

УДК 37.091.313-044.247:[004:5:62]:53

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2024-2-3>

Ігор ЖАБРОВЕЦЬ

аспірант навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-5881-9231>

Олександр МАРТИНЮК

доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4473-7883>

SCOPUS-AUTHOR ID: 57224619200

Бібліографічний опис статті: Жабровець, І., Мартинюк, О. (2024). Основні тенденції впровадження концепції STEM в освітньому процесі з фізики. *Фізика та освітні технології*, 2, 19–26, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2024-2-3>

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ STEM В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ З ФІЗИКИ

Концепція, що об'єднує науку, технології, інженерію та математику, набуває все більшого значення у контексті підготовки учнів і студентів до роботи в сучасних високотехнологічних галузях економіки. У статті розглядаються основні тенденції впровадження концепції STEM (наука, технології, інженерія, математика) в освітній процес у 2024 році, зокрема у контексті сучасних викликів та можливостей. Описано використання штучного інтелекту для індивідуалізації навчання, впровадження іммерсивних технологій, таких як віртуальна та доповнена реальність, для глибшого розуміння матеріалу. Аналізуються способи подолання цифрового розриву та інтеграції принципів стійкості в освітні програми. Розглянуто переваги змішаного навчання та багатомодального підходу до викладання. Автори також висвітлюють основні виклики, з якими стикаються педагоги під час впровадження цих інновацій, та пропонують рекомендації для подальшого розвитку STEM-освіти. Результати дослідження підкреслюють важливість інтеграції сучасних технологій у STEM-освіту. Використання штучного інтелекту та віртуальної реальності показало суттєві переваги в освітньому процесі, зокрема можливість персоналізації навчання та покращення розуміння складних тем. ШІ виявився корисним для адаптації навчальних матеріалів під індивідуальні потреби учнів, що особливо важливо у класах з різнорівневими групами. VR та AR зробили навчання більш захоплюючим, допомагаючи учням краще засвоювати інформацію через інтерактивні та візуальні методи. Проте дослідження також виявило існуючі виклики, які стоять на шляху до повноцінної інтеграції цих технологій. Серед них – висока вартість обладнання, недостатня технічна підготовка учителів, а також значний цифровий розрив, що ускладнює доступ до технологій для учнів у малих містах та сільській місцевості. Ці фактори створюють нерівні умови для учнів і обмежують потенціал використання новітніх технологій.

Ключові слова: STEM-освіта, штучний інтелект, віртуальна реальність, доповнена реальність, цифровий розрив, змішане навчання, стійкий розвиток, багатомодальне навчання, освітні інновації, критичне мислення.

Ihor ZHABROVETS

Postgraduate Student, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-5881-9231>

Oleksandr MARTYNIUK

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4473-7883>

SCOPUS-AUTHOR ID: 57224619200

To cite this article: Zhabrovets, I., Martyniuk, O. (2024). Osnovni tendentsii vprovadzhennia kontseptsii STEM v osvitnomu protsesi z fizyky [Main trends in the implementation of the STEM concept in the educational process in physics]. *Physics and Educational Technology*, 2, 19–26, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2024-2-3>

MAIN TRENDS IN THE IMPLEMENTATION OF THE STEM CONCEPT IN THE EDUCATIONAL PROCESS IN PHYSICS

The concept that unites science, technology, engineering and mathematics is gaining more and more importance in the context of preparing pupils and students to work in modern high-tech sectors of the economy. The article examines the main trends in the implementation of the STEM (science, technology, engineering, mathematics) concept in the educational process in 2024, in particular in the context of current challenges and opportunities. The article describes the use of artificial intelligence to individualise learning, the introduction of immersive technologies, such as virtual and augmented reality, for a deeper understanding of the material. The article analyses ways to bridge the digital divide and integrate sustainability principles into educational programmes. The advantages of blended learning and a multimodal approach to teaching are discussed. The authors also highlight the main challenges faced by educators in implementing these innovations and offer recommendations for the further development of STEM education. The results of the study emphasize the importance of integrating modern technologies into STEM education. The use of artificial intelligence and virtual reality has shown significant advantages in the educational process, in particular, the possibility of personalizing learning and improving the understanding of complex topics. AI has proven to be useful in adapting learning materials to the individual needs of students, which is especially important in classes with different levels of groups. VR and AR have made learning more immersive by helping students absorb information better through interactive and visual methods. However, the study also revealed existing challenges that stand in the way of the full integration of these technologies. Among them are the high cost of equipment, insufficient technical training of teachers, and a significant digital divide, which makes it difficult for students in small towns and rural areas to access technology. These factors create unequal conditions for students and limit the potential of using the latest technologies.

