

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РАШЕВСЬКА НАТАЛЯ ВАСИЛІВНА

УДК 37.091.3:004:373.5:(51+53+54+57)

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИЧНА СИСТЕМА ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ
ПРЕДМЕТІВ УЧНІВ АКАДЕМІЧНИХ ЛІЦЕЇВ**

13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора педагогічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело, а всі частини тексту дисертації, під час написання яких використовувалися технології штучного інтелекту, перевірені та відредаговані мною особисто.



Н. В. Рашевська

Науковий консультант: **Литвинова Світлана Григорівна**, доктор педагогічних наук, професор, член-кореспондент НАПН України.

Київ 2026

АНОТАЦІЯ

Рашевська Н. В. Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора педагогічних наук за спеціальністю 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті. – Інститут цифровізації освіти Національної академії педагогічних наук України. – Київ, 2026.

Зміст анотації. У дисертації представлено результати комплексного теоретико-методологічного та експериментального дослідження проблеми використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Актуальність дослідження зумовлена потребою підвищення якості навчання в умовах цифрової трансформації освіти, зміною парадигми профільної освіти, подоланням освітніх втрат і забезпеченням ефективної реалізації профільного навчання, а також недостатньою розробленістю цілісних методичних рішень щодо педагогічно обґрунтованої інтеграції імерсивних технологій у практику академічних ліцеїв.

На основі аналізу вітчизняних і закордонних наукових джерел, нормативних документів та освітньої практики встановлено, що використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів має переважно фрагментарний характер, обмежується застосуванням окремих цифрових ресурсів і не забезпечується системним методичним супроводом. Виявлено суперечність між значним дидактичним потенціалом імерсивних технологій щодо підвищення ефективності навчання, розвитку просторового мислення, активізації пізнавальної діяльності, підтримки дослідницької діяльності та індивідуалізації навчання та відсутністю науково обґрунтованих підходів до їх цілісної інтеграції в освітній процес академічних ліцеїв.

У роботі здійснено аналіз понятійно-категоріального апарату дослідження, уточнено зміст понять «імерсивне навчання», «технологічна інтеграція» та «інтеграція імерсивних технологій», а також запропоновано авторське

трактування понять «імерсивні технології навчання» та «імерсивне середовище навчання». Імерсивні технології навчання визначено як педагогічно організований комплекс цифрових технологічних засобів і програмно-апаратних рішень, спрямованих на забезпечення інтерактивної взаємодії з навчальним змістом та формування компетентностей здобувачів освіти, а імерсивне середовище навчання – як цілісну систему взаємопов'язаних технологічних, змістових, організаційних і психолого-педагогічних компонентів, що забезпечує узгодженість цілей, змісту, способів взаємодії та результатів навчання.

Обґрунтовано дидактичний потенціал імерсивних технологій як педагогічних засобів навчання природничо-математичних предметів, що полягає у забезпеченні візуалізації складних і абстрактних об'єктів і процесів, підтримці дослідницької діяльності, розвитку просторового мислення, активізації пізнавальної діяльності та створенні умов для формування предметних, міжпредметних і ключових компетентностей учнів академічних ліцеїв. Здійснено класифікацію імерсивних технологій за типом технологічної реалізації, рівнем занурення, педагогічним призначенням і характеристиками імерсивного середовища, що забезпечує теоретичне підґрунтя їх педагогічно обґрунтованого використання в навчанні природничо-математичних предметів.

Сформульовано загальну та часткові гіпотези дослідження, відповідно до яких ефективність навчання природничо-математичних предметів, рівень навчальних досягнень учнів, їхня пізнавальна активність, навчальна мотивація та розвиток просторового мислення підвищуватимуться за умови педагогічно обґрунтованої інтеграції імерсивних технологій на основі розробленої методичної системи. Визначено завдання педагогічного експерименту, базу дослідно-експериментальної роботи та основні етапи її проведення.

Обґрунтовано теоретико-методологічні засади організації імерсивного навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях, відповідно до яких ефективність інтеграції імерсивних технологій потребує поєднання їх технологічних можливостей із педагогічно виваженим конструюванням процесу навчання. Розроблено систему принципів використання імерсивних технологій,

що охоплює дидактичні, технологічні та організаційно-педагогічні принципи, обґрунтовано інноваційно-трансформаційну концептуальну рамку організації імерсивного навчання, яка визначає методологічну основу розробленої методичної системи, а також визначено систему психолого-педагогічних умов, що охоплює організаційно-методичну, технологічно-когнітивну та особистісно-мотиваційну групи умов.

Теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів, яка усуває виявлену недостатню цілісність наявних моделей організації навчання в імерсивному середовищі. Модель охоплює цільовий, змістово-методичний, технологічний, комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти й забезпечує узгодження цілей, змісту, способів педагогічної взаємодії та результатів навчання. Визначено педагогічні, технологічні, психологічні та розвивальні вимоги до побудови імерсивного середовища навчання, які становлять концептуальну основу його проектування.

Обґрунтовано взаємопов'язану систему моделей організації навчання з використанням імерсивного середовища, що включає процедурну, інструктивно-діяльнісну та функціонально-мотиваційну моделі. Їх комплексне використання забезпечує поетапний перехід від керованого засвоєння способів діяльності до автономної, творчої та дослідницької діяльності учнів відповідно до цілей профільного навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях.

Уперше теоретично обґрунтовано та розроблено методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв та побудовано її модель, яка інтегрує розроблені теоретико-методологічні засади організації імерсивного навчання, структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання, моделі організації навчання, систему добору імерсивних освітніх ресурсів і предметно орієнтовані методики їх використання в єдину систему організації освітнього процесу. Методична система охоплює цільовий, змістовий, технологічний, комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти,

взаємозв'язок яких забезпечує цілісне проєктування, організацію та оцінювання навчального процесу з використанням імерсивних технологій і спрямований на формування предметних, міжпредметних і ключових компетентностей учнів академічних ліцеїв.

Обґрунтовано систему критеріїв педагогічно доцільного добору імерсивних освітніх ресурсів для навчання природничо-математичних предметів, що охоплює цільово-дидактичний, когнітивно-діяльнісний, психолого-мотиваційний, технологічно-імерсивний, організаційно-методичний та безпеково-етичний критерії, а також визначено систему показників їх оцінювання. Розроблено процедуру педагогічно обґрунтованого добору імерсивних освітніх ресурсів, яка передбачає послідовне визначення педагогічних умов і дидактичної мети їх використання, попередній добір, комплексне оцінювання, проєктування інтеграції в освітній процес та аналіз результативності застосування. Здійснено класифікацію імерсивних освітніх ресурсів за педагогічним потенціалом і систематизовано їх за функціональним призначенням у структурі методичної системи.

Розроблено предметно орієнтовані методики використання імерсивних технологій під час навчання алгебри, геометрії, фізики, хімії, біології та географії, а також методичні рекомендації для вчителів щодо педагогічно доцільного, системного й безпечного використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів.

Експериментальна перевірка ефективності запропонованої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів здійснювалася в умовах реального освітнього процесу закладів загальної середньої освіти та академічних ліцеїв і охоплювала констатувальний, формувальний та узагальнювальний етапи. У дослідно-експериментальній роботі брали участь учні академічних ліцеїв та вчителі природничо-математичних предметів.

На констатувальному етапі визначено стан використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів, рівень готовності

педагогів до їх використання, особливості матеріально-технічного забезпечення закладів освіти, а також початкові рівні навчальних досягнень учнів, їхньої пізнавальної активності, навчальної мотивації та розвитку просторового мислення. Встановлено, що вчителі загалом позитивно оцінюють потенціал імерсивних технологій, однак потребують системного методичного супроводу, а більшість учнів характеризується середнім і достатнім рівнями розвитку просторового мислення, що підтвердило доцільність упровадження розробленої методичної системи.

Формувальний етап передбачав упровадження розробленої методичної системи та апробацію предметно орієнтованих методик використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів. На узагальнювальному етапі здійснено порівняльний аналіз результатів навчання учнів експериментальних і контрольних груп із використанням методів математичної статистики, що дало змогу оцінити ефективність запропонованої методичної системи та встановити статистичну значущість отриманих результатів.

Результати педагогічного експерименту засвідчили статистично значуще підвищення навчальних досягнень учнів експериментальних груп та зростання рівня розвитку їхнього просторового мислення порівняно з учнями контрольних груп, що підтвердило ефективність розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв і загалом підтвердило висунуту гіпотезу дослідження.

Ключові слова: імерсивні технології навчання, імерсивне середовище навчання, методична система, академічні ліцеї, природничо-математичні предмети.

ABSTRACT

Rashevskaya N. V. Methodological system of using immersive learning technologies for science and mathematics subjects in academic lyceums. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Pedagogical Sciences in the specialty 13.00.10 – Information and Communication Technologies in Education. – Institute for Digitalisation of Education of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine. – Kyiv, 2026.

Abstract Content. The dissertation presents the results of a comprehensive theoretical, methodological, and experimental study of the problem of using immersive learning technologies in teaching natural sciences and mathematics to students of academic lyceums. The relevance of the study is determined by the need to improve the quality of education in the context of the digital transformation of education, changes in the paradigm of specialized education, overcoming learning losses and ensuring the effective implementation of specialized education, as well as by the insufficient development of comprehensive methodological solutions for the pedagogically grounded integration of immersive technologies into the practice of academic lyceums.

Based on the analysis of domestic and foreign scientific sources, regulatory documents, and educational practice, it was established that the use of immersive technologies in teaching natural sciences and mathematics is predominantly fragmented, limited to the application of individual digital resources, and is not supported by systematic methodological guidance. A contradiction was identified between the significant didactic potential of immersive technologies for increasing the effectiveness of learning, developing spatial thinking, enhancing cognitive activity, supporting inquiry-based learning, and individualizing instruction, and the absence of scientifically grounded approaches to their comprehensive integration into the educational process of academic lyceums.

The study analyzes the conceptual and categorical framework of the research, clarifies the meanings of the concepts “immersive learning,” “technological integration,” and “integration of immersive technologies,” and proposes the author’s interpretations of the concepts “immersive learning technologies” and “immersive learning environment.” Immersive learning technologies are defined as a pedagogically organized set of digital technological tools as well as hardware and software solutions aimed at ensuring interactive engagement with educational content and the development

of learners' competencies, while an immersive learning environment is defined as an integrated system of interconnected technological, content-related, organizational, psychological, and pedagogical components that ensures the alignment of learning objectives, content, modes of interaction, and learning outcomes.

The didactic potential of immersive technologies as pedagogical tools for teaching natural sciences and mathematics has been substantiated. This potential lies in enabling the visualization of complex and abstract objects and processes, supporting inquiry-based learning, developing spatial thinking, enhancing cognitive activity, and creating conditions for the development of subject-specific, interdisciplinary, and key competencies of students of academic lyceums. A classification of immersive technologies was developed according to the type of technological implementation, level of immersion, pedagogical purpose, and characteristics of the immersive environment, providing a theoretical foundation for their pedagogically grounded use in teaching natural sciences and mathematics.

The general and specific research hypotheses were formulated, according to which the effectiveness of teaching natural sciences and mathematics, students' academic achievement, cognitive activity, learning motivation, and the development of spatial thinking would increase provided that immersive technologies are pedagogically integrated on the basis of the developed methodological system. The objectives of the pedagogical experiment, the research and experimental base, and the main stages of its implementation were determined.

The theoretical and methodological foundations for organizing immersive learning of natural sciences and mathematics in academic lyceums were substantiated, according to which the effective integration of immersive technologies requires the combination of their technological capabilities with the pedagogically sound design of the learning process. A system of principles for the use of immersive technologies was developed, encompassing didactic, technological, and also organizational and pedagogical principles. An innovation-transformative conceptual framework for the organization of immersive learning was substantiated, defining the methodological basis of the developed methodological system. In addition, a system of psychological and

pedagogical conditions was identified, comprising the organizational and methodological, technological and cognitive, as well as personal and motivational condition groups.

A structural component model of an immersive learning environment for natural sciences and mathematics was theoretically substantiated and developed. This model addresses the identified lack of coherence in existing models of organizing learning within immersive environments. The model includes target, contentful and methodological, technological, communicational and organizational, and also evaluational and resultative components and ensures the alignment of learning objectives, content, forms of pedagogical interaction, and learning outcomes. Pedagogical, technological, psychological, and developmental requirements for constructing an immersive learning environment were defined, forming the conceptual basis for its design.

A coherent system of interrelated models for organizing education using an immersive environment was substantiated. The system includes procedural, instructional and activity-based, as well as functional and motivational models. Their integrated application ensures a gradual transition from guided acquisition of methods of activity to students' autonomous, creative, and research-based activity in accordance with the goals of specialized education in natural sciences and mathematics in academic lyceums.

For the first time, a methodological system for using immersive learning technologies in teaching natural sciences and mathematics to students of academic lyceums has been theoretically substantiated and developed, and its model has been constructed. This model integrates the developed theoretical and methodological foundations of organizing immersive learning, the structural-component model of the immersive learning environment, models of instructional organization, a system for selecting immersive educational resources, and subject-oriented methodologies for their use into a unified system for organizing the educational process. The methodological system comprises target, content, technological, communication-organizational, and evaluation-resultative components, the interconnection of which ensures the holistic

design, organization, and evaluation of the learning process using immersive technologies and is aimed at developing subject-specific, interdisciplinary, and key competencies of students of academic lyceums.

A system of criteria for the pedagogically appropriate selection of immersive educational resources for teaching natural sciences and mathematics was substantiated. It encompasses target and didactic, cognitive and activity, psychological and motivational, technological and immersive, organizational and methodological, and also safety and ethical criteria, as well as a system of indicators for their evaluation. A procedure for the pedagogically grounded selection of immersive educational resources was developed, which involves the sequential determination of pedagogical conditions and didactic objectives of their use, preliminary selection, comprehensive evaluation, design of integration into the educational process, and analysis of implementation effectiveness. A classification of immersive educational resources based on pedagogical potential was performed, and they were systematized according to their functional purpose within the structure of the methodological system.

Subject-oriented methodologies for the use of immersive technologies in teaching algebra, stereometry, physics, chemistry, biology, and geography were developed, as well as methodological recommendations for teachers regarding the pedagogically appropriate, systematic, and safe use of immersive technologies in teaching natural sciences and mathematics.

The experimental verification of the effectiveness of the proposed methodological system for using immersive learning technologies in teaching natural sciences and mathematics was carried out in the conditions of the real educational process of general secondary education institutions and academic lyceums and included ascertaining, formative, and summarizing stages. The experimental research involved students of academic lyceums and teachers of natural sciences and mathematics.

At the ascertaining stage, the state of using immersive technologies in teaching natural sciences and mathematics was determined, along with teachers' level of readiness to use them, the characteristics of the material and technical support of educational institutions, as well as the initial levels of students' academic achievement,

cognitive activity, learning motivation, and development of spatial thinking. It was established that teachers generally positively assess the potential of immersive technologies; however, they require systematic methodological support, and the majority of students are characterized by average and sufficient levels of spatial thinking development, which confirmed the appropriateness of implementing the developed methodological system.

The formative stage involved the implementation of the developed methodological system and the testing of subject-oriented methodologies for using immersive technologies in teaching natural sciences and mathematics. At the summarizing stage, a comparative analysis of learning outcomes of students in the experimental and control groups was carried out using mathematical statistics methods, which made it possible to evaluate the effectiveness of the proposed methodological system and to determine the statistical significance of the obtained results.

The results of the pedagogical experiment demonstrated a statistically significant improvement in students' academic achievement in the experimental groups, as well as an increase in the level of development of their spatial thinking compared to students in the control groups. This confirmed the effectiveness of the developed methodological system for using immersive learning technologies in teaching natural sciences and mathematics to students of academic lyceums and, overall, validated the proposed research hypothesis.

Keywords: immersive learning technologies, immersive learning environment, methodological system, academic lyceums, science and mathematics subjects.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії, посібники, методичні рекомендації

1. Рашевська Н. В. Імерсивні платформи та застосунки для організації навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв : метод. рек. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. 122 с.

2. Використання генеративного штучного інтелекту для розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти : аналітичні матеріали / Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Осадча К. П., Пінчук О. П., Рашевська Н. В., Сухіх А. С. / за наук. ред. С. Г. Литвинової, Ю. Г. Носенко. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. 100 с.

3. Імерсивні технології для підтримки змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти : метод. посіб. / Баценко С. В., Богачков Ю. М., Буров О. Ю., Горбаченко В. І., Коркішко І. А., Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Полященко І. М., Рашевська Н. В., Савченко В. Ю., Слободяник О. В., Соколюк О. М., Сухіх А. С., Ухань П. С. / за заг. ред. Носенко Ю. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2025. 174 с.

4. Використання імерсивних технологій вчителями у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти : метод. рек. / С. Г. Литвинова, Ю. Г. Носенко, Н. В. Рашевська, О. В. Слободяник, О. М. Соколюк, Н. В. Сороко, А. С. Сухіх. / за заг. ред. Носенко Ю. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 121 с.

5. Імерсивні технології в освітньому процесі. Бібліографічний покажчик праць науковців інституту цифровізації освіти НАПН України / С. Г. Литвинова, Ю. Г. Носенко, Н. В. Рашевська, О. М. Соколюк, О. В. Слободяник, А. С. Сухіх / за наук. ред. Ю. Г. Носенко. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 60 с.

Статті у наукових фахових виданнях України

6. Рашевська Н. В. Імерсивні освітні ресурси. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2026. Вип. 1 (58). С. 211-215. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2026.58.211-215>.

7. Рашевська Н. Моделі імерсивного середовища навчання. *Фізико-математична освіта*. 2026. Т. 41. № 1. С. 26-31. DOI :

<https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i1-04>.

8. Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Осадча К. П., Пінчук О. П., Рашевська Н. В., Сухіх А. С. Перспективи та етичні виклики використання генеративного штучного інтелекту для розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти. *Освітня аналітика України*. 2026. № 1 (38). С. 5-21. DOI : <https://doi.org/10.32987/2617-8532-2026-1-89-105>

9. Рашевська Н. Імерсивне середовище навчання як педагогічний феномен у старшій профільній школі. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2026. Вип. 222. С. 391-395. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2026-1-222-391-395>

10. Литвинова С., Носенко Ю., Осадча К., Пінчук О., Рашевська Н., Сухіх А. Концептуальна модель інтеграції генеративного штучного інтелекту у процес розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти. *Фізико-математична освіта*. 2025. Т. 40. № 5. С. 44-52. DOI : <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i5-06>.

11. Рашевська Н. В., Литвинова С. Г. Процедурна модель здобуття знань учнями старшої школи в імерсивному середовищі навчання. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Т. 109. № 5. С. 49-68. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v109i5.6157> (*індексується у Web of Science*).

12. Рашевська Н. В. Функціонально-мотиваційна модель імерсивного навчання. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2025. Вип. 2 (57). С. 156-160. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2025.57.156-160>.

13. Литвинова С., Рашевська Н. Кейси практичного використання імерсивних технологій : рекомендації для вчителів. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2025. № 77. С. 124-141. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-77-124-141>.

14. Горбаченко В. І., Рашевська Н. В. Змістовий аспект навчання з використанням імерсивних технологій у закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 220. С. 172-177. DOI :

<https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-220-172-177>.

15. Рашевська Н. В. Теоретичні аспекти інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних дисциплін в академічних ліцєях. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 219. С. 400-405. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-219-400-405>

16. Рашевська Н. В. Психолого-педагогічні умови імерсивного середовища навчання. *Наукові записки*. 2025. Вип. 161. С. 134-141. DOI : <https://doi.org/10.31392/NZ-udu-161.2025.15>.

17. Рашевська Н. В. Інноваційно-трансформативний підхід імерсивного навчання. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2025. Вип. 1 (56). С. 192-196. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2025.56.192-196>.

18. Рашевська Н. В. Імерсивне навчання як педагогічна проблема. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 217. С. 168-174. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-217-168-174>.

19. Баценко С. В., Рашевська Н. В. Змішане навчання: теоретичний аналіз поняття та можливості впровадження в процес навчання в закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 216. С. 92-97. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-92-97>.

20. Рашевська Н. В. Аналіз деяких систем та застосунків в моделі змішаного навчання в закладах середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2024. Вип. 1 (54). С. 167-172. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2024.54.167-172>.

21. Рашевська Н. В. Імерсивні технології навчання природничих дисциплін учнів старших класів закладів середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Вип. 213. 2024. С. 223-228. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-213-222-228>.

22. Рашевська Н. Використання засобів доповненої реальності у процесі вивчення планіметрії в закладах середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2020.

Вип. 2 (47). С. 147-150. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2020.47.147-150>

23. Рашевська Н. В. Модель формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики. *Науковий вісник Ужгородського національного університету: Серія «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2017. Вип. 1 (40). С. 237-240.

24. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Персональне навчальне середовище учня ліцею профільного рівня як складова моделі змішаного навчання. *Вісник Черкаського університету. Серія педагогічні науки*. 2016. Вип. 7. С. 16-23.

Статті у наукових виданнях інших держав

25. Rashevskia N. V., Semerikov S. O. From philosophical immersion to digital reality: A unified theoretical framework for understanding and classifying immersive technologies in education. *Computers & Education: X Reality*. 2026. Vol. 8 Art. 100147. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2026.100147>. (*індексується у Scopus*).

26. Lytvynova S., Rashevskia N. Mobile Learning by Students in the Conditions of Martial Law. *Proceedings of the 12th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 12, 2025. CEUR Workshop Proceedings, Vol-4043. P. 116-131. DOI : <https://doi.org/10.55056/ceur-ws.org/Vol-4043/paper02.pdf> (*індексується у Scopus*).

27. Lytvynova S., Rashevskia N. Immersive learning tools for teaching mathematics to high school students in general secondary education institutions. *Proceedings of the 7th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 14, 2024. CEUR Workshop Proceedings, Vol-3918. P. 29-42. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3918/paper004.pdf> (*індексується у Scopus*).

28. Kiv A. E. et al. From cloud computing to quantum informatics: Advances in educational technology at CoSinE 2024. *Proceedings of the 11th Illia O. Teplytskyi Workshop on Computer Simulation in Education (CoSinE 2024) co-located with XVI International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 15, 2024. CEUR Workshop Proceedings,

Vol. 3820. P. 1-12. DOI : <https://doi.org/10.55056/ceur-ws.org/Vol-3820/paper000.pdf> (*індексується у Scopus*).

29. Lytvynova S., Rashevskaya N., Proskura S. The use of artificial intelligence in teaching students programming languages. *3L-Person 2024: IX International Workshop on Professional Retraining and Life-Long Learning using ICT: Person-oriented Approach, co-located with the 19th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2024)* September 23, 2024, Lviv, Ukraine. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3781. P. 10-29. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3781/paper01.pdf> (*індексується у Scopus*).

30. Rashevskaya N. V., Semerikov S. O., Zinonos N. O., Tkachuk V. V., Shyshkina M. P. Using augmented reality tools in the teaching of two-dimensional plane geometry. *AREdu 2020. Augmented Reality in Education 2020*. Proceedings of the 3rd International Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine, May 13, 2020. CEUR Workshop Proceedings, Vol 2731. P. 79-90. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-2731/paper03.pdf> (*індексується у Scopus*).

31. Rashevskaya N. V., Soloviev V. N. Augmented Reality and the Prospects for Applying Its in the Training of Future Engineers. *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education*. Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, Vol 2257. P. 192-197. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-2257/paper18.pdf> (*індексується у Scopus*).

32. Kiyanyovska N., Rashevskaya N. Using LMS for Supporting Training Mathematics in Higher Education. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 9. C. 593-598. URL : http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_9/095_Natalia-Kiyanyovska.pdf (*індексується у Scopus*).

33. Rashevskaya N., Tkachuk V. Technological conditions of mobile learning at high school. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. C. 161-164. URL : https://www.researchgate.net/publication/326851756_Technological_conditions_of_mobile_learning_in_high_school (*індексується у Scopus*).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

Статті в інших наукових виданнях України

34. Semerikov S. O., Kiianovska N. M., Rashevskaya N. V. The early history of computer-assisted mathematics instruction for engineering students in the United States: 1965-1989. *Educational Technology Quarterly*. 2021. Vol. 2021. Iss. 3. P. 360-374. DOI : <https://doi.org/10.55056/etq.18>

35. Рашевська Н. В., Корсун А. О. Використання мобільних інформаційно-комунікаційних технологій навчання математики під час дистанційного навчання в закладах середньої освіти. *Наукові записки молодих учених*. 2021. № 8. URL : <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1875>

36. Рашевська Н. В., Бугайов Б. С. Організація навчання математики учнів загальноосвітніх навчальних закладів в умовах карантину. *Наукові записки молодих учених*. 2020. № 6. URL : <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1750>

37. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Модель формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики засобами ІКТ. *Новітні комп'ютерні технології*. 2017. Том XV. С. 52-56.

38. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Аналіз використання мобільних інформаційно-комунікаційних технологій навчання учнями у процесі підготовки до ЗНО. *Новітні комп'ютерні технології*. 2016. Том XIV. С. 79-80.

39. Kiyanovska N., Rashevskaya N., Tkachuk V. Mobile technologies in education. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. № 5. С. 40-43.

40. Рашевська Н. В. Розвиток хмарних технологій у процесі навчання математичних дисциплін як наукова проблема. *Новітні комп'ютерні технології*. 2014. Том XII : спецвипуск «Хмарні технології в освіті». С. 278-285.

41. Рашевська Н. В., Семеріков С. О. Моделі змішаного навчання. *Новітні комп'ютерні технології*. 2013. Вип. XI. С. 103-104.

42. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Інформаційно-комунікаційні технології підтримки процесу навчання математики. *Теорія та методика електронного навчання : збірник наукових праць*. 2013. Вип. IV. С. 248-253.

43. Рашевська Н. В., Цимбал С. В. Використання систем комп'ютерної математики MathPiper у процесі вивчення геометрії. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : збірник наукових праць*. 2012. Вип. Х. Т. 1 : Теорія та методика навчання математики. С. 212-217.

Тези доповідей в матеріалах конференцій

44. Рашевська Н. В. Використання систем штучного інтелекту як засобу підтримки навчання стереометрії в академічному ліцеї. *Штучний інтелект у науці та освіті (AISE 2026) : збірник матеріалів III Міжнародної наукової конференції* (Київ, 7 квітня 2026 р.) / упорядники: Яцишин Анна, Яцишин Андрій. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 262-264.

45. Рашевська Н. В. Трансформація методів навчання природничо-математичних предметів в умовах цифрового середовища. *Цифрова компетентність вчителя 2026: стратегії навчання зі штучним інтелектом: збірник матеріалів III Міжнародної наукової конференції* (Київ, 31 березня 2026 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 222-225.

46. Рашевська Н. В. Компонентна структура методичної системи використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних дисциплін учнів академічних ліцеїв. *Актуальні проблеми математики, економіки та менеджменту : Всеукраїнська науково-практична конференція* (Кропивницький, 16-17 квітня 2026 р.). Кропивницький : РВВ ЦДУ ім. В. Винниченка, 2026. С. 169-172.

47. Рашевська Н. В. Інструктивно-діяльнісна модель організації навчання в імерсивному середовищі закладів загальної середньої освіти. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 25 лютого 2026 р.). / упоряд.: О. П. Пінчук, Н. В. Вознюк. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 168-170.

48. Рашевська Н. В. Імерсивні технології як чинник трансформації методичної системи навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях. *Міжнародна науково-практична конференції «Сучасні трансформації*

педагогічної освіти: проблеми теорії і практики» (Запоріжжя, 29-30 січня 2026 р.) / за заг. ред. М. І. Воровки. Запоріжжя : ФОП Однорог, 2026. С. 480-483.

49. Рашевська Н. В. Застосунки доповненої реальності у навчанні математики учнів закладів загальної середньої освіти. *XX Міжнародна наукова конференція імені академіка Михайла Кравчука* (Київ, 17-20 листопада 2025 р.). Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2025. С. 248-249.

50. Рашевська Н. В. Динаміка освітнього процесу в Україні в умовах пандемії та повномасштабного вторгнення. *Сучасний освітній простір – досвід, пошук, результат: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції* (Суми, 27 серпня 2025 р.) / упоряд., заг.ред. О. Семеног, М. Бойченко. Суми : Вид-во СумДПУ імені А.С.Макаренка, 2025. С. 15-19.

51. Рашевська Н. В. Етичні та безпекові застосування імерсивних технологій у процесі навчання в закладах загальної середньої освіти. *Імерсивні технології в освіті : V Міжнародна науково-практична конференція* (Київ, 29 квітня 2025 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 141-147.

52. Рашевська Н. В. Імерсивна компетентність та імерсивна грамотність учасників процесу навчання закладів загальної середньої освіти. *Цифрова компетентність вчителя 2025: формуючи майбутнє освіти : збірник матеріалів II міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 18 березня 2025 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 147-150.

53. Рашевська Н. В. Компоненти математичного імерсивного середовища навчання учня старших класів закладів загальної середньої освіти. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 27 лютого 2025 р.). / упоряд.: О. П. Пінчук, Н. В. Яськова. Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 142-145.

54. Рашевська Н. В. Застосунок RA AUGMENTED POLYHEDRONS для візуалізації геометричних тіл в курсі геометрії 11 класу. *Теорія і практика використання інформаційних технологій в умовах цифрової трансформації освіти: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції* (Київ, 19-20

червня 2024 р.) / упорядник: Твердохліб І. А. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. С. 61-64.

55. Rashevskа N. Immersive educational technologies as a part of the immersive mathematical environment of a student. *Імерсивні технології в освіті : IV Міжнародна науково-практична конференція* (Київ, 30 квітня 2024 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2024. С. 36-39.

56. Рашевська Н. В. Формування деяких компетентностей учнів старшої школи в моделі змішаного навчання. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 23 лютого 2024 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2024. С. 134-139.

57. Рашевська Н. В. Формування мовлення учнів старшої школи на уроках математики. *Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти : збірник тез III регіональної науково-методичної інтернет-конференції* (Кривий Ріг, 30 листопада 2023 р.). Кривий Ріг : ВСП «КРФК НАУ», 2023. С. 3-4.

58. Рашевська Н. В. Формування деяких компетентностей учнів закладів середньої освіти у процесі навчання математики. *Інформаційні технології в освіті та науці : збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції* (Мелітополь-Запоріжжя, 25-26 травня 2023 р.). Вип. 13. Мелітополь-Запоріжжя : ФОП Однорог Т. В., 2023. С. 85-87.

59. Рашевська Н. В. Застосунок Geometria RA як засіб візуалізації геометричних тіл на уроках геометрії. *Сучасні інформаційні технології в освіті і науці : збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції* (Умань, 16-17 листопада 2023 р.). Умань : УДПУ ім. П. Тичини, 2023. С. 117-119.

60. Рашевська Н. В., Земляна Т. Ю. Використання системи ONLINE TEST RAD в процесі навчання математики. *Авіація, промисловість, суспільство : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Кременчук, 18 травня 2023 р.). Харків : ХНУВС, 2023. С. 329-331.

61. Рашевська Н. В., Бузинарський К. Є. Використання онлайн-сервісу

TINKERCAD у процесі вивчення стереометрії учнями старших класів закладів загальної середньої освіти. *Фундаментальні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів ЗВО і молодих учених: творчий розвиток ідей : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 06-07 квітня 2023 р.). Харків : ХНАДУ, 2023. С. 30-34.

62. Рашевська Н. В., Земляна Т. Ю. Використання системи тестування Kahoot в процесі навчання математики учнів старшої школи. *Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти : збірник тез II регіональної науково-методичної інтернет-конференції* (Кривий Ріг, 24 листопада 2022 р.). Кривий Ріг : ВСП «КРФК НАУ», 2022. С. 3-4.

63. Рашевська Н. В., Бугайов Б. С. Вплив позакласного часу на учнів під час навчання математики в закладах середньої освіти. *Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 08-09 квітня 2021 р.). Харків : ХНАДУ, 2021. С. 115-118.

64. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Конструкторська діяльність на уроках геометрії. *Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 09-10 квітня 2020 р.). Харків : ХНАДУ, 2020. С. 190-195.

65. Рашевська Н. В. Побудова персонального навчального середовища учня у процесі підготовки його до ЗНО з математики. *Розвиток промисловості та суспільства : матеріали міжнародної науково-технічної конференції* (Кривий Ріг, 22-25 травня 2019 р.). Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2019. С. 345-347.

66. Рашевська Н. В. Формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики в суспільно-гуманітарних класах. *Наукова діяльність як шлях*

формування професійних компетентностей майбутнього фахівця (НПК-2016) : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (Суми, 1-2 грудня 2016 р.). Суми : ФОП Цьома С. П., 2016. Ч. 2. С. 23-26.

67. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Аналіз Інтернет-месенджерів, що можуть бути корисними у процесі навчання учнів старшої школи. *Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2016) (Черкаси, 12-14 травня 2016 р.). Черкаси : ЧДТУ, 2016. С. 208-209.*

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	28
ВСТУП.....	30
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ УЧНІВ АКАДЕМІЧНИХ ЛІЦЕЇВ	45
1.1. Понятійно-категоріальний апарат дослідження: визначення та класифікація імерсивних технологій	45
1.1.1. Філософське та історичне трактування імерсивності	45
1.1.2. Імерсивні технології.....	53
1.1.3. Імерсивні технології навчання.....	69
1.2. Організація процесу навчання в закладах загальної середньої освіти та специфіка академічних ліцеїв	81
1.2.1. Сучасний стан організації процесу навчання в закладах загальної середньої освіти України.....	82
1.2.2. Організація освітнього процесу в академічних ліцеях.....	89
1.3. Стан упровадження імерсивних технологій у процес навчання в закладах освіти	93
1.3.1. Використання імерсивних технологій навчання в закладах освіти...	94
1.3.2. Стан використання імерсивних технологій у системі освіти України	102
Висновки до розділу 1	106
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ	109
2.1. Загальна методика дослідження	109
2.2. Концептуальні засади використання імерсивних технологій в освіті....	115
2.2.1. Методичні підходи та психолого-педагогічні умови використання імерсивних технологій навчання	115

2.2.2. Принципи інтеграції імерсивних технологій у процес навчання.....	127
2.2.3. Концептуальні моделі інтеграції імерсивних технологій у процес навчання	137
2.2.4. Психолого-педагогічні особливості використання імерсивних технологій	141
2.3. Структурно-компонентна модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів	145
2.3.1. Моделі імерсивних середовищ навчання	146
2.3.2. Імерсивне змішане навчання.....	165
2.4. Етичні та безпекові аспекти використання імерсивних технологій у навчальному процесі.....	174
Висновки до розділу 2	187
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИЧНА СИСТЕМА ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ УЧНІВ АКАДЕМІЧНИХ ЛІЦЕЇВ	190
3.1. Модель методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв ..	190
3.1.1. Компоненти методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів	190
3.1.2. Модель методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв	194
3.2. Цілі та зміст методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв ..	202
3.2.1. Цільовий та змістовий компоненти методичної системи	202
3.2.2. Дидактичні можливості навчальних програм природничо-математичних предметів щодо інтеграції імерсивних технологій	206
3.2.3. Цілі навчання та критерії їх досягнення	209
3.3. Імерсивні технології навчання природничо-математичних предметів ..	215
3.3.1. Імерсивні освітні ресурси.....	215

3.3.2. Платформи та застосунки імерсивного навчання.....	227
3.3.3. Педагогічні технології реалізації імерсивного навчання природничо-математичних предметів.....	235
3.4. Форми організації та методи методичної системи використання імерсивних технологій навчання	238
3.4.1. Форми організації навчання в імерсивному середовищі	238
3.4.2. Інтерактивність та методи навчання в імерсивному середовищі	240
3.5. Комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти методичної системи використання імерсивних технологій навчання	248
3.5.1. Комунікаційно-організаційний компонент	248
3.5.1.1. Організація педагогічної комунікації в імерсивному середовищі	250
3.5.1.2. Педагогічний супровід діяльності учнів в імерсивному середовищі	253
3.5.2. Оцінювально-результативний компонент	256
3.5.3. Корекція та зворотний зв'язок.....	258
Висновки до розділу 3	262
РОЗДІЛ 4 ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНІ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	265
4.1. Моделі організації навчання з залученням імерсивного середовища	265
4.1.1. Процедурна модель організації навчання.....	266
4.1.2. Інструктивно-діяльнісна модель організації навчання	271
4.1.3. Функціонально-мотиваційна модель організації навчання	279
4.2. Методики використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів.....	294
4.2.1. Методика використання імерсивних технологій навчання геометрії	294
4.2.2. Методика використання імерсивних технологій навчання алгебри	301
4.2.3. Методика використання імерсивних технологій навчання фізики..	315
4.2.4. Методика використання імерсивних технологій навчання хімії	323

4.2.5. Методика використання імерсивних технологій навчання біології	332
4.2.6. Методика використання імерсивних технологій навчання географії	339
4.3. Методичні рекомендації для вчителів щодо використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів	345
Висновки до розділу 4	356
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ	
ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ	
ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ УЧНІВ	
АКАДЕМІЧНИХ ЛІЦЕЇВ 358	
5.1. Організація, проведення й аналіз результатів констатувального етапу експерименту	358
5.2. Статистичне опрацювання та аналіз результатів формувального етапу педагогічного експерименту	374
Висновки до розділу 5	386
ВИСНОВКИ	389
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	397
ДОДАТКИ 470	
Додаток А. Еволюція імерсивних технологій та їх впровадження в систему освіти	470
Додаток Б. Порівняння моделей імерсивного середовища навчання за ключовими критеріями	477
Додаток В. Динаміка тлумачення «змішаного навчання», його переваги та недоліки змішаного навчання в ЗЗСО України	478
Додаток Г. Змістовий аспект імерсивного навчання у закладах загальної середньої освіти	482
Додаток Д. Таблиця порівняння характеристик компетентнісного потенціалу здобувачів освіти	487
Додаток Е. Порівняння мультимедійного та імерсивного середовищ	491
Додаток Ж. Платформи та застосунки імерсивного навчання	494

Додаток К. Типи уроків із використанням імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів	513
Додаток Л. Матриця типів інтерактивності в імерсивному навчанні залежно від форми занурення	517
Додаток М. Методична матриця реалізації методів навчання в імерсивному середовищі	518
Додаток Н. Процедурна модель організації навчання в імерсивному середовищі	520
Додаток П. Узагальнена класифікація імерсивних навчальних кейсів	525
Додаток Р. Варіанти реалізації імерсивних картографічних навчальних кейсів	530
Додаток С. Анкета щодо стану визначення готовності використовувати імерсивні технології навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях.....	532
Додаток Т. Експериментальна перевірка ефективності методичної системи	536
Додаток У. Анкета для визначення рівня сформованості пізнавального та мотиваційного компонентів	540
Додаток Ф. Завдання діагностичної карти для вимірювання рівня просторового мислення учня 10 класу.....	543
Додаток Х. Діагностичні контрольні роботи за базову середню школу	546
Додаток Ц. Анкета для визначення показників діяльнісного та мотиваційного компонентів.....	549
Додаток Ш. Список публікацій здобувача за темою дисертації	551
Додаток Щ. Відомості про апробацію результатів дисертації	562
Додаток Ю. Довідки про впровадження результатів дисертації.....	567

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

5E	модель навчання «Залучення – Дослідження – Пояснення – Розроблення – Оцінювання»
AR	доповнена реальність (Augmented Reality)
ARCS	модель мотивації «Увага – Релевантність – Впевненість – Задоволення» (Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction)
ARCS-PC	модель мотивації ARCS з компонентами участі та співпраці (Participation, Collaboration)
ARCS-V	модель мотивації ARCS з компонентом волі (Volition)
AV	доповнена віртуальність (Augmented Virtuality)
CAMILE	когнітивно-афективна модель імерсивного навчання (Cognitive Affective Model of Immersive Learning)
GPS	глобальна система позиціювання (Global Positioning System)
iVRPM	педагогічна модель імерсивної віртуальної реальності (Immersive Virtual Reality Pedagogical Model)
MAR	мобільна доповнена реальність (Mobile Augmented Reality)
MR	змішана реальність (Mixed Reality)
SAMR	модель заміщення, розширення, модифікації та перевизначення (Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition)
SDT	теорія самовизначення (Self-Determination Theory)
SMART	конкретність, вимірюваність, досяжність, релевантність, обмеженість у часі (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound)
TAM	модель прийняття технології (Technology Acceptance Model)
TIM	матриця інтеграцій технологій (Technology Integration Matrix)
TPACK	модель поєднання технологічних, педагогічних і предметних знань (Technological Pedagogical Content Knowledge)
UTAUT	єдина теорія прийняття та використання технологій (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology)
VAM	моделі адаптації технології на основі цінностей (Value-based

	Adoption Model)
VR	віртуальна реальність (Virtual Reality)
XR	розширена реальність (Extended Reality)
XR ABC Framework	модель інтеграції технологій розширеної реальності
ВПС США	Військово-повітряні сили Сполучених Штатів Америки
ДОР	Дніпропетровська обласна рада
ЗЗСО	заклад загальної середньої освіти
ЗНО	зовнішнє незалежне оцінювання
ІКТ	інформаційно-комунікаційні технології
ІмСН	імерсивне середовище навчання
ІмТ	імерсивні технології
ІОР	імерсивні освітні ресурси
ІЦО НАПН	Інститут цифровізації освіти Національної академії педагогічних наук
КЗО	Комунальний заклад освіти
КЛ	Криворізький ліцей
КМР	Криворізької міської ради
КОЛІЯ	Криворізький ліцей «КОЛІЯ»
КПЛ	Криворізький Покровський ліцей
МОН	Міністерство освіти і науки України
НДР	науково-дослідна робота
НМТ	національний мультипредметний тест
НУШ	Нова українська школа
ООН	Організація Об'єднаних Націй
ООП	особливі освітні потреби
ПЗ	програмне забезпечення
СКМ	система комп'ютерної математики
США	Сполучені Штати Америки
ТІ	технологічна інтеграція
ШІ	штучний інтелект

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні умови розвитку загальної середньої освіти України, зумовлені наслідками пандемії COVID-19 та воєнного стану, актуалізували проблему забезпечення доступності й якості загальної середньої освіти. Порушення стабільності традиційного очного навчання, вимушений перехід до дистанційного та змішаного форматів навчання, перебої з енергопостачанням, нестабільний доступ до мережі інтернет і поширення асинхронного режиму організації навчання суттєво ускладнили освітній процес. За таких умов особливого значення набуває пошук інноваційних підходів до організації навчання природничо-математичних предметів, здатних забезпечити його наочність, інтерактивність, дослідницьку спрямованість та доступність незалежно від формату навчання.

