навчання STEM-дисциплін [5].

Стрімкий науково-технічний прогрес та інформатизація всіх сфер життєдіяльності людини зумовлюють постійне оновлення та вдосконалення засобів і методів навчання. Серед сучасних цифрових освітніх технологій, що набувають дедалі ширшого застосування, особливе місце посідають віртуальні симулятори. Віртуальні симулятори - це інтерактивні комп'ютерні програми, що імітують реальні або модельні процеси, явища, ситуації. За допомогою таких симуляторів користувачі можуть «зануритися» у віртуальне середовище, досліджувати його характеристики, моделювати різноманітні процеси та прогнозувати їх наслідки. Однак виникають і труднощі у викладанні STEM такі, як: потреба у фізичних і технічних ресурсах, недостатня активність здобувачів освіти, збільшення робочого навантаження вчителів, потреба в цифровому обладнанні для дистанційного викладання дисциплін STEM, ризик використання учнями онлайн-інструментів і технічних пристроїв не для навчання, а для ігор і розваг [6].

**Виклад основного матеріалу.** У сучасній педагогічній літературі поняття «віртуальний симулятор» розглядається в контексті ширшого терміна «віртуальна лабораторія». Віртуальна лабораторія - це інтерактивне комп'ютерне середовище, у якому реалізуються віртуальні аналоги реальних лабораторних робіт та експериментів. Віртуальні лабораторії можуть бути представлені як окремі комп'ютерні програми, так і спеціалізовані навчальні ресурси або платформи для створення інтерактивних віртуальних моделей [2, 4].

Віртуальні лабораторії, що містять віртуальні симулятори, використовують аналогію реальних лабораторних установок і дозволяють здобувачам освіти виконувати різноманітні експериментальні завдання у віртуальному середовищі [1]. Такі лабораторії можуть імітувати:

- фізичні, технічні, інженерні процеси і явища (віртуальні фізичні, технічні, інженерні лабораторії);
- процеси програмування, налагодження та моделювання роботи комп'ютерних систем (віртуальні лабораторії з інформатики);
- процеси створення й редагування 3D-моделей, конструювання виробів (віртуальні лабораторії з інженерної графіки).

Отже, віртуальні симулятори як складова віртуальних лабораторій є ефективним засобом інноваційного навчання, що дозволяє забезпечити наочність, інтерактивність та індивідуалізацію освітнього процесу, а також формування практичних умінь і навичок здобувачів освіти у безпечному середовищі. Їх використання в освітньому процесі створює сприятливі умови для поглибленого вивчення STEM-дисциплін.

Використання віртуальних симуляторів в освітній практиці має низку переваг порівняно з традиційними методами навчання:

*Забезпечення наочності та інтерактивності.* Вони дозволяють візуалізувати та змоделювати складні технічні, фізичні, інженерні та інші процеси, які неможливо безпосередньо спостерігати в реальних умовах через їх масштаби, небезпечність чи вартість обладнання. Забезпечують активну взаємодію користувача з комп'ютерною моделлю, можливість змінювати параметри моделювання, втручатись у перебіг процесів, отримувати миттєвий зворотний зв'язок, можливість прискореного або уповільненого відтворення процесів, що не можуть бути спостережені в реальному часі. Наприклад, студенти-біологи можуть простежити весь життєвий цикл організму у стислий термін або, навпаки, детально розглянути окремі фази розвитку в уповільненому режимі. Це дозволяє глибше зрозуміти перебіг досліджуваних явищ і процесів та створює наочні, інтерактивні умови для вивчення STEM-дисциплін, підвищує інтерес здобувачів освіти до навчання.

*Можливість проведення експериментів у безпечних умовах.* Використання віртуальних симуляторів дає змогу здобувачам освіти проводити «небезпечні» дослідження, змінювати параметри експерименту, спостерігати за наслідками своїх дій без ризику завдання шкоди здоров'ю та майну. Це особливо актуально для STEM-дисциплін, де практичні заняття часто пов'язані з роботою складної, потенційно небезпечної техніки. Наприклад, студенти-хіміки можуть проводити небезпечні експерименти з хімічними речовинами у віртуальній лабораторії, не ризикуючи своїм здоров'ям. Або майбутні пілоти можуть тренуватися на віртуальних симуляторах польотів, не піддаючи себе ризику в реальному повітряному просторі.