Key words: STEM education, artificial intelligence, virtual reality, augmented reality, digital divide, blended learning, sustainable development, multimodal learning, educational innovations, critical thinking.

Вступ. Постановка проблеми. У сучасному світі, де технологічний прогрес відбувається надзвичайно швидкими темпами, освітні системи стикаються з викликом підготовки майбутніх фахівців, здатних успішно адаптуватися до вимог ринку праці. Традиційні методи навчання часто не забезпечують необхідного рівня підготовки студентів до роботи у швидкозмінних умовах сучасного суспільства. Це створює необхідність для запровадження нових освітніх концепцій, таких як STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), які дозволяють розвивати критичне мислення, інноваційні навички та здатність вирішувати комплексні проблеми.

Актуальність дослідження. У сучасному світі, що постійно змінюється під впливом глобалізації та стрімкого розвитку технологій, роль освіти стає ключовою у підготовці майбутніх поколінь до викликів майбутнього. Однією з найважливіших тенденцій у цій сфері є впровадження концепції STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) в освітній процес. Ця концепція, що об'єднує науку, технології, інженерію та математику, набуває все більшого значення у контексті підготовки учнів і студентів до роботи в сучасних високотехнологічних галузях економіки. Глобалізація значно змінила економічний ландшафт світу, що призвело до інтеграції національних економік і розширення

міжнародної співпраці. Це, в свою чергу, вплинуло на вимоги до сучасної робочої сили, яка має бути не лише добре підготовленою в традиційних дисциплінах, але й володіти навичками, що відповідають викликам глобальної економіки. Зокрема, йдеться про здатність до швидкого адаптування, критичне мислення, інноваційний підхід та вміння працювати з новітніми технологіями (Kelley, 2016). В умовах стрімкого розвитку технологій, таких як штучний інтелект, робототехніка, біотехнології, а також цифровізація всіх сфер життя, виникає необхідність у фахівцях, які можуть інтегрувати ці знання та навички в різні галузі. STEM-освіта стає відповіддю на цей запит, оскільки вона спрямована на розвиток ключових компетентностей, необхідних для успішної кар'єри в умовах четвертої промислової революції. Однією з головних причин актуальності впровадження STEM-освіти є її здатність підготувати учнів та студентів до роботи у високотехнологічних галузях, які стають основою сучасної економіки. Традиційні методи навчання часто не відповідають вимогам сучасного ринку праці, де потрібні знання та навички у галузі науки, технологій, інженерії та математики (Sanders, 2009). STEM-освіта дозволяє учням і студентам не лише здобувати глибокі знання в цих сферах, але й розвивати практичні навички, які можуть бути безпосередньо застосовані у професійній діяльності. Наприклад, студенти, які навчалися за програмами STEM, можуть працювати у таких галузях, як інформаційні технології, машинобудування, біотехнології, космічна індустрія тощо. Вони здатні швидко адаптуватися до нових викликів, знаходити нестандартні рішення, працювати в міждисциплінарних командах і використовувати інноваційні підходи у своїй роботі (Honey, 2014). Сучасний ринок праці вимагає від випускників навчальних закладів не лише знань, але й практичних навичок, які можна застосувати в реальних умовах. STEM-освіта, яка орієнтована на практичне застосування знань, стає ключовим елементом у підготовці кадрів, здатних відповідати цим вимогам. Вона дозволяє інтегрувати теоретичні знання з практичними навичками, що сприяє розвитку в учнів і студентів здатності вирішувати складні проблеми, аналізувати інформацію, працювати в умовах невизначеності та приймати зважені рішення (Поліхун, 2019).