Трансформація загальної середньої освіти в Україні, зокрема впровадження Концепції Нової української школи (НУШ) та профільної старшої школи, передбачає формування творчої, відповідальної та компетентної особистості, здатної до навчання впродовж життя [473; 544]. У державних стандартах базової та профільної середньої освіти визначено ключові компетентності випускників, серед яких особливе місце посідає інформаційно-комунікаційна компетентність. Вона передбачає не лише впевнене та критичне використання цифрових технологій, а й уміння застосовувати їх у різних життєвих ситуаціях, забезпечуючи самостійність у здобутті нових знань і конструюванні власної освітньої траєкторії [405; 406]. Особливого значення ці завдання набувають в умовах варіативної профілізації навчання, що покладена в основу організації освітнього процесу в академічних ліцєях [457].

Разом з тим у сучасній шкільній практиці дедалі гостріше проявляється проблема освітніх втрат, особливо під час вивчення природничо-математичних предметів [431; 480; 570]. Засвоєння їхнього змісту потребує високого рівня наочності, залучення учнів до пошукової діяльності та набуття нових знань шляхом власних досліджень. Однак саме ці аспекти найчастіше залишаються нереалізованими через обмеженість матеріально-технічних ресурсів закладів

освіти й недостатню можливість доступу до лабораторного обладнання, що особливо відчутно у форматах дистанційного чи асинхронного навчання [570].

Відповідно до цілей Стратегії цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 року [560], перспективним напрямом розвитку освіти визначено створення інноваційних умов для поглибленого вивчення навчальних предметів та інтегрованих курсів математичної і природничої освітніх галузей, що передбачає системне оновлення матеріально-технічної бази закладів освіти. Проте саме лише технічне забезпечення не гарантує підвищення якості навчання без упровадження педагогічно доцільних технологій та методик їх використання.

Особливої актуальності це набуває у процесі навчання природничо-математичних предметів, де важливими є забезпечення високого рівня наочності, інтерактивної взаємодії учнів із навчальним матеріалом, можливості моделювання процесів і явищ, проведення експериментів та організація дослідницької діяльності. Традиційні цифрові засоби, хмарні сервіси та системи штучного інтелекту суттєво розширюють можливості підтримки освітнього процесу, забезпечуючи доступ до навчальних ресурсів, індивідуалізацію навчання, автоматизацію окремих видів діяльності та організацію комунікації між учасниками освітнього процесу. Проте, попри широкі можливості традиційних цифрових засобів, специфіка навчання природничо-математичних предметів зумовлює потребу в технологіях, що забезпечують високий рівень інтерактивної візуалізації, просторового моделювання, інтерактивної взаємодії з навчальними об'єктами та відтворення процесів і явищ, які складно реалізувати в умовах закладу загальної середньої освіти (ЗЗСО).

У зв'язку з цим перспективним напрямом розвитку сучасної освіти є використання імерсивних технологій, які поєднують можливості віртуальної, доповненої та змішаної реальностей, тривимірного моделювання й інтерактивної візуалізації. Їх застосування у навчанні природничо-математичних предметів дає змогу не лише модернізувати зміст і методику навчання, а й забезпечити активне маніпулювання цифровими моделями навчальних об'єктів, моделювання складних процесів і явищ, проведення віртуальних експериментів, підтримку

дослідницької діяльності та індивідуалізацію освітньої траєкторії учнів. Такі можливості сприяють переходу від репродуктивного засвоєння знань до їхнього практичного застосування, аналізу й дослідницької діяльності, а поєднання візуальних, просторових і діяльнісних форм взаємодії з навчальним матеріалом забезпечує глибше осмислення складних природничо-математичних понять і закономірностей. Зазначені можливості актуалізують потребу в науковому обґрунтуванні методичних підходів до використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів та розробленні цілісної методичної системи їх інтеграції в освітній процес академічних ліцеїв.

Теоретико-методологічні засади цифрової трансформації освіти й науки України, розвитку комп'ютерно орієнтованого та цифрового освітнього середовища розкрито у працях В. Бикова [379], О. Бутова [49], Т. Вакалюк [387], В. Кременя [434], С. Литвинової [448], М. Мар'єнко [460], М. Лещенко [334], О. Овчарук [334], К. Осадчої [454], І. Пінчук [486], С. Семерікова [274], О. Соколюк [389], О. Спіріна [557], М. Шишкіної [583], А. Яцишин [590].

Теоретичні та методологічні засади використання імерсивних технологій в українській освіті висвітлено у працях С. Литвинової [447; 450], Н. Сороко [556], О. Трифонової у співавторстві з І. Савицькою та ін. [290], Д. Федасюка та Т. Цимбалюк [578], Н. Яремчук [588], де окреслено можливості організації освітнього процесу в імерсивному середовищі, визначено дидактичні умови реалізації такого середовища й запропоновано методичні рекомендації.

Водночас праці Н. Сениці [589], Г. Скрипки [550], І. Удовиченко [573], О. Хмельницької [576] спрямовані на ширше обґрунтування цифрової трансформації освіти, у контексті якої імерсивні технології розглядаються як один із перспективних інструментів. Окрему увагу дослідники С. Литвинова [443; 446], Ю. Носенко [475; 476; 477], І. Сальник [546] у співавторстві з О. Фоменко, а також А. Сухих [562; 563] приділяють питанням організації імерсивного змішаного навчання в ЗЗСО.

У закордонних дослідженнях значну увагу приділено узагальненню досвіду використання імерсивних технологій в освіті. Зокрема, К. Страке (C. Stracke) та

співавтори [323] здійснили систематичний аналіз досліджень використання імерсивної віртуальної реальності у вищій освіті та визначили основні напрями її педагогічного застосування. З. Туран (Z. Turan), С. Карабей (S. Karabey) [339] проаналізували використання імерсивних технологій у дистанційному навчанні, узагальнивши їхні переваги, обмеження та перспективи впровадження. І. Вольгенант (I. Wohlgenannt), А. Сімонс (A. Simons) та С. Стігліц (S. Stieglitz) [354] узагальнили теоретичні засади використання віртуальної реальності та окреслили чинники, що впливають на ефективність її застосування. В. Янг (W. Young), С. Стеле (S. Stehle), Б. Волш (B. Walsh), Е. Тірі (E. Tiri) [366] дослідили вплив віртуальної реальності на формування знань і розуміння навчального матеріалу, а Дж. Ву (J. Wu), С. Юй (X. Yu), С. Гу (X. Gu) [356] на основі метааналізу підтвердили позитивний вплив імерсивної віртуальної реальності на результати навчання.

Питання використання імерсивних технологій у психолого-педагогічному контексті висвітлюються в працях українських учених. Зокрема, О. Гриб'юк [400; 401] досліджує психофізіологічні засади проектування комп'ютерно орієнтованих методичних систем дослідницького навчання та обґрунтовує педагогічно виважене використання імерсивних технологій у математичній освіті. С. Литвинова [449] аналізує застосування імерсивних технологій для формування емоційного інтелекту учнів, а разом із Н. Сороко [453] вивчає готовність учнів до використання технологій доповненої реальності в освітньому процесі. Н. Яремчук і Н. Сениця [589] досліджують педагогічні умови формування віртуального освітнього простору закладу вищої освіти. Ю. Носенко [475; 476] аналізує особливості використання імерсивних технологій у традиційному та змішаному навчанні в ЗЗСО, акцентуючи увагу на їхньому потенціалі щодо підтримки навчальної мотивації та організації змішаного навчання.

Серед закордонних дослідників зазначені питання розглядали Дж. Бакстер (G. Baxter) та Т. Гейні (T. Haine) [30], які підкреслюють значення імерсивних технологій для моделювання реальних умов діяльності та формування професійних умінь у безпечному освітньому середовищі. Дж. Санг (J. Sung) та

В. Хуанг (W. Huang) [325] аналізують мотиваційні аспекти цифрових освітніх інновацій і потенціал імерсивних технологій щодо підвищення залученості учнів до навчання. Теоретичні основи дослідження когнітивного навантаження, важливі для аналізу навчання в цифрових та імерсивних середовищах, закладено у працях Дж. Свеллер (J. Sweller) [329]. Б. Вітмер (B. Witmer), М. Сінгер (M. Singer) [353], Д. Вайбель (D. Weibel), Б. Віссмат (B. Wissmath) [346; 347] досліджували феномени присутності, занурення та стану потоку як чинники ефективності діяльності у віртуальних середовищах. С. Джексон (S. Jackson) і М. Чікцентмігаї (M. Csikszentmihalyi) [150] розкрили психологічні особливості стану потоку як умови високої залученості та результативності діяльності. Г. Табрю (H. Thabrew) та співавтори [331] вивчали можливості використання імерсивних технологій для підтримки соціальної взаємодії та психологічного благополуччя дітей і молоді, а Н. Партаракіс (N. Partarakis), Х. Забуліс (X. Zabulis) [250] аналізували питання доступності, адаптивності та персоналізації людиноцентричних імерсивних середовищ. Разом з тим психолого-педагогічні умови організації навчання в імерсивному середовищі потребують подальшого теоретичного обґрунтування та експериментальної перевірки.

Важливими для розвитку концептуальних засад інтеграції імерсивних технологій в освіту є праці С. Кірклі (S. Kirkley) та Дж. Кірклі (J. Kirkley) [165], у яких обґрунтовано використання змішаної реальності, симуляцій та ігрових середовищ для створення навчальних середовищ нового покоління. Історичний розвиток технологій розширеної реальності в освіті та тенденції їхнього поширення проаналізовано в дослідженнях Я. Сін (Y. Xing) та Ц. Лян (Z. Liang) [359], а еволюцію використання доповненої реальності в освіті узагальнено в роботі Дж. Гарсона (J. Garzón) [106], специфіку застосування в мобільному навчанні досліджено Д. Чатзопулосом (D. Chatzopoulos) та співавторами [58]. У систематичному огляді М. Кухайль (M. Kuhail) [176] досліджено характеристики імерсивного навчального досвіду та чинники, що визначають його якість, тоді як Н. Цзян (H. Jiang) [154] здійснено комплексний аналіз потенціалу VR/AR для STEM-навчання учнів 33CO. Е. Свиридова

(E. Sviridova) [328] розглядає імерсивні технології як інструмент підвищення академічної успішності та мотивації студентів, а С. Сілайяппан (S. Silaiyappan) [304] аналізує їхній потенціал у підготовці майбутніх учителів.

Питання проєктування та моделювання імерсивних середовищ навчання посідають важливе місце в дослідженнях останніх років. У закордонній науці найбільш відомими є такі моделі імерсивних середовищ: когнітивно-афективна модель (Г. Макранскі (G. Makransky) і Г. Петерсена (G. Petersen) [203; 204]) та дослідницька модель імерсивного навчання Дж. Мак-Говіна (G. McGowin) [212; 213], що пояснюють механізми навчання у віртуальній реальності на основі принципів командного навчання та втіленого пізнання. У межах моделі взаємодії технологічних, педагогічних і предметних знань А. Серни (A. Serna) [298] доведено, що збалансоване використання імерсивних технологій у процесі навчання з урахуванням навчальних цілей та педагогічної логіки суттєво покращує результати навчання та зменшує ймовірність їх фрагментарного застосування.

В українських наукових працях увага зосереджена на принципах і практиках побудови імерсивного середовища (М. Давидюк, О. Пащенко [403]), концепції імерсивного синтетичного простору (Ю. Богачков, П. Ухань [382]), а також на теоретичних засадах розвитку синтетичних навчальних середовищ (О. Пінчук, С. Литвинова, О. Буров [486]) та інтеграції VR/AR у сучасні освітні практики (О. Соколюк [552; 553; 554; 555]). У цьому контексті І. Сальник [545] розглядає взаємодію реального та віртуального компонентів навчального середовища, обґрунтовуючи їх як взаємодоповнювальні складники освітнього процесу. Водночас більшість досліджень зосереджена на загальнотеоретичних і методологічних аспектах, тоді як питання використання імерсивного середовища у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв залишається недостатньо вивченим.

Питання методики та методології застосування імерсивних технологій у процесі навчання розглянуто в роботах В. Босої [383], Ю. Бохана та Т. Форостовської [385], Ю. Ботузової [384], В. Гнатюка [393], Н. Ількевич [418],

О. Кузьмінської у співавторстві із С. Семеріковим та іншими [296], Т. Лещенко [439], Д. Мацокіна та І. Пахомової [462], О. Потапчук та інших [263], О. Слободяник [389], Ю. Шафороста [580], Д. Шепелєва [582]. Попри наявність досліджень, присвячених проєктуванню цифрових і хмароорієнтованих методичних систем (Т. Вакалюк [387], М. Мар'єнко [460]), а також окремим аспектам використання імерсивних технологій у навчанні, питання розроблення цілісної методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв залишається недостатньо дослідженим.

Крім того, у практиці ЗЗСО використання імерсивних технологій здебільшого має фрагментарний характер і часто обмежується застосуванням окремих цифрових ресурсів або демонстраційних матеріалів [384; 479; 577]. Відсутність науково обґрунтованої методичної системи їх інтеграції в освітній процес ускладнює ефективне використання потенціалу імерсивних технологій та не забезпечує повною мірою реалізацію їхніх дидактичних можливостей.

Тому **проблема** дослідження полягає у відсутності цілісної методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях, яка б забезпечувала не лише підвищення якості освіти та розвиток ключових і предметних компетентностей учнів, а й підтримку ефективної організації освітнього процесу в умовах дистанційного, змішаного та асинхронного навчання, обмеженого доступу до матеріально-технічних ресурсів і необхідності подолання освітніх втрат, відповідаючи вимогам НУШ та викликам цифрової трансформації освіти.

Аналіз наукових досліджень теоретичного й практичного характеру показав, що існують **суперечності** між:

- дидактичним потенціалом імерсивних технологій для навчання природничо-математичних предметів та фрагментарністю і несистемністю їхнього використання в практиці академічних ліцеїв;

- потребою інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів та недостатньою розробленістю теоретико-

методологічних засад їхнього педагогічно доцільного використання;

– потребами профільного навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцєях у системному використанні імерсивних технологій та недостатньою розробленістю цілісної методичної системи використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцєїв;

– потребою педагогічної практики в науково підтвердженій ефективності використання імерсивних технологій та недостатньою експериментальною перевіркою методичних рішень щодо їхнього системного застосування у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцєїв.

Отже, актуальність проблеми та необхідність пошуку теоретико-методичних шляхів подолання виявлених суперечностей зумовили вибір теми дослідження: ***«Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцєїв».***

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрям дослідження ґрунтується на результатах науково-дослідної роботи Інституту цифровізації освіти НАПН України як складової колективних наукових досліджень, виконавцем яких була автор: «Проектування навчального середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальностей в закладах загальної середньої освіти» (ДР № 0121U107689, 2021-2023 рр.), «Система використання імерсивних технологій вчителями у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти» (ДР № 0124U000648, 2024-2025 рр.) та «Комплексне наукове дослідження використання генеративного штучного інтелекту на різних рівнях освіти для удосконалення педагогічних та управлінських практик» (2025-2026 рр.). Тему затверджено на засіданні Вченої ради Інституту цифровізації освіти НАПН України 29 жовтня 2024 року (протокол № 19).

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити ефективність методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнями

академічних ліцеїв.

Визначена мета досягається шляхом вирішення таких **завдань**:

1. Здійснити аналіз понятійно-категоріального апарату дослідження, розкрити сутність та класифікацію імерсивних технологій як педагогічного засобу навчання природничо-математичних предметів, визначити стан, переваги й обмеження їх упровадження у вітчизняній та закордонній освітній практиці.

2. Обґрунтувати дидактичні, технологічні та організаційно-педагогічні принципи, методичні підходи та психолого-педагогічні умови ефективного використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів.

3. Розробити структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів та обґрунтувати процедурну, інструктивно-діяльнісну та функціонально-мотиваційну моделі організації навчання учнів академічних ліцеїв із використанням імерсивного середовища.

4. Обґрунтувати критерії та розробити процедуру добору імерсивних освітніх ресурсів для навчання природничо-математичних предметів в академічному ліцеї.

5. Розробити модель та методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв.

6. Здійснити експериментальну перевірку ефективності розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів, оцінити результати навчальних досягнень та рівень розвитку просторового мислення учнів академічних ліцеїв і розробити методичні рекомендації для вчителів.

Об'єкт дослідження – процес навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв.

Предмет дослідження – методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв.

Для розв'язання поставлених завдань було використано низку методів: *теоретичні* методи (аналіз, синтез, порівняння, систематизація, класифікація, узагальнення, інтерпретація, моделювання) – для визначення стану розробленості проблеми, обґрунтування теоретичних засад дослідження, уточнення понятійного апарату, розроблення структурно-компонентної моделі імерсивного середовища навчання, моделей організації навчання та методичної системи використання імерсивних технологій; *емпіричні* методи (анкетування, опитування, педагогічне спостереження, аналіз педагогічного досвіду) – для вивчення стану використання імерсивних технологій у ЗЗСО, визначення готовності педагогів до їх використання та оцінювання особливостей їх упровадження; *експериментальні* методи – для перевірки ефективності методичної системи використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв; методи математичної статистики – для кількісного опрацювання, аналізу й інтерпретації результатів педагогічного експерименту та перевірки статистичної значущості отриманих результатів за допомогою критерію кутового перетворення Фішера.

Цільова експериментальна група – учні академічних ліцеїв, які вивчають природничо-математичні предмети.

Наукова новизна та теоретичне значення результатів дослідження полягають у тому, що *вперше*:

- запропоновано авторське трактування понять «імерсивні технології навчання», «імерсивне середовище навчання»; здійснено класифікацію імерсивних освітніх ресурсів за педагогічним потенціалом та їхню систематизацію за функціональним призначенням у структурі методичної системи, що забезпечує перехід від розгляду імерсивних технологій як технологічного інструментарію до їх використання як педагогічно орієнтованих освітніх ресурсів;

- визначено та обґрунтовано систему психолого-педагогічних умов організації навчання природничо-математичних предметів в імерсивному середовищі, що забезпечують реалізацію інноваційно-трансформаційної

концептуальної рамки та ефективне функціонування методичної системи використання імерсивних технологій;

– теоретично обґрунтовано та розроблено модель методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв; структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів; моделі організації навчання на основі інтеграції імерсивного середовища в процес навчання природничо-математичних предметів: інструктивно-діяльнісну, процедурну та функціонально-мотиваційну;

– обґрунтовано цільово-дидактичний, когнітивно-діяльнісний, психолого-мотиваційний, технологічно-імерсивний, організаційно-методичний і безпеково-етичний критерії добору імерсивних освітніх ресурсів, визначено систему показників їх оцінювання та розроблено процедуру педагогічно обґрунтованого добору для організації навчання природничо-математичних предметів;

– *уточнено* етапи становлення педагогічних технологій імерсивного навчання та методологічні критерії їхньої ефективності; зміст понять «імерсивне навчання», «технологічна інтеграція», «інтеграція імерсивних технологій»; характеристики імерсивного середовища навчання; методичні підходи до організації процесу навчання з використанням імерсивних технологій, що сприяють формуванню ключових і предметних компетентностей;

– *набули подальшого розвитку* теорія та методика застосування апаратних і програмних засобів інформатизації освіти: системний аналіз процесів упровадження інформаційно-комунікаційних технологій в освіту; теоретико-методичні засади створення й розвитку комп'ютерно орієнтованого навчального середовища в частині, що стосується імерсивних середовищ навчання.