*Індивідуалізація процесу навчання.* Симулятори дозволяють організувати самостійну роботу кожного студента, налаштувати швидкість виконання завдань та складність відповідно до рівня їх підготовленості, забезпечити миттєвий зворотний зв'язок. Також надає можливість працювати в зручному для них темпі та графіку. На відміну від традиційних лабораторних занять, здобувачі вищої освіти можуть самостійно обирати час та тривалість роботи, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу та формуванню навичок самоорганізації. Це уможливує більш ефективне опанування навчального матеріалу кожним здобувачем освіти.

*Формування практичних умінь і навичок у віртуальному середовищі.* Роботу з віртуальними симуляторами можна розглядати як «тренажер» для набуття певних практичних навичок (наприклад, програмування, конструювання, моделювання) у безпечних умовах. Це дозволяє здобувачам повторювати завдання необмежену кількість разів, закріплюючи свої навички та знання. На відміну від реальних лабораторій чи обладнання, віртуальні симулятори не мають матеріальних обмежень і можуть бути використані стільки разів, скільки необхідно для досягнення бажаного результату навчання. Це особливо важливо для опрацювання складних або нестандартних ситуацій, коли потрібні численні повторення для формування алгоритму дій, або коли відпрацювання таких навичок на реальному обладнанні є ризикованим або неможливим.

*Підвищення мотивації та пізнавальної активності.* Інтерактивність віртуальних симуляторів, можливість проведення експериментів, отримання наочних результатів підвищують інтерес здобувачів до навчання, сприяють розвитку їхньої пізнавальної активності.

*Доступність.* Віртуальні симулятори можуть бути доступні цілодобово, незалежно від місця перебування, на різних пристроях, підключених до мережі Інтернет. Це відкриває широкі можливості для навчання та експериментів, особливо у віддалених чи обмежених умовах, де фізичний доступ до спеціалізованих обладнань може бути складним або неможливим та забезпечує гнучкість навчання розширюючи можливості для самостійної роботи здобувачів.

*Вартість.* Використання віртуальних лабораторій є значно дешевшим в порівнянні з обладнанням реальних навчальних лабораторій, оскільки не вимагає закупівлі складного технічного обладнання, його обслуговування та підтримки, а також дозволяє ефективно використовувати доступні цифрові ресурси для навчання без значних витрат на матеріали та обслуговування.

Водночас, варто зазначити, що застосування віртуальних симуляторів не є панацеєю від усіх проблем навчання. Вони повинні органічно інтегруватися в освітній процес, використовуватись комплексно з іншими методами і засобами навчання. Їх ефективність визначається не лише технологічними можливостями, а й педагогічно доцільною методикою використання [5].

Тому важливим є ретельне проектування навчального процесу з використанням віртуальних симуляторів, добір оптимальних форм, методів і засобів навчання, створення необхідного навчально-методичного супроводу. Лише за таких умов вони зможуть стати дієвим інструментом підвищення ефективності STEM-освіти.

Ефективне застосування віртуальних симуляторів в освітньому процесі зумовлене їх широкими дидактичними можливостями. Розглянемо детальніше, як вони можуть сприяти реалізації основних дидактичних принципів навчання.

– Принцип наочності. Віртуальні симулятори надають можливість візуалізувати та змодельовувати складні фізичні, технічні, інженерні процеси і явища, які неможливо або важко продемонструвати в реальних лабораторних умовах. Завдяки високій деталізації, анімації та інтерактивності віртуальні моделі забезпечують яскраве й переконливе унаочнення навчального матеріалу.

– Принцип системності та послідовності. Використання симуляторів дозволяє поетапно вводити навчальний матеріал, від простого до складного, моделюючи окремі елементи і цілісні процеси. Це сприяє формуванню в здобувачів освіти системних знань та вмінь.

– Принцип доступності. Уможливується індивідуалізація навчального процесу, адаптація складності завдань відповідно до рівня підготовленості кожного студента. Це дає змогу забезпечити доступність навчального матеріалу навіть для тих, хто має слабку базову підготовку.