Один із аспектів, який підсилює актуальність дослідження, полягає у необхідності адаптації традиційних освітніх методик до нових умов. Зокрема, впровадження STEM-освіти вимагає змін у підходах до навчання, оновлення навчальних програм, залучення сучасних технологій та методик викладання. Це, у свою чергу, потребує від учителів закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) нових знань і навичок, а також готовності до постійного професійного розвитку (Барна, 2017). Сучасні технологічні та соціальні зміни ставлять перед системою освіти завдання не лише передати знання, але й сформувати у молоді компетентності, які допоможуть їм успішно реалізуватися в майбутньому. STEM-освіта орієнтована на розвиток таких компетентностей, як критичне мислення, творчість, навички вирішення проблем, співпраця та комунікація. Вона забезпечує учнів та студентів не лише знаннями у конкретних предметних областях, але й навчає їх використовувати ці знання для вирішення реальних завдань.

Метою статті є аналіз основних тенденцій впровадження концепції STEM у освітній процес, зокрема шляхом використання новітніх технологій, таких як штучний інтелект, віртуальна та доповнена реальність. Дослідження спрямоване на виявлення ключових викликів і можливостей, з якими стикаються педагоги при впровадженні цих інновацій, а також на розробку рекомендацій для підвищення ефективності STEM-освіти.

Огляд літератури. Останніми роками з'явилася значна кількість досліджень, присвячених впровадженню STEM-освіти. Барна та Балик (2017) у своїй роботі досліджували етапи та моделі впровадження STEM-освіти у навчальних закладах, акцентуючи увагу на необхідності інтеграції міждисциплінарних підходів. Особливості впровадження STEM у початковій школі, зокрема вплив на формування основних компетентностей учнів проаналізовано в (Олексюк, 2017). У роботі (Свид, 2020) досліджено досвід створення регіональних центрів STEM-освіти, що сприяють розвитку технічних навичок молоді. У цих роботах підкреслюється важливість технологічної інтеграції та інноваційних методів навчання для підвищення якості освіти.

Гіпотези

1. Використання штучного інтелекту для індивідуалізації навчання у STEM-дисциплінах

значно підвищує академічні досягнення учнів, сприяючи розвитку критичного мислення та аналітичних навичок.

2. Інтеграція віртуальної та доповненої реальності в освітній процес сприяє глибшому розумінню складних наукових концепцій і підвищує мотивацію учнів до вивчення STEM-дисциплін.

Методологія. Дослідження зосереджено на аналізі основних тенденцій впровадження концепції STEM у освітній процес у 2024 році. Для досягнення цієї мети були використані два основні методи: онлайн-опитування та контент-аналіз. Онлайн-опитування було проведено серед невеликої групи учителів закладів загальної середньої освіти STEM-дисциплін для збору їхнього досвіду та ідентифікації основних викликів при впровадженні новітніх технологій. Контент-аналіз був спрямований на вивчення наукових публікацій та звітів, які висвітлюють сучасні тенденції у STEM-освіті.

Вибірка. Вибірка для онлайн-опитування складалася з 15 учителів закладів загальної середньої освіти, які працюють у загальноосвітніх школах та коледжах. Вони були обрані на основі добровільної участі, а основним критерієм було викладання дисциплін, пов'язаних зі STEM (математика, фізика, інформатика, технології). Такий підхід забезпечив достатньо репрезентативну вибірку для оцінки основних тенденцій у рамках даного дослідження.

Інструменти для збору даних. Для онлайн-опитування використовувалась анкета, яка включала 10 запитань закритого типу, що стосувалися досвіду учителів у використанні інноваційних технологій у навчанні, таких як штучний інтелект і віртуальна реальність. Для контент-аналізу були використані наукові публікації та статті з відкритих джерел, таких як Google Scholar, де проаналізовано близько 10 публікацій, що стосуються впровадження STEM у 2024 році.