Практичне значення результатів дослідження полягає в тому, що:

розроблено: методику використання імерсивних технологій навчання геометрії, методику використання імерсивних технологій навчання алгебри, методику використання імерсивних технологій навчання фізики, методику використання імерсивних технологій навчання хімії, методику використання

імерсивних технологій навчання біології та методику використання імерсивних технологій навчання географії; навчально-методичне забезпечення для вчителів природничо-математичних предметів «Імерсивні платформи та застосунки для організації навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв» (<https://surl.li/oesaqq>); методичні рекомендації у співавторстві «Використання імерсивних технологій вчителями у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти» (<https://surl.li/chzohz>);

здійснено добір імерсивних освітніх ресурсів, які доцільно використовувати для організації процесу навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв;

створено навчально-методичний ресурс «Імерсивні сервіси для допомоги вчителям природничо-математичних предметів», реалізований у формі тематичного блогу (<https://surl.li/sztall>).

Результати дослідження можуть бути використані: у закладах загальної середньої освіти під час організації навчання природничо-математичних предметів із використанням імерсивних технологій; у закладах вищої, передвищої та післядипломної педагогічної освіти під час підготовки, перепідготовки й підвищення кваліфікації педагогічних працівників; у діяльності наукових установ та центрів післядипломної педагогічної освіти при розробленні методичних рекомендацій, освітніх програм і навчально-методичного забезпечення; у подальших наукових дослідженнях, присвячених розвитку методичних систем навчання та впровадженню імерсивних технологій в освіті.

Упровадження результатів дослідження в педагогічну практику підтверджується довідками (додаток Ю): КЗО «Криворізький ліцей «КОЛІЯ» ДОР» (довідка № 63 від 07.04.2026 р.), Криворізький Покровський ліцей КМР (довідка № 03/63 від 09.04.2026 р.), Криворізький природничо-науковий ліцей (довідка № 206 від 06.04.2026 р.), Криворізький ліцей № 129 КМР (довідка № 98 від 14.04.2026 р.), Криворізький ліцей № 77 КМР (довідка № 258 від 22.05.2026 р.), Криворізький ліцей № 71 КМР (довідка № 43 від 07.05.2026 р.), Криворізького державного педагогічного університету (довідка № 08-265/3 від

12.05.2026 р.), Комунальний заклад «Кіровоградський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти імені Василя Сухомлинського» (довідка № 283/08-09 від 12.05.2026 р.), Криворізький фаховий коледж Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут»» (довідка № 530/д від 21.05.2026 р.).

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача конкретизовано таким чином: у методичному посібнику [420] підготовлено розділ 4.2; у методичних рекомендаціях [389] – розділ 4.1; в аналітичних матеріалах [388] розроблено рекомендації для вчителів математики щодо доцільності використання штучного інтелекту в процесі організації навчання; у бібліографічному покажчику [419] виконано добір наукових статей з проблематики дослідження. У статтях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: розроблення концепції та логіки проведення дослідження [167; 530; 531; 532; 533; 534; 536]; обґрунтування та проектування моделей середовища навчання учнів [537; 540], а також визначення змістового компонента імерсивного навчання [398]; виявлення особливостей імерсивного змішаного навчання [377; 541] та імерсивного мобільного навчання в закладах освіти [193; 194]; підготовка методичних рекомендацій для вчителів щодо використання імерсивних технологій у процесі вивчення інтегрованих природничих предметів [455]. Крім того, здобувачеві належать: філософський аналіз феномену імерсивності [274]; обґрунтування концептуальних засад організації мобільного навчання в закладах освіти [168; 277]; аналіз стану розробленості проблеми організації навчання в ЗЗСО з використанням технологій штучного інтелекту та хмарних сервісів [166; 195; 451; 454]; розроблення концепції організації навчального середовища учня на основі інноваційних технологій [297]; узагальнення та систематизація педагогічного досвіду використання ІКТ у процесі навчання математики [495; 496; 497; 538; 539]; визначення особливостей інтеграції мобільних сервісів у навчальний процес [543]; обґрунтування концепції конструювання знань учнями за допомогою застосунків доповненої реальності [275; 276]. Автору належать визначення понять

«імерсивне середовище навчання», «імерсивні технології навчання».

Наукові положення та результати кандидатської дисертації «Мобільні інформаційно-комунікаційні технології навчання вищої математики студентів вищих технічних навчальних закладів» у докторській дисертації не використані.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були представлені на низці науково-практичних конференцій різного рівня: *міжнародних* – III Міжнародна наукова конференція «Штучний інтелект у науці та освіті (AISE 2026)» (м. Київ, 2026); III Міжнародна науково-практична конференція «Цифрова компетентність вчителя 2026: стратегії та практики навчання зі штучним інтелектом» (м. Київ, 2026); Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні трансформації педагогічної освіти: проблеми теорії і практики» (Мелітополь-Запоріжжя, 2026); XX Міжнародна наукова конференція імені академіка Михайла Кравчука (м. Київ, 2025); Міжнародна науково-практична конференція «Імерсивні технології в освіті» (м. Київ, 2024, 2025); II Міжнародна науково-практична конференція «Цифрова компетентність вчителя 2025: формуючи майбутнє освіти» (м. Київ, 2025, 2026); III Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті та науці» (м. Запоріжжя, 2023); IV Міжнародна науково-практична конференція «Авіація, промисловість, суспільство» (м. Кременчук, 2023); Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (м. Черкаси, 2020); Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, 2019); *всеукраїнських* – Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми математики, економіки та менеджменту» (м. Кропивницький, 2026); IV Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Сучасний освітній простір – досвід, пошук, результат» (м. Суми, 2025); звітна науково-практична конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України (м. Київ, 2024–2026); II Всеукраїнська науково-практична конференція «Теорія і практика використання інформаційних технологій в умовах цифрової трансформації освіти» (м. Київ, 2024); V Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні інформаційні

технології в освіті і науці» (м. Умань, 2023); Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фундаментальні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів ЗВО і молодих учених: творчий розвиток ідей» (м. Харків, 2021, 2023); «Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти» (м. Харків, 2020); Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Наукова діяльність як шлях формування професійних компетентностей майбутнього фахівця» (м. Суми, 2016); *регіональних* – «Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти» (м. Кривий Ріг, 2022, 2023); обласний науково-методичний семінар для вчителів «Інноваційні технології навчання математики» (м. Дніпро, 2022); міський семінар школи педагогічного зростання вчителів математики (м. Кривий Ріг, 2021).

Публікації. Основні результати дослідження відображено у 67 наукових і науково-методичних працях авторки (з них 32 – одноосібні). Із них 10 праць індексуються в наукометричних базах Web of Science і Scopus; 19 статей опубліковано в наукових фахових виданнях України; створено 2 методичні рекомендації (1 – у співавторстві); у співавторстві підготовлено 1 методичний посібник, 1 бібліографічний покажчик і 1 збірник аналітичних матеріалів; представлено 10 статей в інших наукових виданнях України та 24 тези доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів і висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел (590 найменувань, серед яких 369 – іноземними мовами), 22 додатків на 105 сторінках. Робота містить 46 таблиць і 67 рисунків. Загальний обсяг дисертації – 575 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ УЧНІВ АКАДЕМІЧНИХ ЛІЦЕЇВ

1.1. Понятійно-категоріальний апарат дослідження: визначення та класифікація імерсивних технологій

Феномен занурення має значно давніше походження, ніж сучасні цифрові технології, та пов'язаний із прагненням людини до глибокого залучення в певну діяльність або середовище. Різноманітні засоби відтворення та моделювання реальності історично використовувалися для посилення ефекту присутності та концентрації уваги людини. У сучасній науці такий стан описують поняттям занурення (immersion), яке розглядають як фундаментальний стан людської свідомості, що виникає внаслідок бажання взаємодіяти з певним стимулом, який привертає увагу та викликає інтерес [47].

Розвиток цифрових технологій створив нові можливості для формування такого стану шляхом поєднання реальних і цифрових об'єктів у єдиному просторі взаємодії. Водночас не кожна взаємодія людини з цифровим середовищем є імерсивною. Імерсивного характеру вона набуває тоді, коли цифрове середовище забезпечує високий рівень сенсорного, когнітивного та діяльнісного залучення користувача, створюючи відчуття присутності та безпосередньої участі в подіях, що відбуваються в цьому середовищі. Таке залучення може забезпечуватися через поєднання візуальних, аудіальних, тактильних та інших сенсорних каналів сприйняття, також завдяки можливості активної взаємодії користувача з цифровими об'єктами [436].

1.1.1. Філософське та історичне трактування імерсивності. Слово «immersive» в англomовній літературі вживається переважно як складник словосполучень, у яких розкриваються такі його семантичні значення: 1) «to immerse yourself in something» – занурюватися у щось; 2) «to immerse oneself» чи «to be immersed» – втягувати себе в якусь дію; 3) «immersive experience» –

імерсивний досвід, тобто досвід, який людина отримує через залучення до якоїсь дії; 4) «study format» – метод вивчення чогось через повне занурення [436].

Отже, під «імерсією» розуміють власне стан занурення, що відображає суб'єктивний досвід в інтерактивному середовищі, а термін «імерсивний» розкриває, як відбувається залучення всіх почуттів людини та формується особливий досвід в результаті такого занурення, тобто психологічний стан, що є результатом реакції на подразник [353; 436].

Попри те, що в академічних виданнях словників іншомовних слів української мови не зафіксовано лексем імерсія/імерсивність, у наукових джерелах вони здебільшого використовуються для позначення технологій, що передбачають взаємодію людини з простором, відомостями чи змістом, здатних стирати межі між реальним та вигаданим (штучно створеним) світами й забезпечувати можливість психологічного чи фізичного занурення у віртуальну, доповнену чи змішану реальність [265; 439].

Надалі в роботі термін «імерсивний» будемо використовувати для позначення середовища або технології, які забезпечують відчуття присутності та високий рівень залученості користувача через використання одного або кількох сенсорних каналів сприйняття та можливості активної взаємодії з цифровими матеріалами. «Імерсія» розглядатиметься як суб'єктивний стан занурення людини в таке середовище, що охоплює когнітивні, сенсорні та емоційні компоненти взаємодії.

Людина прагнула досягти стану емоційного занурення ще з давніх-давен. Починаючи з наскельного живопису, вона створювала візуальні наративи, щоб переживати події та емоції, відмінні від буденного досвіду. Ці зображення були не просто декоративними елементами, а засобами, що дозволяли зануритися в інші світи та історії [259]. Надалі цілеспрямоване формування занурення отримало розвиток у літературі, де докладний опис подій та персонажів надавав читачеві можливість уявно інтегруватися у твір і переживати досвід, характерний для героїв. Схожі ефекти спостерігаються в театральному мистецтві, де постановка п'єс забезпечує короткочасне сенсорно-емоційне занурення, а також у живописі

та скульптурі, які завдяки реалізму образів стимулюють сприйняття простору та емоційне включення глядача. Таким чином, різні види мистецтва історично слугували засобами формування ранніх форм імерсивності.

У 1435 році художник, архітектор та теоретик лінійної перспективи Леон-Баттіста Альберті (Leon Battista Alberti) у трактаті «Про живопис» вперше науково обґрунтував принципи лінійної перспективи, що дозволило створювати реалістичні зображення тривимірного простору на двовимірній поверхні [41; 312]. На основі його концепції у XVIII столітті почали розробляти діорами та панорами, де плоске зображення на дальньому плані поєднувалося з об'ємними елементами на передньому плані, що можна вважати прообразом сучасних технологій 360°. Першу панораму у вигляді круглої картини без меж Роберт Баркер (Robert Barker) створив у 1788 році. Патент на цей винахід він отримав у 1787 році [184].

На початку XX століття значний внесок у розвиток панорамних технологій зробили брати Люм'єр завдяки системі Photorama. Паралельно Рауль Грімуен-Сансон (Raoul Grimoin-Sanson) у 1897 році запатентував систему Cinéorama, яка за допомогою десяти проєкторів відтворювала 360°-рухоме зображення, моделюючи подорож повітряною кулею [333]. Важливим технічним винаходом, що забезпечував об'ємність зображення та підтримував ефект імерсивності, стало винайдення стереоскопа у 1838 році. З 1930-х років стереоскопічні об'ємні ілюстрації почали застосовуватися у навчальних дисциплінах, включно з математикою, фізикою, медициною та мистецтвом [468].

Отже, імерсивність у розумінні повного занурення вперше проявилася в художньому та театральному мистецтвах, а згодом знайшла розвиток у фотографії, кінематографії, музиці, відеоіграх та технологіях віртуальної реальності (рис. 1.1).

Аналіз наукових джерел показав, що імерсивність є багатогранним поняттям, яке досліджується в різних науках. У літературі вона реалізується через наративні техніки, у віртуальній реальності – через технологічні інновації, в освіті – через інтерактивні середовища навчання, а в культурних дослідженнях – через вплив на соціальні та культурні структури. Кожна з цих галузей робить

унікальний внесок у розуміння імерсивності, що створює передумови для ширшого її застосування у наукових та практичних дослідженнях.

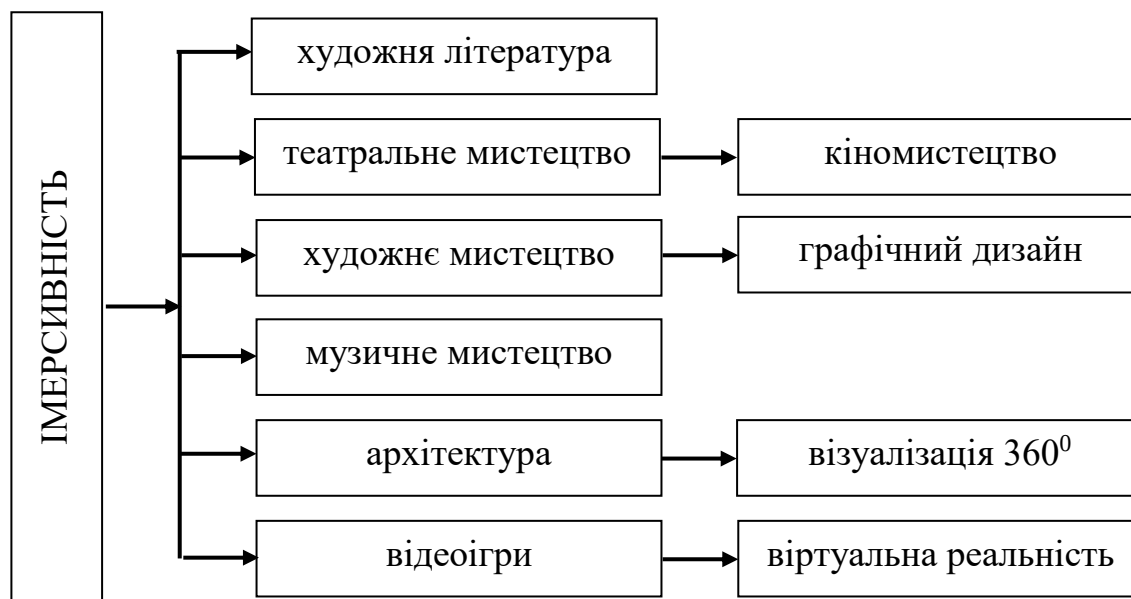


Рис. 1.1. Формування імерсивності за різними напрямками

Розглянемо декілька підходів до тлумачення поняття імерсивності відповідно до наукових джерел та визначимо її складники.

Один із підходів у закордонних дослідженнях трактує імерсивність як стан глибокого психологічного залучення, при якому когнітивні процеси людини, незалежно від наявності сенсорної стимуляції, призводять до зміни фокуса уваги та формують відчуття відсторонення від усвідомленого фізичного світу [7].

Внаслідок такого підходу виокремлюють два аспекти імерсивності [7]:

- 1) психологічний стан людини – залучення, заглиблення, захоплення;
- 2) об'єктивна властивість технології – здатність створювати ефект занурення користувача у штучно сформоване середовище (рис. 1.2).

Більш розгорнуте узагальнення підходів до розуміння імерсивності подано в роботі [232]. Автори виокремлюють чотири основні інтерпретації:

1) *імерсивність як властивість системи* – технічні характеристики апаратного та програмного забезпечення, що створюють умови для ефекту занурення;

2) *імерсивність як реакція сприйняття* – суб'єктивний досвід користувача,

який залежить від його індивідуальних особливостей, очікувань та попереднього досвіду;

3) *імерсивність як відповідь на зміст* – роль наративу, персонажів і сюжетних механізмів, які завдяки своїй цілісності формують ефект залученості;

4) *імерсивність як відповідь на виклики* – активна взаємодія користувача із завданнями в середовищі, що сприяє глибшому зануренню.



Рис. 1.2. Суб'єктивний та об'єктивний аспекти імерсивності за [7]

При цьому дослідники [232] підкреслюють таке: якщо перший підхід стосується об'єктивних характеристик системи, то інші інтерпретації описують суб'єктивне ставлення користувача, його досвід зосередженої уваги та інтенсивного залучення. У такому контексті М. Слейтер (M. Slater) [307] пропонує чітке розмежування понять: імерсивність (immersion) розглядати як об'єктивну властивість технології, а присутність (presence) – як суб'єктивну реакцію користувача на охоплення технологією.

З іншого боку, низка дослідників [353] підкреслює, що імерсивність може трактуватися насамперед як психологічний стан, що характеризується відчуттям

власної присутності у змодельованому середовищі та безперервною взаємодією з ним. Відповідно до такої думки, на суб'єктивний досвід імерсивності впливають три фактори:

- 1) ступінь ізоляції користувача від зовнішнього фізичного середовища;
- 2) відчуття самовключення у змодельоване середовище;
- 3) здатність інтуїтивно взаємодіяти з віртуальним світом.

Загалом імерсивність можна визначити як здатність системи викликати в користувача переконливе відчуття присутності у штучно створеному середовищі. Такий ефект досягається внаслідок комплексного впливу на різні сенсорні канали та когнітивні процеси користувача і може проявлятися у кількох вимірах [232]:

- наративна імерсивність (часовий та просторовий складники оповіді, які створюють ефект включеності в сюжет);
- сенсорно-емоційна імерсивність, що охоплює як візуально-тактильний вплив, так і емоційний відгук;
- стратегічно-тактична імерсивність, пов'язана з виконанням завдань і розв'язанням проблем у віртуальному світі.

Схожій класифікації дотримується Е. Адамс (E. Adams) [5], який виокремив три основні типи занурення на основі дослідження ігор: 1) тактичне – позитивний досвід користувача, що виникає завдяки швидкому виконанню завдань із миттєвим і зрозумілим зворотним зв'язком; 2) стратегічне – глибинне занурення у процес розв'язання складних завдань, що потребує максимальної концентрації та аналітичних здібностей; 3) оповідне (наративне) – відчуття участі в розповіді, що сприяє емоційному співпереживанню та розвитку уяви.

Дослідники [43], спираючись на класифікацію Е. Адамса, запропонували власне формулювання типів занурення: 1) сенсорно-моторне, що відповідає тактичному зануренню й базується на точності дій користувача та швидкості зворотного зв'язку; 2) когнітивне – аналог стратегічного занурення, яке потребує аналітичних зусиль і зосередженості при розв'язанні завдань; 3) емоційне, що відповідає оповідному зануренню і пов'язане з емпатією та переживанням

сюжетних подій. Додатково автори виокремлюють ще одну категорію – просторове занурення, яке виникає тоді, коли користувач настільки ототожнює себе з віртуальним середовищем, що сприймає його як реальність.

Відповідно до розглянутих підходів і описаних типів, можна виокремити основні складники поняття імерсивності (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Складники категорії поняття «імерсивність»

<i>Категорія імерсивності</i>	<i>форма</i>	<i>зміст</i>	<i>позиція користувача</i>	<i>додаткові характеристики</i>
Наративна [5], [232]	текст, аудіо, відео	сюжет, персонажі, атмосфера	активна або пасивна	емоційна залученість, ідентифікація з персонажами.
Часова [232]	графіка, відео	хронологія подій, динаміка розвитку сюжету	активна	передбачення, нетерпіння, задоволення від розв'язки.
Просторова [43]	3D-графіка, VR, AR	розуміння простору, орієнтація, взаємодія з об'єктами	активна	сильне відчуття присутності, задоволення від дослідження середовища.
Емоційна [5], [43]	медіа різних типів, музика, мистецтво	емоції, емпатія, фізіологічні реакції	активна або пасивна	інтенсивне емоційне включення, емпатія.
Стратегічно-тактична [5], [43]	ігрові системи, інтерактивні інтерфейси	завдання, розв'язки, стратегії, побудовані на раніше набутому досвіді	активна	концентрація, планування, оптимізація ситуації, досягнення цілей.