– Принцип міцності засвоєння знань. Використання віртуальних симуляторів сприяє кращому запам'ятовуванню й усвідомленню навчального матеріалу завдяки можливості багаторазового повторення експериментів, зміни їхніх параметрів, отримання зворотного зв'язку.

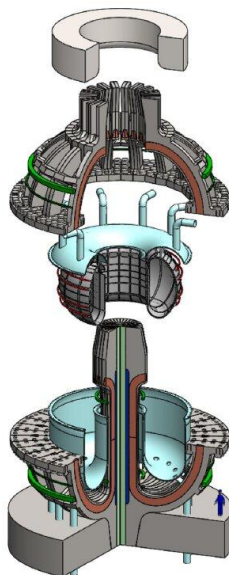
– Принцип активності та свідомості. Інтерактивність віртуальних симуляторів спонукає здобувачів освіти до активної пізнавальної діяльності, самостійного пошуку рішень, формулювання висновків. Це розвиває їхню ініціативність, творчість, критичне мислення.

– Принцип зв'язку теорії з практикою. Симулятори дозволяють моделювати реальні практичні ситуації, застосовувати теоретичні знання на практиці, формувати відповідні вміння й навички в безпечному віртуальному середовищі.

Застосування віртуальних симуляторів в освітньому процесі активно практикується в провідних закладах вищої освіти світу. Так, у США, Канаді, Великобританії, Німеччині, Японії віртуальні лабораторії та симулятори широко використовуються під час викладання STEM-дисциплін (фізики, інженерії, інформатики, медицини тощо).

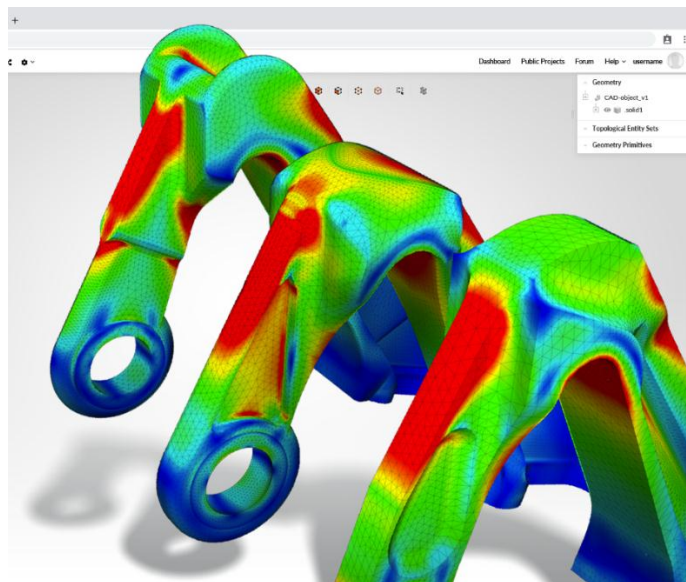
Ряд зарубіжних публікацій у фахових виданнях, присвячених STEM-освіті (наприклад, Journal for STEM Education Research, International Journal of STEM Education), описують різні моделі інтеграції STEM-дисциплін, а також основні проблеми, недоліки та переваги впровадження STEM-підходу. При цьому актуалізується застосування міждисциплінарного підходу до вивчення STEM-дисциплін, оскільки набуття здобувачами предметних компетентностей з математики, фізики, робототехніки, інженерії, біотехнологій, тощо через розв'язування практичних завдань, які лежать на стику предметних галузей, за допомогою математичних моделей та інженерних рішень, цифрових інструментів та технологічних інновацій сприяє формуванню готовності майбутніх фахівців до опанування нових професій, розвитку інноваційного мислення та підприємливості [7].

Наприклад, Массачусетський технологічний інститут (MIT) широко відомий своїми віртуальними симуляторами, що використовуються в навчанні. Зокрема, симулятор MIT Reactor Simulator (рис. 1) дозволяє здобувачам моделювати роботу ядерного реактора, змінювати його параметри та спостерігати за наслідками. Віртуальні симулятори також активно використовуються в інших провідних університетах США, таких як Стенфордський університет, Каліфорнійський технологічний інститут, Університет Джонса Гопкінса [9].