Процедура проведення дослідження. Дослідження проводилося у два етапи. На першому етапі було здійснено онлайн-опитування учителів STEM-дисциплін, яке тривало протягом одного тижня. Опитування проводилося через платформу Google Forms, що забезпечувало зручний доступ для респондентів. На другому етапі був проведений контент-аналіз наукових публікацій, де виділялися основні тенденції у сфері STEM-

освіти, зокрема адаптація штучного інтелекту та використання іммерсивних технологій. Отримані дані були оброблені та проаналізовані для формулювання висновків і рекомендацій.

Результати. Дослідження, проведене для вивчення основних тенденцій впровадження концепції STEM у 2024 році, виявило кілька ключових аспектів, що стосуються використання новітніх технологій та викликів, з якими стикаються учителі закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) в освітньому процесі.

Використання штучного інтелекту у навчанні. Одним із важливих аспектів дослідження було вивчення використання штучного інтелекту (ШІ) для індивідуалізації навчання (Bybee, 2010). Згідно з отриманими даними, приблизно 60% опитаних учителів закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) зазначили, що вже використовують ШІ у своїй роботі для адаптації навчальних матеріалів під індивідуальні потреби учнів. Це дозволяє забезпечити більш персоналізований підхід, що особливо корисно для учнів з різним рівнем знань та швидкістю засвоєння матеріалу. Водночас близько 40% респондентів вказали на труднощі з інтеграцією ШІ через недостатню технічну підготовку та відсутність необхідної інфраструктури у школах (рис. 1, табл. 1).

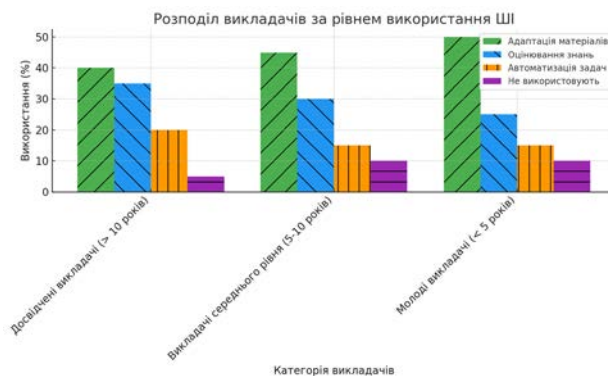


Рис. 1. Розподіл учителів за рівнем використання ШІ

Використання віртуальної та доповненої реальності. Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) поступово стають інструментами, які учителі закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) все частіше застосовують у своїй роботі (Becker, 2011). Результати дослідження показали, що близько 45% вчителів використовують VR/AR для демонстрації

Таблиця 1

Розподіл учителів закладів загальної середньої освіти за рівнем використання ІІІ у навчальному процесі

Категорія учителів	Використання ІІІ для адаптації матеріалів (%)	Використання ІІІ для оцінювання знань (%)	Використання ІІІ для автоматизації адміністративних задач (%)	Не використовують ІІІ (%)
Досвідчені учителі (> 10 років)	40%	35%	20%	5%
Учителі середнього рівня (5-10 років)	45%	30%	15%	10%
Молоді учителі (< 5 років)	50%	25%	15%	10%

складних наукових концепцій у своїх уроках. Наприклад, такі технології використовуються для віртуальних екскурсій у космосі або для вивчення будови клітини. Однак, 55% опитаних зазначили, що через високу вартість обладнання та складність його інтеграції в навчальний процес, ці технології ще не набули повсюдного поширення (рис. 2, табл. 2).



Рис. 2. Відсоткове співвідношення учителів, які використовують VR та AR у своїй роботі

Подолання цифрового розриву. Цифровий розрив залишається суттєвим викликом у процесі впровадження STEM-

освіти. Дослідження показало, що приблизно 35% учнів у малих містах і селах не мають постійного доступу до Інтернету або необхідних цифрових пристроїв для навчання. Це ускладнює процес дистанційного навчання і знижує можливість для впровадження STEM-технологій. Учителі закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) в цих регіонах намагаються компенсувати цей розрив шляхом використання друкованих матеріалів і проведення додаткових занять, але це не завжди вдається ефективно (рис. 3, табл. 3).