Описані вище категорії імерсивності не функціонують ізольовано. Психологічний стан занурення передбачає їхнє взаємопереплетіння, коли користувач одночасно переживає кілька форм імерсивного досвіду. Чим більша кількість таких форм активізується, тим інтенсивнішим та багатограннішим стає досвід занурення.

На рисунку 1.3 подано діаграму Венна, яка відображає взаємозв'язок основних категорій імерсивності та можливі варіанти їх поєднання в процесі формування досвіду занурення. Ліве коло репрезентує наративну імерсивність, що охоплює часовий і просторовий складники оповіді та забезпечує включення користувача в сюжетний контекст. Праве коло відображає емоційну імерсивність, пов'язану з емоційним відгуком, емпатією та переживанням подій. Нижнє коло характеризує стратегічно-тактичну імерсивність, яка формується під час виконання завдань, прийняття рішень і розв'язання проблемних ситуацій. Перетини кіл демонструють інтеграцію різних категорій імерсивності, що зумовлює появу нових якісних характеристик досвіду занурення.



Рис. 1.3. Поєднання категорій імерсивності

1. Поєднання наративної та емоційної категорій занурення підсилює емоційне сприйняття сюжету, сприяє емпатії до персонажів та глибшому переживанню подій.

2. Поєднання наративної та стратегічно-тактичної категорій забезпечує глибше когнітивне опрацювання змісту, сприяє аналізу ситуацій, прогнозуванню розвитку подій та прийняттю рішень.

3. Поєднання емоційної та стратегічно-тактичної категорій стимулює мотивацію до діяльності, посилює відчуття особистої відповідальності за результати взаємодії та формує відчуття контролю над перебігом подій.

4. Центральна зона перетину всіх трьох множин відображає комплексну імерсивність, за якої одночасно поєднуються наративні, емоційні та стратегічно-тактичні компоненти. Саме така інтеграція забезпечує найбільш цілісний і глибокий досвід занурення користувача в імерсивне середовище.

Враховуючи описані категорії та особливості прояву імерсивності, можна стверджувати, що найсильніший ефект занурення виникає за умови створення штучного середовища, яке комплексно впливає на всі сенсорні канали людини й забезпечує ефект усвідомленого сприйняття змодельованої дійсності як «реальної». Для створення такого середовища необхідні відповідні технологічні складники, які отримали назву «*імерсивні технології*».

1.1.2. *Імерсивні технології*. Імерсивні технології – це технології, що забезпечують у користувача відчуття глибокого занурення у цифрове середовище та створюють ефект присутності в ньому [182]. Відповідно до тлумачення робочого комітету ISO, імерсивні технології охоплюють інструменти та рішення, що забезпечують інтерактивну взаємодію та занурення користувача завдяки інтеграції віртуальних і фізичних елементів у єдиний досвід [149].

До імерсивних технологій відносять віртуальну, доповнену, змішану реальності та концептуальні середовища типу метавсесвіту. Також до них належать звужені технології, що забезпечують специфічні елементи занурення: 360°-відео, голограми, телеприсутність (Telepresence) та тактильні технології (Haptics) [477].

Під терміном «*віртуальна реальність*» (virtual reality – VR) зазвичай розуміють технологію занурення користувача у комп'ютерно створене середовище. Такий досвід передбачає часткове відокремлення від фізичної

реальності завдяки використанню спеціалізованого обладнання (шоломів, окулярів, контролерів), яке забезпечує насамперед візуально-аудіальне відтворення, а також, за можливості, тактильні й інші сенсорні ефекти [390]. Таке визначення стосується комп'ютерної VR і відмежовує її від ширших філософських концепцій віртуальності.

До початку 1960-х років концепцію імерсивності розглядали переважно з філософського та мистецького поглядів. Перші приклади створення ілюзії присутності можна знайти ще у XV столітті в роботах італійського інженера Джованні Фонтани (Giovanni Fontana), який експериментував із механічними й оптичними пристроями для проєкції зображень. Такі розробки розглядають як ранні передумови формування імерсивних середовищ, хоча сучасні VR-системи з'явилися значно пізніше [359].

Поняття «віртуальність» має давнє філософське походження, проте у XVII столітті воно набуло активного використання в класичній механіці для позначення «віртуальних» величин та уявних експериментів, обмежених законами об'єктивної реальності. Протягом тривалого часу цей термін зберігав розмитість у семантичному трактуванні: з одного боку, його вживали як синонім уявного, умовного, удаваного чи симулятивного, а з іншого – як позначення дійсного, актуального й візуально представленого [465].

Концепція віртуальної реальності бере початок у 1930-х роках, коли французький драматург-авангардист Антонен Арто (Antonin Artaud) у праці «Театр і його двійник» (1938 р.) використав поняття «*réalité virtuelle*» для позначення поєднання ілюзії та дійсності. Водночас перший художній опис технологічного пристрою, схожого на сучасні VR-окуляри, здійснив американський письменник Стенлі Вайнбаум (Stanley Weinbaum) у науково-фантастичному оповіданні «Окуляри Пігмаліона» [130; 576].

До перших пристроїв, які можна вважати попередниками віртуальної реальності, відносять авіасимулятор Link Trainer, створений у 1929 році Е. Лінком (E. Link) для підготовки пілотів-початківців [78]. Подальший розвиток ідеї занурення у віртуальне середовище пов'язаний із розробками Мортона Гейліга

(Morton Heilig), який у 1957 році створив, а в 1962 році запатентував перший некомп'ютеризований пристрій VR Sensorama, що надавав можливість поєднувати стереоскопічне 3D-зображення, звук, рух повітря, вібрації та запахи, закладаючи підґрунтя для подальшого розвитку імерсивних технологій [78; 341]. Раніше, у 1960 році, Гейліг отримав патент на маску Telesphere – перший у світі HMD-пристрій, що забезпечував широке поле зору, стереозвук та елементи тактильного досвіду [78].

На початку 1960-х років починають з'являтися перші розробки у сфері цифрового мистецтва, 3D-анімації та тактильної взаємодії, описані в роботах А. Нолла (A. Noll) [233; 234; 235; 236]. Важливим кроком став створений А. Сазерлендом (I. Sutherland) у 1963 році Sketchpad – перша інтерактивна комп'ютерна програма з графічним інтерфейсом, яка надавала користувачеві можливість малювати прямо на екрані за допомогою світлового пера.

Перший дисплей, що надягався на голову (HMD), був розроблений у 1961 році інженерами компанії Philco Corporation та отримав назву «Headsight». Цей новаторський пристрій, створений для потреб військових, зокрема для тренувань пілотів гелікоптерів, дозволяв їм бачити навколишнє середовище навіть у нічних умовах. Попри громіздкість та обмежений функціонал, Headsight став важливим кроком у розвитку технологій віртуальної реальності та прототипом сучасних HMD [88].

У 1968 році А. Сазерленд створив першу інтерактивну систему з елементами віртуальної реальності – «Дамоклів меч». Пристрій складався з дисплея на голову, під'єданого до комп'ютера, і надавав користувачеві можливість зануритися у тривимірне середовище [78]. Ідею віртуального середовища А. Сазерленд описав у 1965 році в роботі «The Ultimate Display», в якій подав віртуальну реальність як комп'ютерне середовище, здатне відтворювати фізичну реальність і надавати користувачу можливість взаємодіяти з нею в реальному часі [326; 327]. Сам термін «віртуальна реальність» уперше з'явився у відкритій публікації Якова Гарба (Yaakov Garb) у 1987 році, де автор описав її як можливість створювати нові світи за допомогою символів і

візуальних моделей, не обмежуючись суто комп'ютерними технологіями [104; 287].

Попри поодинокі згадки, термін «віртуальна реальність» набув широкого вжитку лише у 1980-х роках завдяки Дж. Лан'єру (J. Lanier), засновнику компанії VPL Research. Саме він закріпив у науково-технічному обігу розуміння VR як інтерактивного тривимірного середовища, де користувач може відчувати просторову присутність завдяки спеціалізованому спорядженню – окулярам і рукавичкам [78; 287].

Слід зазначити, що до середини 80-х років XX століття концепція віртуальної реальності переважно розглядалася в контексті мистецтвознавства. Так, у 1970-х роках А. Маркус (A. Marcus) досліджував можливості використання комп'ютерної графіки для створення перших цифрових художніх просторів. Ці експерименти показали, що віртуальна реальність – це не лише технологія, а й середовище, здатне визначати нові культурні та естетичні форми, як це свого часу зробили кіно та телебачення. Такі творчі пошуки сприяли осмисленню VR як нового медіа, яке оцінюватиметься як з технічного, так і з естетичного боку [172].

У 1990-х роках відбулося значне розширення досліджень у сфері віртуальної реальності як в академічних, так і в комерційних інституціях. У 1991 році компанія Virtuality Group зробила перший значний крок до комерціалізації, представивши ігрові автомати, що використовували VR-шоломи та пропонували захопливий багатокористувацький досвід [41].

Водночас Р. Пауш (R. Pausch) вбачав у віртуальній реальності потужний навчальний потенціал. Він ініціював розробку програмного забезпечення Alice, яке стало інноваційним рішенням для навчання студентів програмуванню. Alice надавала можливість створювати прості інтерактивні 3D-світи, дозволяючи користувачам не лише засвоювати основи кодування, а й застосовувати їх на практиці, що робило процес навчання цікавим та наочним [78].

Починаючи з кінця XX століття, віртуальна реальність активно впроваджується в життя, трансформуючи не тільки розваги, а й освітню та професійну сфери. Історичні етапи появи та розвитку VR-технологій відображено

на рис. 1.4.

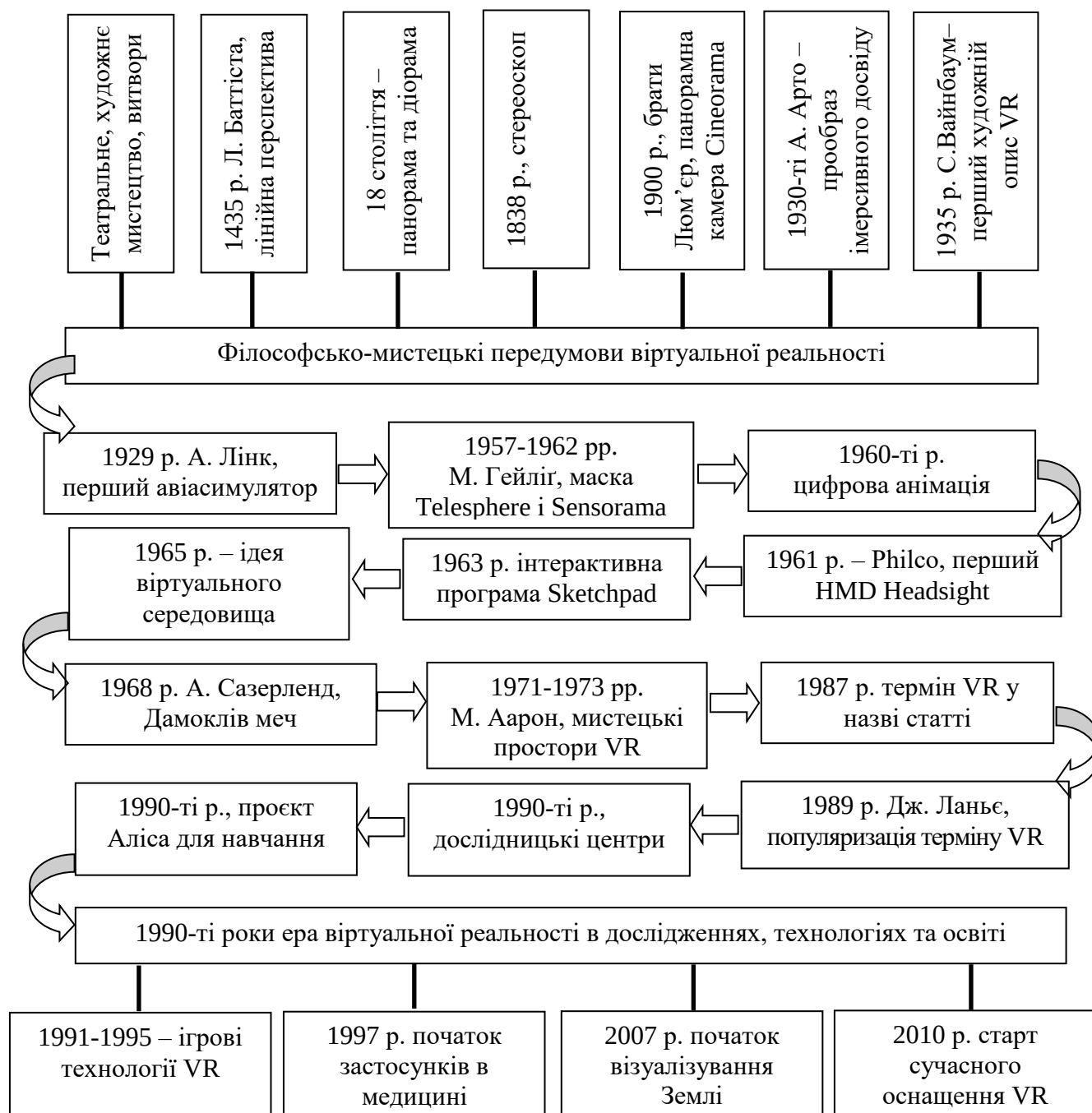


Рис. 1.4. Етапи розвитку віртуальної реальності

У 1997 році було визначено три основні вимоги до технологій віртуальної реальності, що надало можливість відрізнити це поняття від його філософського тлумачення [285]:

1) *імерсивність* – створення у користувача ефекту присутності через сенсорне залучення, що забезпечується пристроями відстеження рухів, рукавичками або натільними костюмами;

2) *взаємодія* – можливість об'єктів у віртуальному середовищі впливати один на одного, що реалізується через тривимірні пристрої керування для дослідження та контролю середовища;

3) *візуальний реалізм* – точне відображення віртуального світу за допомогою комп'ютерної графіки та спеціалізованих інструментів відображення.

До технологій, що забезпечують виконання зазначених вимог, можна віднести [287]:

– пристрої введення, які надають комп'ютеру в реальному часі дані про положення та рухи користувача і перетворюють їх на команди для взаємодії з віртуальним світом. До них належать рукавички, трекери, клавіатура, 2D- та 3D-миші;

– пристрої виведення створюють у користувачів ілюзію занурення, використовуючи візуальні, слухові та тактильні сигнали. Наприклад, шолом віртуальної реальності блокує видимість фізичного світу та відтворює тривимірну графіку, створену системою комп'ютерної графіки;

– система графічної візуалізації генерує віртуальні сценарії та віртуальні середовища;

– програмне забезпечення для моделювання створює віртуальні сценарії, обробляє геометрію, текстури, інтелектуальну поведінку та фізичні властивості об'єктів у віртуальному світі.

Аналіз робіт [214; 300; 311] показав, що віртуальну реальність можна розділити на дві основні категорії: *імерсивну* та *неімерсивну*. В імерсивних системах користувач відчуває себе присутнім у створеному комп'ютером світі, тоді як у неімерсивних системах він зберігає контакт із фізичною реальністю, внаслідок чого зменшується відчуття присутності.

В обох випадках віртуальна реальність може бути як змодельованою, так і інтерактивною, а її реалізація забезпечується через [289]: 1) комп'ютерне моделювання та симуляції; 2) мережеві середовища віртуальної реальності; 3) апаратне забезпечення кіберпростору.

Отже, віртуальна реальність – це технологія, що надає можливість людині

взаємодіяти з інтерактивним штучним середовищем, створеним за допомогою комп'ютерного моделювання та симуляцій [93].

Під *доповненою реальністю* (augmented reality – AR) розуміють проєктування цифрових відомостей (тексту, графіки, відео, зображень тощо) безпосередньо в реальне оточення користувача, внаслідок чого реальний світ доповнюється штучними елементами та новими відомостями. Доповнена реальність реалізується за допомогою застосунків для смартфонів і планшетів, окулярів доповненої реальності, стаціонарних екранів, проєкційних пристроїв та інших технологій [390].

Перші концепції, що передували сучасній доповненій реальності, з'явилися наприкінці 1960-х років. На думку Р. Голлоуея (R. Holloway) [135], витoki AR пов'язані зі створенням у 1968 році А. Сазерлендом системи дисплеїв для відображення генерованого комп'ютером середовища у реальному часі. Ця технологія надавала можливість накладати цифрові дані на фізичне середовище, що стало першим кроком до поєднання віртуальних об'єктів з реальним світом. У наступні десятиліття розробки в галузі доповненої реальності здійснювалися переважно в університетських лабораторіях, великих компаніях та національних агентствах, зокрема, для авіаційних, військових, промислових та медичних симуляцій.

У 1974 році М. Крюгер (M. Krueger) заснував лабораторію «Videoplace» в Університеті Коннектикуту, метою якої було дослідження та створення систем штучної реальності [81]. Videoplace була однією з перших інтерактивних систем, що надавала користувачам можливість взаємодіяти з цифровим середовищем за допомогою жестів та рухів тіла, закладаючи основу для подальшого розвитку як віртуальної, так і доповненої реальності.

Подальший розвиток AR відбувався в промислових і наукових лабораторіях. Зокрема, у 1990 році дослідники компанії Boeing Computer Services Т. Коделл (T. Caudell) і Д. Мізелл (D. Mizell) створили наголовний дисплей, який накладав цифрові інструкції на деталі літаків. Це дало змогу оптимізувати процес складання літаків та стало одним із перших прикладів практичного використання

AR у виробництві [133].

У 1992 році Т. Коделл запропонував перше наукове тлумачення доповненої реальності як проєктування графічних об'єктів за допомогою комп'ютера [57]. У наступні роки відбулося поглиблення теоретичного осмислення технології, зокрема завдяки працям Р. Азуми (R. Azuma), який у 1997 році сформулював сучасне тлумачення AR та визначив її основні ключові властивості у 2001 році. На думку Р. Азуми, технологія доповненої реальності надає можливість доповнювати реальний світ віртуальними об'єктами, створеними за допомогою комп'ютера, які накладаються на реальний світ і нібито співіснують одночасно. Технологія доповненої реальності забезпечує можливість [26]: 1) поєднання реального та віртуального через інтеграцію цифрових об'єктів у фізичне середовище; 2) інтерактивність у реальному часі, що забезпечує динамічну взаємодію користувача з цифровими відомостями; 3) тривимірне позиціонування віртуальних об'єктів, яке створює ілюзію їхньої присутності в реальному просторі.

Хронологію становлення та впровадження технологій доповненої реальності в різних сферах життя систематизовано в табл. 1.2 [19; 133; 152; 390].

Таблиця 1.2.

Хронологія появи та застосування технологій доповненої реальності

Рік	Сфера застосування	Опис застосування
1992	Військова справа, навчання	Л. Розенберг (L. Rosenberg) у Науково-дослідній лабораторії Армстронга ВПС США розробив систему Virtual Fixtures – одну з перших AR-платформ для підвищення ефективності дистанційного керування та тренування операторів.
1993	Промисловість	Розробка системи KARMA – перший приклад маркерної AR для технічного обслуговування.
1994	Театр та розваги	Дж. Мартін (J. Martin) інтегрує AR у театральну постановку «Танці в кіберпросторі».

Рік	Сфера застосування	Опис застосування
1998	Спорт	Використання системи 1st & Ten у трансляціях NFL (жовта лінія ярда на полі).
1999	Космічні дослідження	Технологія AR у навігації космічного корабля NASA X-38.
2000	Ігрова індустрія	Створення першої AR-гри AR Quake.
2005	Мобільні застосунки	З'являються перші програмні рішення AR для мобільних пристроїв (дослідження М. Мерінга (M. Möhring) у 2004 році).
2008	Комерційна реклама	BMW використовує AR у друкованій рекламі (3D-модель BMW Mini).
2009	ЗМІ; програмування	Журнал Esquire застосовує AR для «оживлення» картинки з обкладинки; бібліотека ARToolKit переносить AR у браузер.
2011	Масові комунікації, освіта	Проекти National Geographic, Disney, Coca-Cola з використанням AR у публічному просторі.
2011-2012	Освіта	Запуск навчальних AR-платформ Augasma (HP Reveal) – перші рішення для інтеграції AR у шкільні підручники та освітні проекти.
2013	Автомобільна промисловість	Volkswagen презентує сервісний застосунок MARTA для техніків сервісного обслуговування.
2014	Споживчі технології	Випуск окулярів Google Glass.
2015	Соціальні мережі	Snapchat впроваджує фільтри AR, а у 2016-2017 – Facebook та Instagram.
2016	Ігрова індустрія	Випуск Pokémon Go, масове поширення AR.
2016	Корпоративні	Вихід Microsoft HoloLens, пізніше HoloLens 2.