**Рис. 1. Модель термоядерного реактора ARC Массачусетського технологічного інституту**

У Канаді Університет Макгілла створив віртуальну лабораторію Virtulab, що містить симулятори для вивчення фізичних, хімічних і біологічних процесів. Британський Відкритий університет (Open University) розробив широкий спектр віртуальних симуляторів, наприклад, для моделювання роботи складних інженерних систем. Один з прикладів інтеграції програмного забезпечення, яке використовується для ефективного реалізації віртуальних симуляторів у навчальному процесі - платформа для віртуального моделювання та аналізу в області інженерії SimScale (рис. 2) [1].



**Рис. 2. Дослідження напружень у віртуальному симуляторі**

Німецькі технічні університети, такі як Технічний університет Дармштадта та Мюнхенський технічний університет, успішно використовують віртуальні симулятори в навчанні здобувачів інженерних спеціальностей. Зокрема, для вивчення автоматизованих виробничих систем, робототехніки тощо.

В Японії Токійський університет і Кіотський університет технологій одними з перших почали застосовувати віртуальні лабораторії та симулятори для підготовки майбутніх інженерів і фахівців з інформаційних технологій. Загалом STEM-освіта – це програма, спрямована на розвиток особистісних якостей, необхідних для підготовки особи, яка здатна конкурувати в майбутньому. Міжнародні експерти зазначають, що STEM-освіта є перспективною і тому багато країн розробляють офіційні освітні програми з науки й технології, готуючи фахівців у цих галузях [8].

Віртуальні симулятори є перспективним засобом інноваційного навчання STEM-дисциплін, що створює сприятливі умови для реалізації основних дидактичних принципів та формування практичних умінь і навичок здобувачів освіти. Досвід провідних світових університетів демонструє широке впровадження таких технологій в освітній процес.

Проте використання симуляторів в освіті має бути збалансованим і не замінювати повністю реальні лабораторні практикуми. Доцільним є їх комплексне застосування як доповнення до традиційних форм навчання, що дозволить підвищити ефективність підготовки фахівців технічного профілю. Застосування віртуальних симуляторів у навчанні STEM-дисциплін характеризується позитивним впливом на мотивацію, пізнавальну активність і якість засвоєння знань здобувачів. Інтерактивність, наочність і динамічність віртуальних симуляцій роблять навчальний процес більш захоплюючим і цікавим для здобувачів. Дослідження показують, що використання симуляторів підвищує мотивацію здобувачів до навчання. Занурення у віртуальне середовище, можливість активно взаємодіяти з об'єктами симуляції та отримувати зворотний зв'язок стимулює пізнавальний інтерес здобувачів. Крім того, вони надають можливість отримувати миттєві результати своїх дій, що також сприяє зростанню мотивації [4].

Використання віртуальних симуляторів позитивно впливає і на пізнавальну активність здобувачів. Інтерактивний характер симуляцій, можливість власноруч маніпулювати об'єктами й експериментувати підвищують рівень залучення здобувачів у навчальну діяльність. Здобувачі вищої освіти стають не просто пасивними спостерігачами, а активними учасниками процесу, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу. Дослідження ефективності застосування віртуальних симуляторів у STEM-освіті також підтверджують їхній позитивний вплив на якість засвоєння знань. Завдяки можливості багаторазового повторення дій, візуалізації складних явищ, а також наближенню навчальної діяльності до реальних професійних ситуацій, здобувачі вищої освіти демонструють глибше розуміння навчального матеріалу та кращі результати в опануванні практичних умінь і навичок [4, 5].

Крім того, віртуальні симулятори сприяють формуванню в здобувачів критичного мислення, аналітичних здібностей і вміння приймати рішення в нестандартних ситуаціях. Під час роботи здобувачі вищої освіти мають можливість експериментувати, аналізувати результати своїх дій і коригувати свої підходи, що стимулює розвиток цих важливих когнітивних навичок.

Застосування симуляторів у STEM-освіті позитивно впливає на мотивацію, пізнавальну активність і якість засвоєння знань здобувачів. Інтерактивність, наочність і можливість безпечного експериментування в умовах, наближених до реальних, сприяють кращому розумінню навчального матеріалу та формуванню ключових компетентностей майбутніх фахівців. Одним із ключових аспектів ефективності використання віртуальних симуляторів у STEM-освіті є їхній вплив на формування практичних умінь та навичок здобувачів. Вони надають здобувачам можливість безпечно відпрацьовувати практичні дії та набувати професійних компетентностей у середовищі, максимально наближеному до реальних умов.