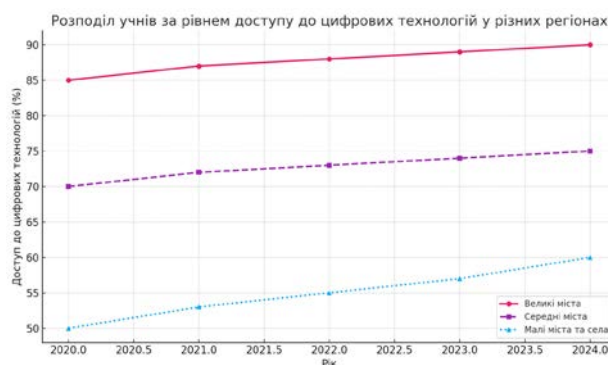


Рис. 3. Лінійний графік, що показує рівень доступу учнів до цифрових технологій у різних регіонах протягом останніх 5 років

Таблиця 2

Відсоткове співвідношення учителів, які використовують VR та AR у своїй роботі

Категорія учителів	Використання VR для візуалізації (%)	Використання AR для інтерактивного навчання (%)	Використання VR для експериментальних занять (%)	Не використовують VR/AR (%)
Учителі природничих наук	35%	40%	15%	10%
Учителі технічних дисциплін	40%	35%	20%	5%
Учителі гуманітарних дисциплін	25%	30%	20%	25%

Розподіл учнів за рівнем доступу до цифрових технологій у різних регіонах

Регіон	Учні з постійним доступом до Інтернету (%)	Учні з доступом до сучасних цифрових пристроїв (%)	Учні з обмеженим доступом (%)	Учні без доступу до технологій (%)
Великі міста	90%	85%	10%	5%
Середні міста	75%	70%	20%	5%
Малі міста та села	55%	50%	30%	15%

Акцент на стійкість у навчальних програмах. Стійкість стає все більш важливою темою у сучасній STEM-освіті. Приблизно 70% опитаних учителів зазначили, що інтегрують теми, пов'язані зі стійким розвитком, у свої уроки, наприклад, під час вивчення впливу людської діяльності на довкілля або розробки проєктів, спрямованих на зменшення вуглецевого сліду. Однак, існують значні розбіжності у рівні підготовки учителів до викладання таких тем, що вказує на необхідність додаткових тренінгів та навчальних матеріалів.

Інтеграція змішаного та багатомодального навчання. Змішане та багатомодальне навчання продовжують набирати популярності серед учителів. Близько 55% опитаних зазначили, що використовують ці підходи для покращення залучення учнів у процес навчання. Це включає поєднання традиційних методів викладання з онлайн-ресурсами, симуляціями та інтерактивними завданнями. Багатомодальний підхід також активно використовується для забезпечення різноманітності методів навчання, що відповідає потребам учнів з різними стилями навчання.

Обговорення. Інтерпретація отриманих результатів. Результати дослідження підтвердили важливість використання новітніх технологій у STEM-освіті, зокрема штучного інтелекту (ШІ) та віртуальної реальності (VR). Більшість учителів, які активно використовують ШІ, відзначають підвищення ефективності навчання завдяки можливості адаптації матеріалів під індивідуальні потреби учнів. Це свідчить про те, що технології можуть значно покращити якість освіти, особливо в умовах, коли учителі стикаються з необхідністю працювати з учнями, які мають різний рівень підготовки. Однак, значна частина учителів (близько 40%) вказують на труднощі з інтеграцією ШІ,

що свідчить про необхідність додаткової підготовки та підтримки.

Використання VR та AR також показало позитивний вплив на навчання, зокрема на розуміння складних концепцій. Учителі природничих та технічних дисциплін вказують на підвищення зацікавленості учнів та покращення їхнього розуміння предметів завдяки використанню цих технологій. Проте, існують обмеження, пов'язані з високою вартістю обладнання та складністю його інтеграції, що стримує широке впровадження VR/AR у навчальний процес.

Подолання цифрового розриву залишається актуальною проблемою, особливо для учнів у малих містах і селах. Відсутність доступу до Інтернету та сучасних цифрових пристроїв створює нерівні умови для навчання, що впливає на якість отриманої освіти. Учителі зазначають, що цей розрив стає серйозною перешкодою для впровадження STEM-освіти, особливо у форматі дистанційного навчання.