Рік	Сфера застосування	Опис застосування
	технології	
2017	Роздрібна торгівля	ІКЕА запускає застосунок для віртуального перегляду меблів.
2017-2018	Розробка ПЗ, освіта	Apple та Google презентують ARKit і ARCore; з'являються AR-застосунки для навчання (Blippar, Augment Education).
2020	Освіта, культура	Під час пандемії COVID-19 AR застосовується для віртуальних відвідувань музеїв, подорожей та візуалізації навчальних матеріалів.
2021-2022	Медицина, освіта, метавсесвіт	Використання AR у хірургії та медичній візуалізації; поширення освітніх платформ (Merge Cube, Google Expeditions); розвиток WebAR та інтеграція у метавсесвіті (Meta, Niantic Lightship).
2022-2023	Освіта, штучний інтелект (ШІ)	Поєднання ШІ та AR: створення інтелектуальних навчальних застосунків, де AR підтримується системами на основі ШІ (ChatGPT+AR, освітні симуляції з адаптивними підказками).

Аналіз хронології засвідчує, що розвиток технологій доповненої реальності відбувався поетапно і продовжує активно тривати завдяки поєднанню з технологіями штучного інтелекту. Сучасним етапом еволюції імерсивних засобів є розробка WebAR-застосунків для пристроїв змішаної реальності та розумних окулярів (Smart Glasses), які забезпечують поєднання апаратних можливостей окулярів, гнучкості вебтехнологій та аналітичного потенціалу штучного інтелекту.

Вебзастосунки WebAR розв'язують проблему обмеженого доступу до традиційних AR-застосунків, які зазвичай потрібно завантажувати на мобільні пристрої. Попри дещо нижчу швидкість, WebAR-застосунки мають суттєву

перевагу – користувач може отримати доступ до ресурсу в будь-який момент без встановлення спеціального програмного забезпечення. Завдяки стрімкому розвитку III AR-застосунки дедалі частіше інтегрують моделі III у свої програмні середовища, що відкриває нові педагогічні можливості – зокрема, редагування елементів реального світу за допомогою віртуальних об'єктів. Один із найновіших пристроїв – Apple Vision Pro – уже застосовується в медичній освіті для тренування майбутніх фахівців у симульованому імерсивному середовищі. Завдяки вбудованій 3D-камері користувач може створювати тривимірні зображення та відео, використовувати їх для вивчення й моделювання навчальних ситуацій, що робить процес навчання максимально наближеним до практики [286].

Існують різні типи технологій доповненої реальності, які відрізняються принципами функціонування та сферами застосування [19]:

- *AR на основі маркерів* використовує камеру для сканування спеціальних візуальних маркерів (QR-кодів, графічних зображень, знаків), на які накладається відповідний віртуальний зміст. Перевагою цього підходу є простота реалізації, надійність розпізнавання та відсутність потреби у складних алгоритмах обробки зображень;

- *безмаркерна AR-технологія* найбільш поширена у мобільних застосунках. Вона ґрунтується на використанні вбудованих сенсорів пристрою – GPS, цифрового компаса, акселерометра, гіроскопа; накладає цифрові відомості залежно від географічного положення користувача. Прикладом є сервіси навігації та пошуку об'єктів у просторі;

- *AR на основі проєкцій* передбачає проєктування світлових зображень на реальні об'єкти з можливістю їхньої інтерактивної взаємодії. Системи цього типу аналізують зміни у світловому потоці для розпізнавання дій користувача (наприклад, жестів). Для роботи вони потребують високопродуктивних обчислювальних ресурсів, здатних обробляти дані в режимі реального часу;

- *AR на основі нашарування* передбачає створення нового візуального шару, який накладається на реальний об'єкт, доповнюючи або змінюючи його зовнішній

вигляд. Функціонування таких систем залежить від точності розпізнавання об'єктів, оскільки без нього неможливо правильно визначити, куди саме слід проєктувати віртуальні дані доповненої реальності.

Змішана реальність (mixed reality – MR) посідає проміжне місце серед імерсивних технологій, поєднуючи характеристики як віртуальної, так і доповненої реальностей. Її відмінність полягає у можливості не лише співіснування, а й активної взаємодії фізичних і цифрових об'єктів у реальному часі, що створює новий тип користувацького досвіду [134]. Завдяки цьому користувачі отримують можливість бачити голографічні об'єкти, розташовані у фізичному просторі, обходити їх, змінювати кут зору та взаємодіяти з ними подібно до того, як це відбувається з реальними предметами. Таке середовище зазвичай потребує спеціального обладнання – окулярів чи шоломів змішаної реальності, які забезпечують інтеграцію віртуальних елементів у фізичне оточення [390].

Поняття «змішана реальність» уперше було запропоноване П. Мілграмом (P. Milgram) і Ф. Кісіно (F. Kishino) у 1994 році. Вчені описали континуум реальності – віртуальності, де MR займає проміжне місце між цілком фізичною реальністю та повністю занурювальною віртуальною реальністю [218]. У цьому континуумі виділяють два підтипи: доповнену реальність (наближену до полюса «реальність») та доповнену віртуальність (ближчу до «віртуальності»). Таким чином, MR слід трактувати не як просту комбінацію AR і VR, а як ширшу категорію, що охоплює різні рівні інтеграції реального й цифрового.

Сучасні дослідження підтверджують багатозначність та динамічність поняття MR, а також виокремлюють кілька підходів до його тлумачення [319]:

- MR як точне продовження континууму Мілграма, де реальні та віртуальні об'єкти поєднуються в єдиному середовищі;
- MR як комбінація AR і VR, коли дві технології функціонують разом у межах одного пристрою чи застосунку, але не завжди інтегровані повністю;
- MR як середовище співпраці, що створює нові форми простору, де синхронізуються фізичні та віртуальні компоненти;

– MR як посилена версія AR, яка забезпечує глибший рівень занурення завдяки використанню додаткового обладнання;

– MR як синонім AR, що вважається найменш коректним трактуванням.

Отже, у науковій літературі простежується певна термінологічна невизначеність: MR може розглядатися і як самостійне поняття, і як надбудова над AR, і як проміжна ланка між AR та VR. Попри це, більшість сучасних авторів сходяться на тому, що визначальною ознакою MR є двостороння інтеракція між реальним і віртуальним середовищами, яка відрізняє її від AR (де віртуальні об'єкти лише накладаються на реальність) та VR (де реальний світ усувається повністю).

До основних характеристик MR відносять [134]: 1) інтеграцію віртуальних елементів у фізичне середовище; 2) взаємодію користувача з об'єктами в реальному часі; 3) можливість створення стійких зв'язків між реальними та цифровими компонентами.

На основі цих характеристик виокремлено таку класифікацію змішаної реальності [319]:

- за кількістю середовищ (фізичних або віртуальних);
- за кількістю користувачів (індивідуальна чи колективна взаємодія);
- за рівнем занурення;
- за рівнем віртуальності, що відображає кількість цифрового вмісту, який відчуває користувач;
- за ступенем взаємодії, яка може бути явною або неявною.

У педагогічному контексті MR відкриває можливості для створення нових форм навчальної взаємодії, де цифрові моделі та симуляції інтегруються в класну кімнату або лабораторію. Це сприяє розвитку дослідницьких і практичних навичок учнів та студентів, що підтверджується сучасними дослідженнями в галузі STEM-освіти [33].

На основі тлумачення змішаної реальності, наданого П. Мілграмом, та виокремлених підкатегорій проілюструємо різні та спільні характеристики імерсивних технологій (рис. 1.5).

VR	MR	AR
– повне занурення у цифрове середовище; – комп'ютерна симуляція оточення; – блокує фізичний світ; – потребує гарнітури або спеціальних пристроїв високої якості. Ризики: нудота, запаморочення, дезорієнтація, деперсоналізація. Застосування: освіта, медицина, військова справа, розваги.	– інтеграція реального та віртуального середовищ; – різні рівні взаємодії фізичних і цифрових об'єктів у реальному часі; – складніші та більш деталізовані програми; – потребує гарнітури та додаткового обладнання. Ризики: спільні для VR та AR. Застосування: інженерія, архітектура, навчання, бізнес, військова справа, виробництво.	– накладання цифрових елементів на фізичний світ у режимі реального часу; – часткове занурення; – потребує дисплеїв нижчої якості, ніж VR; – нижча вартість ніж VR. Ризики: втрата уваги, перевантаження відомостями, безпекові та конфіденційні загрози. Застосування: маркетинг, туризм, освіта, дизайн, навігація.

Рис. 1.5. Основні характеристики імерсивних технологій за [130]

Розширена реальність (extended reality – XR) є загальнішим терміном, який об'єднує всі форми імерсивних технологій: VR, AR та MR і виступає узагальненим поняттям для позначення будь-якого цифрового середовища, що розширює межі фізичної реальності шляхом інтеграції віртуальних компонентів. На думку дослідників [278], XR є концепцією, що охоплює спектр усіх можливих станів між фізичною реальністю та повністю віртуальними середовищами.

З огляду на континуум П. Мілграма [218], XR можна інтерпретувати як єдиний простір, що поєднує різні варіації AR, MR і VR (рис. 1.6 (<https://www.xrpedagogy.com/en/what-is-xr/>)).

Таке подання надає можливість уникнути термінологічних суперечностей і працювати з імерсивними технологіями у ширшому значенні. У сфері освіти XR дедалі частіше трактується як методологічна основа для створення інтегрованих середовищ навчання, в яких доцільно використовувати XR у поєднанні з м'якими системними методологіями для проєктування інноваційних освітніх практик [357].



Рис. 1.6. Континуум розширеної реальності

Метавсесвіт є наступним рівнем еволюції імерсивних технологій. Його концепція вперше описана у романі Ніла Стівенсона (Neal Stephenson) «Снігова лавина» від 1992 року, де описано спільний віртуальний простір, що існує паралельно до реального [14]. На сьогодні Метавсесвіт розглядають як глобальне середовище, побудоване на основі XR та мережових технологій, у якому користувачі можуть взаємодіяти у фізичній чи цифровій формах (аватари, голограми тощо) незалежно від географічного положення. Метавсесвіт забезпечує нові формати колективної взаємодії у навчанні за умови, що віртуальні учасники стають фізично видимими через голографічні проєкції або VR-інтерфейси [227].

В основу ідеї Метавсесвіту покладено єдність трьох компонентів [317]: 1) дзеркальний світ, що відтворює елементи фізичної реальності; 2) оригінальний віртуальний світ з уявними елементами, які не обов'язково відповідають елементам у фізичному світі; 3) синхронізований простір, що інтегрується з фізичним середовищем у реальному часі.

Отже, Метавсесвіт – це середовище, що надає можливість створювати різноманітні віртуальні світи, в яких користувачі можуть активно взаємодіяти як між собою, так і з віртуальними об'єктами. Метавсесвіт не замінює реальний світ, а доповнює його, створюючи нові можливості для спілкування та навчання.

Поряд із базовими типами імерсивних технологій у науковій літературі виокремлюють так звані звужені технології, що реалізують окремі компоненти

імерсивного досвіду [477]. Серед них особливе місце в освітньому процесі посідає технологія 360°-відео, яка забезпечує специфічний тип занурення завдяки панорамному відтворенню середовища.

360°-відео – це відеоформат, що передбачає запис реального середовища в усіх напрямках із можливістю перегляду з довільної точки огляду. Використання таких матеріалів сприяє зменшенню розбіжностей між теоретичними знаннями та їх практичним застосуванням [343]. Імерсивні 360°-відео розглядаються як доступніша альтернатива технологіям віртуальної реальності, оскільки для їх створення використовуються спеціалізовані 360°-камери, а для перегляду – як стандартні екрани, так і HMD-пристрої. Вони мають спільні з VR характеристики, зокрема, аудіовізуальне відтворення та можливість навігації в межах панорамного простору, однак не передбачають повноцінної інтерактивної взаємодії з об'єктами середовища, що обмежує рівень інтерактивності користувача.

У педагогічному контексті 360°-відео сприяють підвищенню рівня залученості учнів, розвитку практичних умінь, формуванню впевненості у використанні цифрових засобів та позитивно впливають на емоційний стан, що, своєю чергою, підвищує навчальну мотивацію [44]. Для досягнення цілей навчання 360°-відео доцільно використовувати в таких формах: організація віртуальних екскурсій, проведення віртуальних уроків, дослідження природних об'єктів і явищ, реалізація профорієнтаційної діяльності, а також подолання освітніх втрат [441].

Узагальнюючи поняття імерсивних технологій, можна стверджувати, що кожна технологія має своє спрямування, задачі та цілі [33; 357]:

- *віртуальна реальність* забезпечує повне занурення у цифрове середовище, ізоляцію від реального світу;

- *доповнена реальність* накладає цифрові об'єкти на фізичний світ. Її відповідник доповнена віртуальність (AV) – стосується випадків, коли повністю створене віртуальне середовище доповнюється елементами «реального» середовища;

- *змішана реальність* інтегрує реальні та віртуальні об'єкти у єдиному

просторі, забезпечуючи їхню взаємодію;

– *розширена реальність* спрямована на доповнення реального світу технологіями змішаної реальності;

– *розширена віртуальність* націлена на розширення віртуального світу сценами з реального світу.

Таким чином можна стверджувати, що імерсивні технології – це сукупність апаратних, програмних і цифрових засобів (VR, AR, MR, 360°-матеріали, симуляції тощо), які забезпечують технічну можливість створення ефекту занурення користувача в змодельований або доповнений цифровий простір. Разом ці технології формують методологічну й технологічну основи сучасного імерсивного навчання, забезпечуючи нові форми взаємодії, пізнання та співпраці.

1.1.3. Імерсивні технології навчання. Поширення імерсивних технологій у різних сферах суспільного життя зумовило інтерес системи освіти до їхнього використання, оскільки вони відкривають можливості створення середовищ навчання з ефектом занурення та сприяють переходу до більш інтерактивних методів навчання.

У педагогічній літературі з 1980-х років посилюється увага до концепцій, орієнтованих на активізацію пізнавальної діяльності учнів, – проблемного, ситуативного, корпоративного навчання. Саме в цей період починають широко застосовуватися комп'ютерні технології, що стали основою формування «комп'ютерного навчання» [74], яке на початку XXI століття трансформувалося у змішане навчання (blended learning), що поєднало традиційні та електронні форми організації освітнього процесу, зокрема, мобільні ІКТ [114].

Імерсивні технології є складником ІКТ, проте вони мають специфічні характеристики – забезпечують занурення учня у віртуально змодельовані ситуації та сприяють інтерактивній взаємодії. Їх застосування у ЗЗСО орієнтоване насамперед на підвищення навчальної мотивації, розвиток практичних умінь і навичок, а також на візуалізацію складних понять природничо-математичного циклу [107; 269; 309; 371; 400].

Аналіз публікацій у базі даних Scopus за пошуковим запитом «імерсивні

технології навчання» (рис. 1.7) засвідчує стійке зростання інтересу дослідників до проблематики використання імерсивних технологій у навчанні, особливо після 2018 року. Найбільш інтенсивне зростання кількості публікацій спостерігається у 2022-2025 рр.

Documents by year

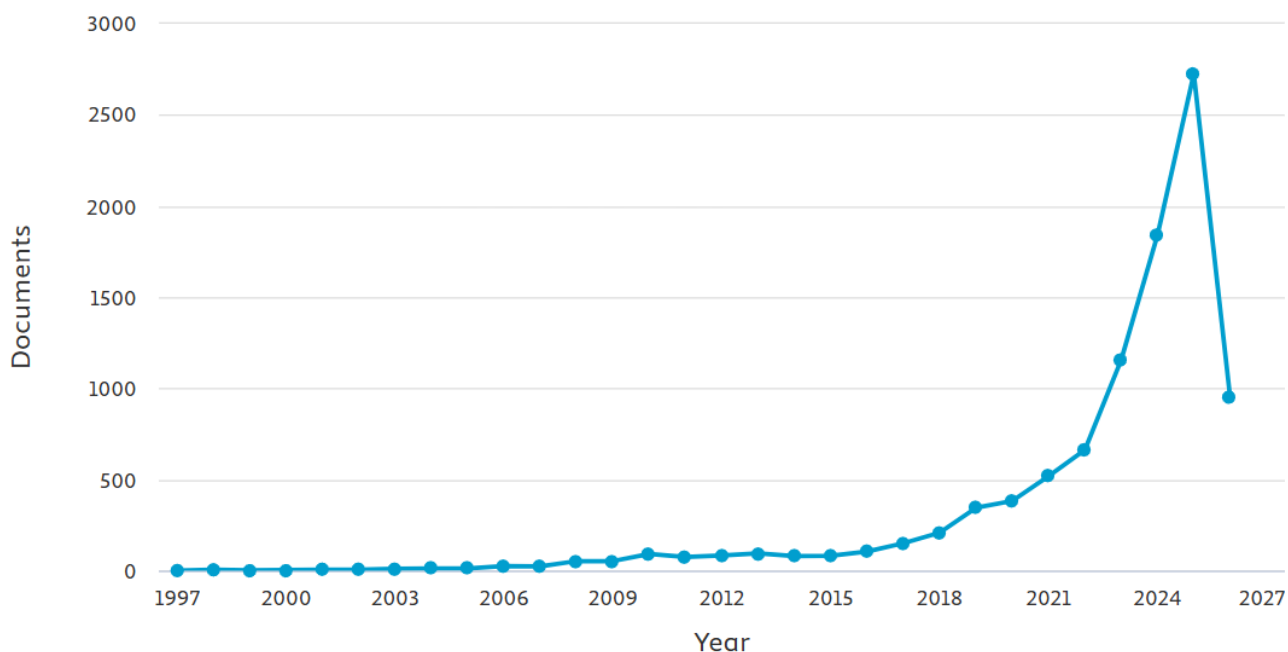


Рис. 1.7. Візуалізація кількості публікацій з використання імерсивних технологій у процесі навчання

Найбільша кількість досліджень стосується сфери вищої та фахової передвищої освіти, де імерсивні технології активно застосовуються у професійній підготовці здобувачів освіти. Водночас у початковій та загальній середній освіті їх використання залишається дискусійним через ризики когнітивного перевантаження та психофізіологічні обмеження учнів [10; 14; 107; 401].

Поряд із кількісним зростанням публікацій простежується тенденція до розширення тематичних напрямів досліджень, зокрема інтеграції VR/AR-технологій із системами штучного інтелекту для реалізації адаптивного та персоналізованого навчання [8].

Попри активне використання в літературі терміна «імерсивне навчання», визначення терміна «імерсивні технології навчання» поки не сформульоване однозначно. Дослідники розглядають імерсивне навчання або як процес, що

базується виключно на застосуванні VR/AR, або як ширше явище, що охоплює створення середовища навчання з ефектом занурення незалежно від конкретних технологій [176].

Відповідно до наведених підходів наведемо декілька тлумачень поняття «імерсивне навчання» (табл. 1.3) у хронологічному порядку їх появи в науковій літературі.

Таблиця 1.3.

Тлумачення поняття «імерсивне навчання»

Автор	Тлумачення
S. Freitas, T. Neumann, 2009	поєднання дослідницьких і традиційних методів в інтерактивному навчанні, де ролі викладача й учнів стають більш різноманітними [103].
D. Bhattacharjee, P. Anand, J. Kim, K. Kumar, 2018	модель імітаційного навчання з ефектом занурення, яка персоналізує траєкторію учня за допомогою еволюційного алгоритму [38].
K. Binytska та інші, 2020	навчання з ефектом повної або часткової присутності в альтернативному просторі, що змінює користувацький досвід [40].
C. Wu, Y. Tang, Y. Tsang, K. Chau, 2021	навчання через створення ефекту «присутності» шляхом емоційного залучення користувача в штучно створене середовище [357].
E. Whewell, H. Caldwell, B. Garrett, G. Malloch, 2021	інноваційний підхід, що вимагає від учителя вміння інтегрувати навчальну діяльність у мобільне, адаптивне та міждисциплінарне середовище [350].
H. Ip, R. Li, 2022	поєднання двох конструкцій – занурення та присутності, що відповідають різним рівням інтерактивності процесу навчання [146].
F. Sandoval-Henríquez, M. Badilla-Quintana,	інтеграція віртуального й фізичного середовища у змішаній реальності, що забезпечує природне навчання,

Автор	Тлумачення
2022	недоступне в реальних умовах [288].
A. Dengel, 2022	активне конструювання та адаптація когнітивних, емоційних і психомоторних моделей через безпосередній досвід з імерсивними технологіями [82].
Л. Нікітіна, Н. Дженюк, 2023	навчання з ефектом занурення, що використовує VR/AR/MR для моделювання реальних сценаріїв у безпечному середовищі [472].
Ю. Богачков, П. Ухань, 2023	навчання, у якому імерсивні технології поєднуються з моделюванням, а учні взаємодіють у віртуальному середовищі, відтворюючи недосяжні в класі ситуації [382].
N. Bizami, T. Zaidatun, S. Kew, 2023	середовище, подібне до реального життя, в якому процес навчання зосереджений на досвіді та підтримується технологічними засобами (на основі систематичного огляду) [42].
С. Литвинова, 2023, 2024	інноваційна педагогічна технологія, що забезпечує глибоке занурення учнів у навчання, підвищує ефективність взаємодії з матеріалом та зменшує психологічний стрес навіть у дистанційному режимі [443; 444].