Працюючи з віртуальними симуляторами, здобувачі вищої освіти мають змогу опанувати різноманітні практичні навички, характерні для конкретної STEM-дисципліни. Наприклад, здобувачі вищої освіти-інженери можуть тренуватися в проєктуванні та моделюванні складних технічних систем, здобувачі вищої освіти-фізики - у проведенні експериментів із різними фізичними явищами, а здобувачі вищої освіти-медики - у діагностиці та наданні невідкладної допомоги.

Симулятори дозволяють здобувачам неодноразово повторювати виконання завдань, відстежувати помилки та вносити корективи до своїх дій. Це сприяє формуванню стійких практичних навичок, які надалі легше застосовувати в реальних професійних ситуаціях. Крім того, віртуальне середовище дає можливість моделювати складні, нестандартні та навіть аварійні ситуації, що дозволяє здобувачам напрацьовувати алгоритми дій у таких випадках.

Важливою перевагою є можливість надання здобувачам вищої освіти негайного зворотного зв'язку щодо їхніх дій. Також вони можуть оцінювати правильність виконання завдань, вказувати на помилки та надавати рекомендації щодо їх виправлення. Це дозволяє здобувачам швидко аналізувати свої дії, усувати недоліки та вдосконалювати практичні навички.

Застосування симуляторів також сприяє розвитку в здобувачів критичного мислення, вміння приймати рішення та працювати в команді. Під час взаємодії з віртуальними об'єктами та виконання завдань вони мають можливість аналізувати ситуації, оцінювати наслідки своїх дій та коригувати свої підходи. Ці навички є вкрай важливими для майбутньої професійної діяльності. Використання віртуальних симуляторів у STEM-освіті створює ефективне середовище для формування практичних умінь та навичок, а також дозволяє безпечно та багаторазово відпрацьовувати професійні дії, отримувати зворотний зв'язок і розвивати критичне мислення, що позитивно впливає на підготовку майбутніх фахівців. Перспективи інтеграції віртуальних симуляторів в освітній процес STEM-дисциплін є надзвичайно широкими та багатообіцяючими. Застосування цих інноваційних технологій відкриває нові можливості для вдосконалення навчання та підготовки сучасних фахівців.

Одним із ключових напрямів подальшого розвитку є створення комплексних віртуальних навчальних середовищ, які інтегруватимуть різноманітні симулятори, лабораторії та тренажери. Такі середовища дозволять здобувачам занурюватися у всебічне віртуальне моделювання професійної діяльності, відпрацьовуючи широкий спектр практичних навичок. Це сприятиме більш ефективній підготовці майбутніх фахівців до реальних виробничих ситуацій. Перспективним напрямом є також поглиблення інтеграції віртуальних симуляторів із сучасними технологіями, такими як доповнена реальність, хмарні обчислення та штучний інтелект. Поєднання віртуальних симуляцій з елементами доповненої реальності дозволить наблизити навчальний процес до реальних умов професійної діяльності. Застосування хмарних технологій, своєю чергою, забезпечить більшу доступність віртуальних симуляторів для здобувачів, незалежно від місця їхнього навчання. Впровадження елементів штучного інтелекту в симулятори підвищить рівень інтерактивності, адаптивності та персоналізації навчання. Важливою перспективою впровадження є їхня інтеграція в систему оцінювання знань і навичок здобувачів. Симулятори можуть стати ефективним інструментом для об'єктивного оцінювання практичної підготовки, надаючи детальну аналітику дій здобувачів та відстежуючи їхній прогрес. Такий підхід дозволить значно підвищити достовірність та обґрунтованість оцінювання, а також сприятиме ефективнішому зворотному зв'язку зі здобувачами. Перспективним напрямом є також розроблення адаптивних віртуальних симуляторів, здатних налаштовувати складність і параметри середовища відповідно до індивідуальних особливостей та рівня підготовки здобувачів. Це дозволить забезпечити персоналізацію навчального процесу, підвищити його ефективність та мотивацію здобувачів. Крім того, їхня інтеграція в освітній процес сприятиме розвитку дистанційного та змішаного навчання. Віртуальні лабораторії та тренажери надають можливість організувати практичну підготовку здобувачів поза аудиторними заняттями, розширюючи часові та просторові межі освітнього процесу. Подальше вдосконалення та поглиблення інтеграції цих технологій із сучасними цифровими рішеннями здатне суттєво підвищити ефективність навчання, якість практичної підготовки майбутніх фахівців і загалом модернізувати систему STEM-освіти [3].