Порівняння з попередніми дослідженнями. Порівняння отриманих результатів із попередніми дослідженнями демонструє, що тенденція до впровадження новітніх технологій у STEM-освіті зростає. Дослідження, проведене Барною та Баликом (2017), акцентувало увагу на необхідності інтеграції технологій у навчальний процес, але тоді впровадження ШІ та VR було лише на початкових етапах. У нашому дослідженні спостерігається значне зростання використання цих технологій, що свідчить про прогрес у цьому напрямку (Барна, 2017). Дослідження Свіда, Чумака та Бойка (2020) також підкреслювало значення технологій у розвитку технічних навичок учнів, однак тоді питання подолання цифрового розриву було менш актуальним. Наші результати показують, що сьогодні ця проблема набуває все більшого

значення, оскільки дистанційне навчання стало нормою, і без доступу до технологій учні втрачають можливості для якісної освіти (Олексюк, 2017). Значущість отриманих результатів полягає в тому, що вони підкреслюють важливість інтеграції новітніх технологій у STEM-освіту для підвищення її якості. Використання ІІІ та VR/AR сприяє більш ефективному навчальному процесу, підвищує зацікавленість учнів та покращує їхні академічні результати. Однак, для досягнення максимального ефекту необхідно подолати ряд викликів, серед яких найважливішими є технічна підготовка учителів, доступність обладнання та подолання цифрового розриву.

Отримані результати також вказують на необхідність продовження досліджень у цій сфері, зокрема щодо впливу різних технологій на навчання у різних контекстах. Крім того, вони підкреслюють важливість державної підтримки у забезпеченні рівного доступу до технологій для всіх учнів, незалежно від їхнього місця проживання чи соціально-економічного статусу.

Висновки. Це дослідження підкреслило важливість інтеграції сучасних технологій у STEM-освіту. Використання штучного інтелекту (ІІІ) та віртуальної реальності (VR) показало суттєві переваги в освітньому процесі, зокрема можливість персоналізації навчання та покращення розуміння складних тем. ІІІ виявився корисним для адаптації навчальних матеріалів під індивідуальні потреби учнів, що особливо важливо у класах з різнорівневими групами. VR та AR (доповнена реальність) зробили навчання більш захоплюючим, допомагаючи учням краще засвоювати інформацію через інтерактивні та візуальні методи.

Проте дослідження також виявило існуючі виклики, які стоять на шляху до повноцінної інтеграції цих технологій. Серед них – висока вартість обладнання, недостатня технічна підготовка учителів, а також значний цифровий розрив, що ускладнює доступ до технологій для учнів у малих містах та сільській місцевості. Ці фактори створюють нерівні умови для учнів і обмежують потенціал використання новітніх технологій.

Висновки щодо гіпотез

1. Використання штучного інтелекту для індивідуалізації навчання у STEM-дисциплінах

значно підвищує академічні досягнення учнів, сприяючи розвитку критичного мислення та аналітичних навичок.

Висновок. Ця гіпотеза частково підтверджена. ІІІ дійсно дозволяє адаптувати навчальні матеріали під індивідуальні потреби учнів, що сприяє підвищенню ефективності навчання. Однак, ефективність ІІІ значною мірою залежить від технічної підготовки учителів та наявності відповідної інфраструктури. Без цих складових використання ІІІ може бути обмеженим, що впливає на загальний результат.

2. Інтеграція віртуальної та доповненої реальності в освітній процес сприяє глибшому розумінню складних наукових концепцій і підвищує мотивацію учнів до вивчення STEM-дисциплін.

Висновок. Ця гіпотеза підтверджена. Учителі закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО), які активно використовують VR та AR, відзначають, що учні стають більш залученими та мотивованими до вивчення предметів. Інтерактивність і візуалізація, яку пропонують ці технології, робить навчання більш захоплюючим і ефективним. Однак, варто враховувати, що широке впровадження VR та AR все ще стримується через високі витрати на обладнання та технічні складнощі.