Аналіз наданих у наукових джерелах тлумачень дає підстави стверджувати, що поняття імерсивного навчання у сучасних дослідженнях інтерпретується багатовимірно та охоплює технологічні, психологічні й педагогічні аспекти. Водночас узагальнення цих підходів засвідчує, що імерсивне навчання доцільно розглядати як педагогічний процес. У межах цього дослідження *імерсивне навчання розглядається як інтерактивний педагогічний процес, що реалізується у спроектованому імерсивному середовищі на основі імерсивних технологій та передбачає організацію активної навчальної діяльності здобувачів освіти в*

умовах занурення, спрямованої на досягнення визначених результатів навчання і формування компетентностей.

Імерсивне навчання характеризується високим рівнем залученості учнів, персоналізацією навчального досвіду та практичною спрямованістю, що забезпечується поєднанням когнітивних, емоційних і діяльнісних компонентів навчальної взаємодії.

У наукових джерелах виокремлюють три взаємопов'язані аспекти імерсивності навчання [59; 99; 288]:

1) *технологічна імерсія* – стан занурення, що забезпечується технічними засобами (шолом, окуляри, 3D-візуалізація). У цьому випадку увага користувача повністю зосереджується на іншій реальності, однак активність може залишатися обмеженою;

2) *психологічна імерсія* – суб'єктивне відчуття присутності та залученості до певного середовища чи діяльності, за якого людина сприймає себе їхньою невіддільною частиною. Такий психофізіологічний стан може виникати як під впливом цифрових технологій, так і внаслідок інтенсивного когнітивного чи емоційного залучення;

3) *педагогічна імерсія* – інтерактивний освітній досвід, що передбачає активну взаємодію здобувача освіти з цифровими об'єктами, іншими учасниками освітнього процесу та педагогом і спрямований на досягнення освітніх цілей. На відміну від загальнодидактичного трактування педагогічного занурення, яке можливе й без використання цифрових технологій, у межах цієї роботи педагогічну імерсію розглядаємо як цілеспрямовано спроектований процес, у якому імерсивні технології забезпечують умови для сенсорного залучення та активної навчальної діяльності учнів.

Рівень занурення залежить від кількості сенсорних каналів, залучених у процес навчання, та інтуїтивності взаємодії з технологіями. Чим ширший спектр відчуттів охоплюється, тим глибшим є відчуття присутності, що сприяє інтенсифікації процесу навчання [59; 99].

До переваг імерсивного навчання належать [9; 444]:

– *мотиваційний ефект* – зростання зацікавленості та внутрішньої мотивації до навчання;

– *активна участь* – можливість виконувати практичні дії, моделювати сценарії та трансформувати навчальні відомості у практичні вміння;

– *персоналізація* – розроблення індивідуальних траєкторій навчання на основі аналізу взаємодії учня з імерсивними технологіями;

– *реалістичні симуляції* – відтворення досвіду, який у реальному житті може бути небезпечним, ресурсозатратним або недоступним;

– *співпраця* – організація комунікації та групової роботи у віртуальному просторі незалежно від місцеперебування учасників;

– *соціальна підтримка* – розвиток навичок взаємодії та застосування адаптивних педагогічних методів для формування сприятливого середовища навчання.

Враховуючи, що феномен імерсивності у наукових дослідженнях розглядають у трьох вимірах – технологічному, психологічному та педагогічному, використання поняття «імерсивні технології навчання» у межах цього дослідження є педагогічно доцільним за умови, що їх упровадження підпорядковується чітко визначеним освітнім цілям, а саме: пізнавальним (формування нових знань), практичним (відпрацювання навичок), дослідницько-рефлексивним (аналіз, дослідження, самоосмислення).

Імерсивні технології навчання – це сукупність цифрових технологій і програмно-апаратних рішень (зокрема технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальностей, інтерактивних симуляцій і тривимірних моделей), які забезпечують створення і функціонування імерсивного середовища навчання та організацію інтерактивної підтримки навчальної діяльності здобувачів освіти.

У наукових дослідженнях виокремлюють чотири категорії імерсивних технологій навчання [198]: моделювання, ігрове навчання, технології реальності (VR/AR/MR) та 360°-відео. Застосування імерсивних технологій у навчанні надає здобувачам освіти низку можливостей [9; 200]:

1) розширення комунікативних навичок і взаємодії у віртуальних

середовищах;

- 2) посилення пізнавальної активності завдяки мультисенсорному досвіду;
- 3) доступність навчальних матеріалів у різних форматах (текст, аудіо, відео, інтерактивні демонстрації);
- 4) візуалізація абстрактних понять та інтерактивна подача навчальних відомостей;
- 5) інтенсифікація навчання й підвищення його ефективності;
- 6) відпрацювання практичних навичок у безпечних і реалістичних умовах;
- 7) формування навичок рефлексії та самоконтролю завдяки відстеженню власних дій.

Кількісний аналіз публікацій за 2002-2023 рр. показав, що у 72,73% досліджень зафіксовано позитивний досвід імерсивного навчання, а у 22,73% – значне підвищення навчальних досягнень у вивченні природничо-математичних дисциплін [330]. Серед робіт, присвячених імерсивному навчанню, 74% стосуються саме природничо-математичних дисциплін. Це пояснюється специфікою предметів, де необхідно працювати з абстрактними поняттями й моделювати процеси, недоступні для безпосереднього спостереження в аудиторіях [200].

Узагальнимо переваги імерсивних технологій навчання [2; 16; 99; 335; 354; 576]:

– *підвищення ефективності навчання та мотивації*: інтеграція мультимедійних та інтерактивних матеріалів, концентрація уваги завдяки зануренню, стимулювання мотивації через елементи ігрової діяльності, поліпшення засвоєння знань;

– *розвиток навичок і компетентностей*: формування навичок співпраці та командної роботи, розробка індивідуальних освітніх траєкторій, розвиток цифрових, інформаційно-комунікаційних та імерсивних компетентностей;

– *підтримка дослідницької діяльності та контролю*: створення умов для дослідницької діяльності, забезпечення автоматизованого контролю навчальних результатів;

– *безпека, доступність та економічність*: гарантування безпеки процесу навчання, узгоджена доступність симуляцій, зменшення витрат на підготовку учнів;

– *створення цілісного імерсивного середовища*: інтеграція всіх компонентів у єдине середовище навчання, що забезпечує комплексний освітній досвід.

На думку дослідників [208; 382; 486], ефективним є навчання, організоване в середовищі, насиченому імерсивними технологіями. У такому середовищі *віртуальна реальність* забезпечує занурення учнів у змодельовані умови, відкриваючи доступ до об'єктів, місць і сценаріїв, що виходять за межі класної кімнати. *Доповнена реальність* накладає віртуальні зображення на відображення поточного середовища, що надає можливість учням проводити дослідження. *Змішана реальність* інтегрує компоненти реального середовища з імітованими об'єктами та подіями, формуючи навчальні ситуації підвищеної реалістичності.

Організація імерсивного навчання передбачає кілька етапів: 1) усвідомлення педагогічних можливостей і перспектив використання імерсивних технологій; 2) створення середовища навчання на їх основі; 3) теоретичне обґрунтування доцільності обраних рішень; 4) розроблення педагогічних умов ефективного застосування середовища; 5) визначення навчальних цілей і добір змісту, що відповідає цим цілям; 6) вибір програмного забезпечення, застосунків та сервісів для реалізації завдань. Ефективність імерсивного навчання забезпечується виокремленням так званих «точок залучення», у яких учні виступають активними учасниками дослідження, а сам процес набуває інтерактивного характеру [555].

У науковій літературі представлено кілька підходів до класифікації імерсивних освітніх середовищ. Зокрема, у працях українських дослідників [403; 553; 576] запропоновано класифікацію імерсивних середовищ, що використовуються у професійній та навчальній діяльності. Вона охоплює:

– *психологічні середовища* – повне занурення у внутрішній, суб'єктивний світ учня;

– *фізичні середовища* – відтворення реальних умов для безпосередньої взаємодії;

– *середовища зі змінною реалістичністю* – поєднання різних рівнів віртуалізації з метою створення педагогічних умов для набуття практичного досвіду.

Активність учня в такому середовищі зумовлюється взаємодією його внутрішньої мотивації та дидактичного потенціалу імерсивного середовища, що забезпечує підтримання пізнавального інтересу й залученості до навчальної діяльності. При цьому вчитель виконує роль наставника: підтримує комунікацію, координує індивідуальну освітню траєкторію та водночас забезпечує досягнення колективних результатів.

Доцільно також класифікувати імерсивне середовище за *рівнем занурення* (низький, середній, високий); *цільовою функцією* (моделювання, візуалізація, симуляція, навчальне дослідження); *педагогічною спрямованістю* (мотиваційна, пізнавальна, рефлексивна, компенсаторна). Така класифікація враховує конкретний освітній контекст та завдання, поставлені вчителем. Рівень занурення при цьому визначається як поєднання об'єктивних характеристик середовища (технічні параметри, дизайн, інтерактивність), що впливають на психологічний стан учня, та суб'єктивного досвіду користувача, який формує індивідуальну траєкторію навчання.

У наукових дослідженнях імерсивність освітнього середовища трактується по-різному. Так, О. Соколюк [553] розглядає її як властивість середовища, що відображає ступінь залучення суб'єкта в систему відносин, зумовлену змістом навчання. У такому розумінні імерсивність пов'язана насамперед із психологічним станом учня, який сприймає себе включеним у процес та взаємодіє із середовищем, отримуючи неперервний потік стимулів і досвіду.

Для поглибленого аналізу поняття імерсивного освітнього середовища дослідники [31] пропонують розглядати його ключові виміри, серед яких:

- системний вимір, що охоплює фізичне та технологічне середовище, організаційні умови та характеристики учасників;
- наративний вимір, пов'язаний із розвитком сюжетів, візуальними елементами та динамікою взаємодії;

– вимір виклику, який забезпечує постановку завдань і цілей, підтримку активності та прагнення до результатів.

З іншого боку, С. Литвинова [445] трактує імерсивне середовище навчання передусім як цифрове оточення, побудоване на VR-, AR- та MR-технологіях. Воно покликане створювати реалістичний досвід, що занурює учнів у навчальний процес. У цьому випадку «імерсивний досвід» розуміється як сенсорне сприйняття віртуальної чи змішаної реальності. Для досягнення ефективного досвіду користувача навчальні ситуації в імерсивному середовищі формуються за допомогою різноманітних методів та програмних інструментів, таких як навчання на основі ігор, симуляцій та віртуальних 3D-світів [143]. Такі середовища можуть бути інтегровані як у традиційне, так і в змішане навчання, забезпечуючи гнучкість у педагогічній практиці.

В. Биков [469] визначає імерсивне середовище користувача як комп'ютерно орієнтоване віртуальне середовище, де засобами моделювання формується відчуття квазіреальної присутності й досягається занурення у перебіг подій.

Спільним у цих підходах є акцент на зануренні та ефекті присутності, однак різняться їхня спрямованість: одні автори акцентують на психологічних та педагогічних характеристиках, інші – на технологічних або організаційних умовах. Отже, імерсивне середовище навчання поєднує психологічне занурення, технологічну реалізацію та педагогічну цінність, що забезпечує ефективність процесу навчання.

У контексті цього дослідження імерсивне середовище навчання доцільно розуміти як інтегративну характеристику, що поєднує технологічний, педагогічний та психологічний виміри, забезпечуючи активну взаємодію учнів із навчальним матеріалом та створюючи умови для глибокого навчального досвіду.

Характеристики імерсивного середовища навчання включають [109; 111; 244; 288; 294]:

1) *інтерактивність* – суб'єктивне, привабливе та спонтанне відчуття, яке виникає завдяки технології занурення. Інтерактивність визначається як ступінь участі користувача у зміні форми та змісту віртуального середовища або об'єкта,

а також як двостороння взаємодія між людиною та технологією. Ступінь інтерактивності значною мірою залежить від якості навчальних матеріалів та продуктивності технологічних рішень. Використання високоінтерактивних віртуальних середовищ у навчальному процесі мотивує учнів, сприяє підвищенню навчальних досягнень, візуалізує завдання та створює умови для ефективного засвоєння просторових знань;

2) відчуття *присутності* – ілюзія перебування в певному просторі, попри те, що учень не перебуває там фізично. Воно виникає під час дослідження меж системи занурення: чим активніше користувач взаємодіє з середовищем, тим сильніше формується відчуття присутності. Ця когнітивна реакція надає можливість отримати автентичний досвід, який відповідає характеристикам фізичного світу – точності візуальних елементів, законам фізики та соціальним взаємодіям. Таке середовище дає змогу експериментувати та проводити дослідження в безпечних умовах;

3) стан *потоку* пов'язаний із психологічним зануренням, коли учень повністю захоплений діяльністю, що пригнічує зовнішні відволікання та підсилює концентрацію. У такому стані учні відчувають задоволення від процесу навчання, знижений рівень стресу та підвищену ефективність виконання завдань. Крім того, вони усвідомлюють власну компетентність і можливість досягнення поставлених цілей;

4) *втілене пізнання* є важливою характеристикою імерсивного середовища, яка надає учням можливість активно взаємодіяти з цифровими технологіями та навчальними об'єктами через фізичні дії та маніпуляції, що сприяє кращому засвоєнню знань [228];

5) *емпатія* – здатність емоційно співпереживати ситуаціям, які можуть виникати в реальному житті. Взаємодія з учителем та однокласниками в таких середовищах формує емоційну мотивацію до навчання, розвиває навички конструктивного розв'язання проблем, толерантність і сприяє організації інклюзивного навчання [155; 267].

О. Соколюк [553] розширює розуміння характеристик імерсивного

середовища навчання, визначаючи його як динамічний, системний, самоорганізований психологічний конструкт, якому властиві: імерсивність; присутність; інтерактивність; позасуб'єктна просторова локалізація; надмірність; доступність когнітивному досвіду; насиченість; пластичність; цілісність; мотивогенність, що проявляються у формі активного навчання.

До *переваг* імерсивного середовища навчання відносять [84; 246]:

- можливість співпраці у віртуальному світі;
- постійний доступ до навчальних матеріалів;
- демонстраційні симуляції, недоступні при традиційному навчанні;
- самостійне моделювання учнями ситуацій для здобуття нових знань;
- активну роль учня, що проявляється у поясненні матеріалу іншим, постановці запитань, генеруванні ідей та аналізі концепцій.

Важливою перевагою є також потенціал імерсивних технологій для організації інклюзивного навчання, яке знімає бар'єри доступу та забезпечує рівні можливості для різних категорій учнів [303; 563]. Використання імерсивних технологій для інклюзивного навчання є перспективним напрямом, проте потребує подальших досліджень.

Водночас дослідники наголошують на низці *обмежень* [28; 52; 117; 444]:

- часові витрати – навчання в імерсивному середовищі може потребувати більше часу, ніж традиційне;
- організаційні складнощі – ефективна організація навчання великих груп в імерсивному середовищі може бути проблематичною через втрату індивідуального підходу до навчання;
- когнітивне перевантаження – середовище може відволікати та викликати втоми;
- висока вартість обладнання – потребує сучасного устаткування та високої пропускної здатності мережі;
- вимоги до кваліфікації педагогів – необхідна компетентність у створенні та використанні імерсивних технологій;
- необхідність чіткого формулювання мети – учні мають розуміти цілі та

принципи роботи в середовищі;

– складна інтеграція в навчальну програму – потребує часу, узгодження та співпраці між педагогами, технічними спеціалістами та освітніми органами.

Особливого значення у процесі організації імерсивного навчання набуває роль учителя. Його діяльність трансформується від традиційного носія знань до модератора процесу навчання, здатного організувати середовище, інтегрувати сучасні цифрові інструменти та забезпечити якісну освітню взаємодію. Учитель має володіти навичками делегування частини завдань цифровим технологіям, бути організатором індивідуальних і колективних освітніх траєкторій та постійно підвищувати ефективність своєї діяльності [28; 494].

У межах дослідження, імерсивне середовище навчання – це різновид освітнього середовища, у якому засобами імерсивних технологій створюється педагогічно організована, цілісна система технологічних, змістових, організаційних і психолого-педагогічних умов для здійснення навчальної діяльності в умовах занурення. Таке середовище забезпечує інтерактивну взаємодію здобувачів освіти з навчальним змістом, цифровими об'єктами та іншими учасниками освітнього процесу, створюючи умови для реалізації цілей і досягнення результатів навчання.

Отже, в межах дослідження дотримуємося принципу термінологічної узгодженості, відповідно до якого імерсивні технології розглядаються як засоби, імерсивне середовище – як педагогічно організований простір, а імерсивне навчання – як інтерактивний процес.

1.2. Організація процесу навчання в закладах загальної середньої освіти та специфіка академічних ліцеїв

Система загальної середньої освіти розвивається у тісному взаємозв'язку із соціальними та технологічними трансформаціями сучасного суспільства. Одним із ключових чинників таких змін є поширення ІКТ, здатних трансформувати традиційний формат організації процесу навчання, зробивши його більш гнучким, персоналізованим і результативним. Ще у 1965 році А. Сазерленд підкреслював значний потенціал комп'ютера в системі освіти, насамперед професійної [327].

Сьогодні ж ці ідеї знаходять відображення у розвитку цифрових освітніх ресурсів, змішаних форм навчання, інтеграції мобільних пристроїв і зміні засобів технологічного компонента методичної системи, серед яких особливе місце посідають імерсивні технології.

В умовах освітньої реформи в Україні та запровадження нового типу закладів – академічних ліцеїв – актуалізується необхідність ґрунтовного аналізу сучасного стану організації процесу навчання в ЗЗСО та окреслення специфіки освітнього процесу в таких ліцеях.

1.2.1. Сучасний стан організації процесу навчання в закладах загальної середньої освіти України. Пандемія COVID-19 і повномасштабне вторгнення спричинили трансформацію ЗЗСО, де змішане навчання стало провідною моделлю, поєднуючи очні заняття з дистанційними та електронними технологіями. Для якісного освітнього процесу необхідні стабільний доступ до інтернету, технічне забезпечення, мотивація учнів і чітке розуміння цілей навчання. Водночас забезпечення цих умов залишається проблематичним, що зумовлює освітні втрати [380].

Моніторинг Державної служби якості освіти свідчить, що у 2023-2024 н. р. більшість закладів працювали в очному форматі (61%), 22% – у змішаному, 17% – дистанційно. Порівняно з попереднім роком частка очного навчання зросла на 14%, тоді як дистанційного – зменшилася на 12% [585]. У 2024-2025 н. р. кількість учнів становила 3 739 357, з них 59,5% навчалися очно, 10,5% – виключно дистанційно; серед самих закладів освіти 64% працювали очно, а 16,4% – лише дистанційно [481; 485]. Попри розширення очних форм, дослідження засвідчують погіршення психологічного стану здобувачів освіти, зростання рівня тривожності, втоми та зниження відчуття безпеки [410]. Крім того, переривання занять через повітряні тривоги та перебої з електропостачанням негативно впливають на якість навчання.

Науковці розглядають освітні втрати переважно як зниження когнітивних навичок, прогалини у знаннях і недосягнення очікуваних результатів навчання. Однак доцільно трактувати цей термін ширше – як втрати не лише у сфері

навчання, а й виховання, соціалізації та скорочення кількості учнів внаслідок міграції. У цьому дослідженні один із шляхів використання іммерсивних технологій буде спрямовано на подолання *навчальних втрат* – зниження рівня знань, умінь і навичок унаслідок переривання або уповільнення академічного прогресу [380].

Для подолання таких наслідків з вересня 2024 року в Україні реалізується програма «Екосистема для надолуження освітніх втрат» (<https://www.aitest.in.ua/>), створена на основі технологій штучного інтелекту. Її мета – допомогти учням самостійно виявляти прогалини у знаннях із ключових предметів, зокрема математики, фізики, історії України, англійської та української мов. Вона орієнтована на учнів 5-11 класів і ґрунтується на моделі «перевернутого класу», коли теоретичний матеріал опрацьовується самостійно, а педагог виступає наставником. Інструментом підтримки є «Кейс готових уроків» – структуровані модулі, що відповідають принципам евристичного навчання. Такий підхід сприяє активізації самостійної діяльності, розвитку навичок аналізу та персоналізації освітнього процесу.