Ефективне впровадження віртуальних симуляторів у STEM-освіту вимагає ретельного відбору відповідних програмних продуктів. Для цього необхідно розробити чіткі критерії, за якими здійснюватиметься оцінювання та добір симуляторів:

1. Відповідність змісту та навчальним цілям конкретної STEM-дисципліни. Віртуальні симулятори мають забезпечувати формування необхідних професійних компетентностей здобувачів. Важливо, щоб вони моделювали реальні процеси, явища та ситуації, характерні для певної галузі STEM.

2. Ергономічність та зручність використання. Інтерфейс і функціональність повинні бути максимально інтуїтивно зрозумілими та простими для здобувачів. Важливо, щоб робота з симулятором не викликала в них додаткових труднощів, а навпаки, сприяла ефективному засвоєнню навчального матеріалу.

3. Рівень реалістичності та деталізації віртуальних моделей. Симулятори мають надавати здобувачам можливість взаємодіяти з об'єктами, максимально наближеними до їхніх реальних прототипів. Це сприятиме формуванню адекватних уявлень про досліджувані процеси та явища.

4. Можливість налаштування та адаптації до потреб навчального процесу. Викладачі мають бути здатні коригувати параметри, складність та сценарії симуляцій відповідно до навчальних цілей та рівня підготовки здобувачів.

Крім того, при відборі варто звертати увагу на наявність якісних навчально-методичних матеріалів. Це забезпечуватиме можливість ефективного методичного супроводу застосування симуляторів в освітньому процесі.

5. Доступність та технічна підтримка. Вони мають бути доступними для використання здобувачами та викладачами, а їхня робота - надійно забезпечуватися технічною підтримкою.

Таким чином, ефективний відбір віртуальних симуляторів для навчання STEM-дисциплін вимагає комплексного підходу, що враховує відповідність змісту та навчальним цілям, ергономічність, реалістичність, можливість налаштування, наявність методичного супроводу та технічну доступність. Дотримання цих критеріїв є запорукою успішної інтеграції віртуальних симуляторів в освітній процес.

Важливим методичним аспектом є розроблення відповідного навчально-методичного забезпечення. Для ефективної роботи з віртуальними симуляторами слід підготувати детальні інструкції, методичні рекомендації, завдання та сценарії проведення занять. Це дозволить викладачам і здобувачам чітко усвідомлювати навчальні цілі та порядок виконання дій у віртуальному середовищі. Насамперед, при розробленні методики використання необхідно чітко визначити навчальні цілі та очікувані результати. Симулятори мають бути органічно інтегровані в навчальні плани та програми дисциплін, підпорядковуватися загальним освітнім завданням. Методика застосування має передбачати поєднання самостійної роботи здобувачів із віртуальними лабораторіями і моделями та безпосереднє керівництвом викладача. Доцільним є виділення аудиторних занять для ознайомлення здобувачів із симуляторами, інструктажу щодо їх використання, а також спільного аналізу результатів. Самостійна робота здобувачів із симуляторами надаватиме їм можливість закріплення навичок та поглиблення розуміння навчального матеріалу. Також важливо забезпечення зворотного зв'язку та моніторингу результатів роботи здобувачів. Віртуальні симулятори мають надавати здобувачам миттєву оцінку їхніх дій, а викладачі - проводити регулярне оцінювання та аналіз прогресу в опануванні практичних умінь і навичок. Методика застосування має передбачати поступове ускладнення завдань і наближення симуляторів до реальних професійних ситуацій. Це сприятиме формуванню комплексних компетентностей, необхідних для майбутньої фахової діяльності. Окрім того, методика використання повинна враховувати можливість їх інтеграції з іншими технологіями, такими як доповнена реальність, хмарні обчислення, інтерактивні дошки тощо. Це дозволить підвищити рівень наочності, інтерактивності та доступності навчання. Ефективне впровадження віртуальних симуляторів в освітній процес STEM-дисциплін вимагає розроблення науково-обґрунтованої методики, яка передбачає чітке визначення навчальних цілей, створення необхідного навчально-методичного забезпечення, поєднання аудиторної та самостійної роботи здобувачів, забезпечення зворотного зв'язку та поступове ускладнення завдань. Комплексний методичний підхід дозволить максимально ефективно інтегрувати віртуальні симулятори в освітній процес. Успішне впровадження у STEM-освіту вимагає створення відповідних організаційно-технічних умов. Ключовими аспектами в цьому напрямі є забезпечення необхідної матеріально-технічної бази, підготовка викладацького складу та організація ефективної взаємодії всіх учасників освітнього процесу. Першочерговою умовою ефективного впровадження є наявність відповідної матеріально-технічної бази. Навчальні заклади мають бути оснащені сучасними комп'ютерами, периферійними пристроями, швидкісним Інтернетом та програмним забезпеченням, необхідним для функціонування віртуальних симуляторів. Важливо також забезпечити достатню кількість комп'ютерної техніки, щоб кожен студент мав можливість індивідуально працювати з симуляторами.