Рекомендації для подальших досліджень. Дослідження має бути продовжене з метою вивчення довгострокових ефектів використання ІІІ та VR/AR у навчальному процесі. Важливо також зосередитися на розробці стратегій для подолання цифрового розриву та забезпечення рівного доступу до технологій для всіх учнів. Вивчення ефективності різних підходів до підвищення кваліфікації учителів також залишається пріоритетом, оскільки без належної підготовки інтеграція новітніх технологій може бути обмеженою.

Практичні рекомендації для впровадження STEM у навчальні процеси. Для того щоб технології ІІІ та VR/AR принесли максимальну користь у STEM-освіті, необхідно:

1. Освітні установи мають працювати над зменшенням цифрового розриву, надаючи учням у малих містах і селах доступ до Інтернету та сучасного обладнання.

2. Регулярні тренінги та семінари допоможуть учителям закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) освоїти новітні технології та інтегрувати їх у навчальний процес.

3. Використання ІІІ для індивідуалізації навчання та VR/AR для візуалізації складних концепцій має стати частиною повсякденної практики викладання.

4. Програми, які допомагають учням, що не мають доступу до цифрових технологій, будуть сприяти рівному доступу до якісної освіти.

Ці заходи дозволять створити більш рівноправні умови для навчання, підвищити ефективність освітнього процесу та підготувати учнів до майбутніх викликів у технологічному світі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Kelley T. R., Knowles J. G. A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*. 2016. 3(1). 11–19. doi: 10.1186/s40594-016-0046-z
2. Sanders M. STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 2009. 68(4). 20–26.
3. Honey M., Pearson G., Schweingruber H. (Eds.). *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington, DC: The National Academies Press. 2014.
4. Поліхун Н. І., Постова К. Г., Сліпукхіна І. А., Онопченко Г. В., Онопченко О. В. Упровадження STEM-освіти в умовах інтеграції формальної і неформальної освіти обдарованих учнів: методичні рекомендації. Київ: Педагогічна думка. 2019.
5. Барна О. В., Балик Н. Р. Впровадження STEM-освіти у навчальних закладах: етапи та моделі. Київ: Інститут модернізації змісту освіти. 2017.
6. Олексюк О. Р. Елементи STEM-освіти у початковій школі. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2017. 1(167). 145–150.
7. Свид І. В., Чумак В. С., Бойко Н. В. Регіональний центр STEM-освіти технічного розвитку молоді (Doctoral dissertation, ДДМА). 2020.
8. Bybee R. W. Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*. 2010. 70(1). 30–35.
9. Becker K., Park K. Effects of integrative approaches among STEM subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*. 2011.12(5/6). 23–37.

REFERENCES:

1. Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11–19. doi:10.1186/s40594-016-0046-z.
2. Sanders, M. (2009). STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20–26.
3. Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.). (2014). *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington, DC: The National Academies Press.
4. Polikhun, N. I., Postova, K. H., Slipukhina, I. A., Onopchenko, H. V., & Onopchenko, O. V. (2019). Uprovadzhennia STEM-osvity v umovakh intehtratsii formal'noi i neformal'noi osvity obdarovanykh uchniv: metodychni rekomendatsii [Implementation of STEM education in conditions of integration of formal and informal education of gifted students: methodological recommendations]. Kyiv: Pedahohichna dumka [in Ukrainian].
5. Barna, O. V., & Balyk, N. R. (2017). Vprovadzhennia STEM-osvity u navchal'nykh zakladakh: etapy ta modeli [Implementation of STEM education in educational institutions: stages and models]. Kyiv: Instytut modernizatsii zmistu osvity [in Ukrainian].
6. Oleksiuk, O. R. (2017). Elementy STEM-osvity u pochatkovii shkoli [Elements of STEM education in elementary school]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedahohichni nauky - Proceedings. Series: Pedagogical sciences*. 1(167), 145–150 [in Ukrainian].
7. Svyd, I. V., Chumak, V. S., & Boiko, N. V. (2020). Rehional'nyi tsentr STEM-osvity tekhnichnoho rozvytku molodi [Regional center of STEM education for technical development of youth]. Doctor's thesis, DDMA [in Ukrainian].
8. Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30–35.
9. Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among STEM subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 12(5/6), 23–37.