Крім того, необхідно створити спеціалізовані навчальні лабораторії, оснащені відповідним обладнанням для проведення віртуальних експериментів і тренувань. Такі лабораторії мають бути оснащені не лише комп'ютерами, а й додатковими пристроями, наприклад, тренажерами, шоломами віртуальної реальності тощо, залежно від специфіки навчальної дисципліни. Важливою умовою ефективного впровадження віртуальних симуляторів є також підготовка викладацького складу. Необхідно забезпечити відповідне навчання та підвищення кваліфікації викладачів щодо роботи з віртуальними симуляторами, їх методичного супроводу та інтеграції в освітній процес. Викладачі мають бути компетентними у використанні цих технологій та розумінні їхніх дидактичних можливостей. Організаційно-технічні умови впровадження також передбачають забезпечення ефективної взаємодії всіх учасників освітнього процесу. Необхідно налагодити тісну співпрацю між адміністрацією, викладачами та здобувачами щодо питань застосування симуляторів, їх методичного супроводу та технічного обслуговування.

Важливим аспектом є також налагодження партнерства з виробниками та постачальниками віртуальних симуляторів. Це дозволить забезпечити своєчасне оновлення та технічну підтримку програмного забезпечення, а також отримувати методичну допомогу щодо ефективного його впровадження. Також ефективне впровадження вимагає нормативно-правового забезпечення.

Необхідно розробити відповідні локальні акти, які регламентуватимуть порядок використання симуляторів, визначатимуть права й обов'язки учасників освітнього процесу, а також встановлюватимуть вимоги до матеріально-технічного забезпечення. Організаційним аспектом є планування та розподіл часу, відведеного на роботу з віртуальними симуляторами. Необхідно оптимально поєднувати аудиторну та самостійну роботу здобувачів із симуляторами, забезпечуючи ефективне використання навчального часу. Не менш важливим є питання фінансового забезпечення. Заклади освіти мають передбачати в кошторисах відповідні статті витрат на закупівлю ліцензійного програмного забезпечення, оновлення комп'ютерного обладнання, організацію навчальних лабораторій тощо. Ще одним важливим аспектом є забезпечення належного інформаційно-консультативного супроводу використання віртуальних симуляторів. Здобувачі вищої освіти та викладачі мають мати доступ до довідкових матеріалів, інструкцій, навчальних посібників, а також можливість отримувати консультації технічного та методичного характеру.

Загалом, ефективне впровадження віртуальних симуляторів у навчальний процес STEM-дисциплін вимагає комплексного підходу, який передбачає створення відповідної матеріально-технічної бази, підготовку викладацького складу, налагодження ефективної взаємодії всіх учасників, розроблення нормативно-правового забезпечення, планування використання симуляторів, фінансування та інформаційно-консультативний супровід. Лише за умов дотримання цих організаційно-технічних аспектів можливе успішне та ефективне впровадження віртуальних симуляторів у STEM-освіту.

**Висновки.** Використання віртуальних симуляторів у STEM-освіті відкриває широкі можливості для підвищення ефективності навчального процесу. Ці інноваційні технології надають здобувачам унікальні можливості для безпечного проведення експериментів, відпрацювання практичних навичок у середовищі, максимально наближеному до реальних професійних умов.

Аналіз ефективності застосування віртуальних симуляторів у STEM-освіті засвідчив їхній позитивний вплив на мотивацію, пізнавальну активність та якість засвоєння знань здобувачів. Віртуальні симулятори дозволяють:

- багаторазово повторювати виконання завдань, отримувати миттєвий зворотний зв'язок і розвивати критичне мислення, що сприяє глибшому розумінню навчального матеріалу.

- сприяти ефективному формуванню практичних умінь і навичок у здобувачів STEM-спеціальностей. Віртуальне середовище дає можливість безпечно відпрацьовувати професійні дії, моделювати складні ситуації та отримувати детальний аналіз своїх дій, що позитивно впливає на підготовку майбутніх фахівців.

Перспективи інтеграції віртуальних симуляторів в освітній процес STEM-дисциплін є надзвичайно широкими. Подальший розвиток цих технологій у напрямі створення комплексних навчальних середовищ, поглиблення інтеграції з сучасними цифровими рішеннями, використання в системі оцінювання та персоналізації навчання значно підвищить ефективність підготовки майбутніх фахівців. Водночас успішне впровадження симуляторів у STEM-освіту вимагає дотримання науково-методичних рекомендацій: чіткі критерії відбору симуляторів; методичні підходи до їх використання; створення необхідних організаційно-технічних умов, зокрема матеріально-технічного забезпечення; підготовки викладачів і налагодження ефективної взаємодії учасників освітнього процесу.

Комплексне впровадження віртуальних симуляторів у STEM-освіту з дотриманням науково-методичних рекомендацій здатне суттєво підвищити якість практичної підготовки майбутніх фахівців та модернізувати систему освіти в галузі природничих і технічних наук.

#### Список використаних джерел:

1. Дуганець В. І., Федірко П. П., Оленюк О. А. Особливості інтеграції віртуальних симуляторів у навчальний процес. Професійно-прикладні дидактики. 2023. № 1. С. 23–28. URL: <https://doi.org/10.37406/2521-6449/2023-1-4>.

2. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review / V. Potkonjak та ін. Computers & Education. 2016. Т. 95. С. 309–327. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>.

3. Аналіз особливостей дистанційного навчання та можливість його повноцінної інтеграції у навчальний процес / І. К. Чурпій та ін. Art of Medicine. 2021. С. 135–139. URL: <https://doi.org/10.21802/artm.2020.4.16.135>.



4. Priedols V., Jansone A. Virtual laboratories in science and engineering. Society. Technology. Solutions. Proceedings of the International Scientific Conference. 2019. Т. 1. С. 15. URL: <https://doi.org/10.35363/via.sts.2019.11>.
5. Atchia S. M. C., Rumjaun A. The Real and Virtual Science Laboratories. Contemporary Issues in Science and Technology Education. Cham, 2023. С. 113–127. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24259-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24259-5_9).
6. Білик Ю. Теоретичні аспекти реалізації STEM-освіти в умовах дистанційного навчання. Збірник матеріалів XI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Наукова молодь-2023» (Київ, 21 листопада 2023 р.)/упоряд.: А. Яцишин. К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2023. 338 с.
7. Барна О., Кузьмінська О. Моделі та ресурсне забезпечення навчання STEM-дисциплін в умовах пандемії Covid-19. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка 1.1 (2021): С. 224-232.
8. Найдюк І.С., Оксана П.К., Тіберій Т.Р. Роль інтерактивних методів навчання в процесі розвитку міжнародної STEAM-діяльності. Академічні візії 23 (2023). URL: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/582>.
9. Greenwald M. Alcator C-Mod and the high magnetic field approach to fusion. Magnetic Fusion Energy. 2016. С. 295–322. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100315-2.00010-6>