Ефективність моделі подолання навчальних втрат значною мірою залежить від високого рівня візуалізації матеріалу та створення ефекту занурення учня у процес навчання. Заміна лекційно-пояснювальних методів активними формами навчання сприятиме самостійній роботі учнів на всіх етапах процесу. Інтеграція штучного інтелекту в таке середовище навчання відкриває можливості для створення інтерактивних навчальних ресурсів із підтримкою учня на кожному етапі його навчання-дослідження, а також для проведення аналізу навчальних досягнень і адаптації матеріалів відповідно до рівня знань учнів.

Аналіз результатів зовнішнього незалежного оцінювання (ЗНО) у 2020-2021 роках та національного мультипредметного тесту (НМТ) у 2022-2025 роках виявив суттєве зниження кількості учнів, які обирають для складання предмети природничого циклу (фізику, хімію, біологію та географію) з початком повномасштабного вторгнення, що особливо стосується фізики та хімії (табл. 1.4).

Таблиця 1.4.

Порівняльний аналіз результатів тестів ЗНО та НМТ з початком пандемії

Рік	Предмет	Загальна кількість зареєстрованих	Взяло участь, % від зареєстрованих	Не подолали пороговий бал
2020	Українська мова	369 562	275 101, 74,44%	8,32%
	Історія України	267 542	173 902, 65%	13,19%
	Математика	186 072	152 188, 81,79%	12,71%
	Фізика	28 110	22 291, 79,3%	7,7%
	Хімія	14 052	11 101, 79%	10,15%
	Біологія	113 895	74 464, 65,38%	5,51%
	Географія	30 939	21 035, 67,99%	5,56%
2021	Українська мова	126 419	68 716, 54,4%	7,45%
	Українська література	250 692	222 533, 88,8%	7,96%
	Історія України	298 994	203 361, 68%	18%
	Математика профіль	291 793	244 839, 83,9%	31,11%
	Математика стан-рт	77 340	9 246, 11,9%	
	Фізика	32 091	23 570, 73,5%	8,33%
	Хімія	12 742	9 885, 77,6%	10,8%
	Біологія	127 214	79 388, 62,4%	2,34%
	Географія	175 439	115 949, 66%	5,38%
2022	Українська мова	237 980	214 980, 90,1%	не встановлювався пороговий бал
	Історія України			
	Математика			
2023	Українська мова	288 935	268 219, 92,8%	0,09%
	Історія України	151 839	141 109, 93%	0,15%
	Математика	288 935	268 219, 92,8%	4,2%

Рік	Предмет	Загальна кількість зареєстрованих	Взяло участь, % від зареєстрованих	Не подолали пороговий бал
	Фізика	5 830	5 257, 90%	4,1%
	Хімія	3 448	3 220, 93%	0,4%
	Біологія	39 501	36 009, 91%	2,1%
	Географія	Не складалась		
2024	Українська мова	312 508	92,18% (основна сесія), 69,80% (додаткова сесія)	0,4%
	Історія України			0,1%
	Математика			12,8%
	Фізика	8 912	92,18% (основна сесія), 69,80% (додаткова сесія)	10,2%
	Хімія	3 533		8%
	Біологія	60 008		0,4%
	Географія	68 911		0,2%
2025	Українська мова	317 091	91,45% (основна сесія), 72,35% (додаткова сесія)	0,4%
	Історія України			0,16%
	Математика			11,9%
	Фізика	9 044		10,5%
	Хімія	2 918		6,2%
	Біологія	63 527		0,1%
	Географія	74 542		0,1%

Зниження інтересу до природничих дисциплін серед випускників ЗЗСО свідчить про обмежену результативність традиційних підходів до їх викладання в сучасних умовах, що зумовлює накопичення навчальних втрат. Проблема є особливо значущою, оскільки національна економіка потребує зростання кількості фахівців технічного спрямування. Низький рівень популярності фізики та хімії може пояснюватися комплексом чинників, серед яких:

- 1) недостатня мотивація учнів до вивчення природничих дисциплін,

зумовлена як суб'єктивними (індивідуальні інтереси, ставлення до предмета), так і об'єктивними (якість викладання, доступність навчальних ресурсів) чинниками;

2) усвідомлення учнями власної недостатньої підготовленості для успішного складання національного мультипредметного тесту;

3) застаріле матеріально-технічне забезпечення кабінетів природничих наук, що ускладнює організацію практичної та дослідницької діяльності;

4) недосконалість мережі ЗЗСО, яка не забезпечує належних умов для навчання й розвитку учнів, орієнтованих на природничо-математичну сферу [492].

Варто наголосити, що пандемія COVID-19 та повномасштабне вторгнення в Україну значно вплинули на освітній процес і психологічний стан учнів, однак низька популярність предметів природничого циклу має комплексний характер і зумовлена глибинними чинниками. Зокрема, йдеться про соціокультурні (зниження престижності освіти в цілому та недостатнє суспільне усвідомлення цінності природничо-математичних знань для професійної самореалізації), організаційно-управлінські (обмежена системна популяризація STEM-напрямів і формування попиту на відповідні компетентності на державному рівні) та педагогічні (невідповідність змісту й методів викладання сучасним потребам та навчальним мотивам учнів) чинники. Подібні тенденції простежуються не лише в Україні, а й у міжнародній освітній практиці [187; 239; 322].

Окремої уваги потребує ситуація з математикою, яку складають усі випускники ЗЗСО. У 2024 році саме з цього предмета зафіксовано найбільший відсоток випускників, які не подолали пороговий бал, що вказує на наявність системних труднощів у викладанні природничо-математичних дисциплін на рівні старшої школи.

Узагальнюючи, можна визначити низку ключових проблем, характерних для сучасної системи загальної середньої освіти України:

– перехід від традиційного до змішаного навчання відбувся раптово, що засвідчило недостатню готовність освітньої системи до дистанційного формату та спричинило зниження якості викладання, особливо з предметів природничо-

математичного циклу;

- у значної частини учнів не сформовано стійкої навчальної мотивації;
- випускники ЗЗСО часто не володіють належними навичками самостійного навчання, зокрема плануванням персональної освітньої траєкторії та відповідальністю за її результати;
- попри високий рівень цифровізації освітнього простору, наявність онлайн-шкіл і цифрових ресурсів, навчальні втрати зростають, що свідчить про труднощі в адаптації педагогів та учнів до нових умов організації навчання.

Одним із пріоритетних напрямів подолання виявлених проблем Міністерство освіти і науки України визначає перехід до старшої профільної школи, зокрема академічних та професійних ліцеїв. Мета цього переходу полягає у створенні гнучкої, індивідуалізованої системи навчання, що враховує освітні інтереси та потреби учнів, а також стимулює активне використання цифрових технологій.

Академічний ліцей визначається як заклад освіти, що забезпечує завершення здобуття повної загальної середньої освіти, здійснює академічну підготовку учнів та створює умови для поглиблення їхніх компетентностей у вибраних освітніх галузях відповідно до здібностей, інтересів і професійних орієнтирів для подальшого навчання у закладах вищої освіти [544]. Функціонування академічного ліцею передбачає розвиток здатності учнів до самостійного навчання, формування системного підходу до опанування знань, інтеграцію нових навчальних відомостей у вже сформовану систему знань, а також розвиток міждисциплінарних компетентностей [417].

Вивчення природничо-математичних дисциплін у старшій школі потребує поєднання ґрунтовного розуміння теоретичного матеріалу з розвитком дослідницьких умінь, практичних навичок та творчого підходу. Однак надмірна абстрактність змісту часто ускладнює зв'язок навчання з реальним життям і знижує інтерес учнів. Подолати цю проблему дозволяє використання імерсивних технологій, що відкривають нові можливості для інтерактивної взаємодії з навчальним матеріалом. Використання віртуальних лабораторій, симуляцій та

доповненої реальності сприяє глибшому розумінню складних явищ, створює ефект присутності й забезпечує високу мотивацію учнів, що відповідає концепції розвитку академічних ліцеїв.

Упродовж останнього десятиліття в науковій літературі активно досліджується проблема формування особистості через розвиток компетентностей у галузі природничих наук, технологій, інженерії та математики (STEM-освіта). До складників цієї освітньої моделі відносять дистанційне та електронне навчання, віртуальні лабораторії, віртуальну і доповнену реальності, аватари та динамічні симуляційні системи, які формують нову концепцію імерсивної освіти [264].

В Україні розвиток STEM-освіти підтримано на державному рівні через ухвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти [492], що також повністю узгоджується з концепцією академічних ліцеїв. Її ключовими завданнями є:

- 1) формування STEM-компетентностей учнів шляхом розвитку когнітивних навичок;
- 2) опанування науково-дослідницьких умінь, здатності до творчого розв'язання прикладних завдань;
- 3) формування алгоритмічного мислення, цифрової грамотності й інноваційності як основи творчих стратегій;
- 4) розвиток емоційного інтелекту, організаційних і комунікаційних здібностей;
- 5) виховання соціально компетентної особистості, здатної до самостійного вибору й відповідального прийняття рішень у різних життєвих ситуаціях.

Дослідження засвідчують, що навчання в межах STEM-освіти особливо потребує створення імерсивного середовища, оскільки воно забезпечує високий рівень інтерактивності, сприяє розвитку дослідницької та проєктної діяльності, а також організації роботи у співпраці [220; 356].

Отже, використання імерсивних технологій у процесі навчання потребує мультидисциплінарного підходу й найефективніше реалізується в моделі

змішаного навчання. Такий підхід дає можливість компенсувати навчальні втрати, підвищити мотивацію, візуалізувати складні наукові концепції та забезпечити формування інформаційно-комунікаційних компетентностей.

1.2.2. Організація освітнього процесу в академічних ліцєях. Відповідно до статті 10 Закону України «Про повну загальну середню освіту», освітній процес для учнів 10-12 класів організовується за двома циклами профільної середньої освіти [406; 491; 544]:

– перший цикл – профільно-адаптаційний (10 рік навчання), спрямований на надолуження навчальних втрат, остаточне визначення профілю подальшого навчання та завершення загальної підготовки;

– другий цикл – профільний (11-12 роки навчання), під час якого учні зосереджуються на поглибленому вивченні профільних предметів (інтегрованих курсів) та курсах «вільного вибору», не пов’язаних з обраним профілем.

Поділ навчання на два цикли дає змогу врахувати вікові та індивідуальні особливості учнів, їхні потреби й інтереси, а також сприяє формуванню індивідуальної освітньої траєкторії на основі усвідомленого вибору.

Профільна середня освіта реалізується в ліцєях, спрямування яких (академічне або професійне) визначається освітньою програмою закладу [488]. Відповідно до Державного стандарту [406], виокремлюють два напрями здобуття профільної освіти:

1) *академічне* – орієнтоване на продовження навчання на вищих рівнях освіти, поєднує зміст Державного стандарту з поглибленим вивченням окремих предметів;

2) *професійне* – зорієнтоване на ринок праці, ґрунтується на поєднанні стандарту загальної середньої освіти з професійною підготовкою відповідно до потреб і здібностей учнів.

У межах академічного ліцєю учні обирають профіль у межах кластерів: STEM, мовно-літературний чи соціально-гуманітарний, для поглибленого вивчення відповідних предметів і курсів.

Для ілюстрації відмінностей наведено порівняльний аналіз старшої школи

(до 2027 року) та закладів профільної освіти (з 2027 року) відповідно до нормативних документів [406; 566] (табл. 1.5).

Таблиця 1.5.

Порівняльний аналіз профільних ліцеїв та старшої школи

Тип закладів освіти	старші класи ЗЗСО	академічний ліцей	професійний ліцей	
категорія порівняння				
Термін навчання	2 роки (10-11 класи)	3 роки (10 рік – профільно-адаптаційний, 11-12 роки навчання – профільні)		
Тип	заклад освіти I-III рівнів	заклад освіти тільки профільного навчання		
Кількість учнів	відповідно до поданих заяв	мінімальна кількість учнів на паралелі – 100, в ліцеї – 300 учнів, оптимальна – 600 учнів		
Спрямування навчання	обов’язкове вивчення базових предметів	поглиблене вивчення обраних предметів	професійно орієнтоване навчання	
Освітні програми	єдиний комплекс освітніх компонентів.	поглиблені орієнтири та вільний вибір	програми з урахуванням професійних стандартів	
Організація навчання	класно-урочна система	модульність, проєктні методи, гнучкі групи	модульність, виробнича практика	
Матеріальна база	різнорівневе забезпечення залежно від закладу	сучасне обладнання, співпраця зі стейкхолдерами	лабораторії, виробничі майстерні	
Педагогічний колектив	призначений за штатним розписом	на конкурсних засадах		
Індивідуальна	–	+	+	

Тип закладів освіти	старші класи ЗЗСО	академічний ліцей	професійний ліцей
освітня траєкторія			
Гнучкість процесу навчання	–	+	+
Тимчасові групи для вивчення окремих предметів	–	+	+
Можливість змінювати профіль навчання	+	+	+
Кількість дисциплін на рік	17-20	до 12 з можливістю перерозподілу годин	залежно від обраної програми
Кількість навчальних годин	визначена навчальними програмами	кількість годин є фіксованою для обов'язкових освітніх компонентів та кількість годин, що може бути перерозподілена в межах профілю	
Система оцінювання	знання/уміння	компетентнісний підхід, врахування особистих досягнень	компетентнісний та практичний підхід

Організація освітнього процесу в академічному ліцеї базується на поєднанні місії (орієнтації на сучасні потреби) та візії (перспективного розвитку), що разом формують стратегію закладу. До складників цієї стратегії належать місія, цінності, орієнтири, стратегічні цілі та індивідуальні освітні завдання учасників освітнього процесу. Концептуальні засади та вимоги до результатів навчання в академічному ліцеї подано на рис. 1.8, який ілюструє процесуальну модель освітнього процесу з інтеграцією стандартів та індивідуальних траєкторій [406].

Предмети природничо-математичного циклу в академічних ліцеях

вивчаються відповідно до обраного профілю або кластера – на поглибленому рівні чи як інтегрований курс. Вибір учнями профілю STEM-кластера свідчить про їхню готовність орієнтуватися на подальшу освітню й професійну траєкторію, а також усвідомлювати роль науки та технологій у розвитку держави та світу.



Рис. 1.8. Структурна схема освітнього процесу в академічному ліцеї, розроблена автором відповідно до [406]

Специфіка вивчення природничо-математичних предметів у ліцеї полягає в:

- 1) усвідомленому виборі профілю з урахуванням подальшого навчання та

професійної перспективи;

2) переході від конкретного до абстрактного мислення з формуванням аналітичних навичок: роботі зі складними термінами, теоріями, аналізом, синтезом та узагальненням для створення системи знань;

3) зростанні обсягу та складності матеріалу, що вимагає вміння аналізувати, синтезувати, узагальнювати та вибудовувати власну систему знань;

4) орієнтації на практичне застосування знань через лабораторні роботи, симуляції, наукові проєкти та дослідження з використанням математичного моделювання й прогнозування;

5) міждисциплінарній інтеграції навчання відповідно до концепції STEM-освіти, що формує цілісне бачення взаємозв'язку науки й технологій;

6) високому професіоналізмові педагогічного складу та постійному підвищенню кваліфікації;

7) сучасному технічному забезпеченні (лабораторії, інноваційні технології, програмне забезпечення).

Учні визначають профіль навчання на початку 10-го класу, проте протягом адаптаційного року мають можливість його змінити. Відповідно до Державного стандарту, обов'язковим предметом для всіх профілів є математика, тоді як природничі дисципліни залежать від обраного напрямку.

Створення розгалуженої мережі академічних ліцеїв розглядається як одне зі стратегічних завдань державної освітньої політики. Це сприятиме формуванню учнівської молоді з розвиненим науковим мисленням, готової до викликів XXI століття та інтеграції у світовий освітній і науковий простір.

1.3. Стан упровадження імерсивних технологій у процес навчання в закладах освіти

Цілеспрямоване впровадження імерсивних технологій в освіту розпочалося зі зміною освітньої парадигми, орієнтованої на персоналізацію та інтерактивність навчання. Дослідження підтверджують, що VR, AR і MR здатні підвищувати результативність навчання, мотивацію, критичне мислення та творчу уяву, сприяючи формуванню ключових компетентностей XXI століття: інформаційної

грамотності, комунікаційних навичок, глобальної обізнаності, творчості та співпраці [65; 301]. Популяризація імерсивних технологій у навчальному процесі зумовлена кількома чинниками [578]: 1) здешевленням і поширенням апаратного забезпечення; 2) зростанням кількості програмних застосунків освітнього спрямування; 3) інвестиційною підтримкою галузі з боку держави та бізнесу; 4) поширенням імерсивних технологій у медицині, інженерії, культурі та інших сферах.

1.3.1. Використання імерсивних технологій навчання в закладах освіти.

Перші спроби використання імерсивних технологій в освіті датуються 1990-ми роками. Зокрема, у 1995 році вчені Університету Північної Кароліни розробили одну з ранніх AR-систем для вивчення анатомії, що надавала студентам можливість візуалізувати тривимірні моделі кісток на реальних об'єктах [159]. У 2000-х роках з'явилися концепції віртуальних класів, потенціал яких для університетської освіти обґрунтовувала С. Гілтц (S. Hiltz) [131]. Через високу вартість обладнання та обмежені графічні можливості такі технології на початковому етапі застосовувалися переважно у спеціалізованих закладах (медичних і військових), однак саме вони заклали підґрунтя для формування методичної системи використання імерсивних технологій, наприклад, через стандартизацію симуляцій у тренувальних програмах.

Еволюція імерсивних технологій у сучасному розумінні (віртуальна, доповнена та змішана реальність) розпочалася в освіті наприкінці ХХ століття, але концепція імерсивного навчання має глибші корені. У середині 1960-х років методи мовного занурення, які передбачали інтенсивне вивчення іноземних мов у штучно створених мовних середовищах, продемонстрували здатність підвищувати мотивацію учнів та інтенсифікувати процес навчання [97]. Більш докладний огляд еволюції імерсивного навчання подано в додатку А.

Новий етап розвитку імерсивних технологій в освіті розпочався після ухвалення у 2010 році Національного освітнього технологічного плану США (National Education Technology Plan 2010) «Transforming American Education: Learning Powered by Technology» [337]. Цей план передбачав поєднання

традиційних курсів із цифровими інструментами для створення актуального та персоналізованого навчального досвіду. У США з'явилися віртуальні школи, які пропонували онлайн-курси як доповнення до традиційного навчання, а в деяких випадках, як-от Florida Virtual School, надавали повноцінну середню освіту з видачею атестатів [432].

США й надалі демонструють лідерство в інтеграції цифрових технологій: розвиток хмарних сервісів для управління освітою, впровадження імерсивних середовищ, персоналізація навчання та підтримка спеціалізованих навичок [170]. Успішність таких практик підтверджується поєднанням державного фінансування та приватних інвестицій.

Інтенсивне впровадження ІКТ стало поштовхом до реформ не лише в США, а й у Європі та Україні. Зокрема, пандемія COVID-19 прискорила трансформацію освіти через перехід до дистанційного навчання та зростання популярності віртуальних платформ [144]. Найбільшими платформами для підтримки імерсивного навчання є «Ініціатива імерсивної освіти» (Immersive Education Initiative (<http://immersiveducation.org>)) та «Дослідницька мережа імерсивного навчання» (Immersive Learning Research Network iLRN (<http://www.immersivelrn.org>)). Їхня мета – створення освітніх середовищ, насичених імерсивними технологіями, які забезпечують інтерактивність, доступність і персоналізацію навчання.

Відповідно до звіту індустрії освіти [144], цілеспрямоване використання імерсивних технологій у навчанні базується на кількох ключових аспектах:

- *інноваційні педагогічні моделі*: застосування ігрових підходів, онлайн-лабораторій та оцінювання в реальному часі сприяє розвитку навичок мислення, розуміння, творчості, уяви та розв'язання проблем;

- *симуляції*: віддалені або віртуальні онлайн-лабораторії забезпечують економічно вигідний і гнучкий доступ до експериментального навчання, що особливо важливо для природничих дисциплін;

- *міжнародна співпраця* знімає бар'єри в навчанні та створює умови для індивідуалізованого навчання, вибору курсів та технологій для навчання;

– *формувальне оцінювання*, побудоване на технологіях, надає можливість вчителям відстежувати процес отримання знань учнями та коригувати його відповідно до отриманих даних;

– *електронне навчання*, яке містить відкриті освітні ресурси та масові відкриті онлайн-курси для побудови персональної траєкторії навчання учнів.

Європейський Союз у «Плані дій цифрової освіти» (2021-2027) [86] та мета 4 Програми Організації об'єднаних націй (ООН) «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року» [338] визначають стратегічними завданнями: створення інноваційного освітнього середовища, розвиток цифрових компетентностей, інтеграцію штучного інтелекту, забезпечення рівних можливостей у цифровій освіті.

Аналіз баз даних Scopus та Google Scholar свідчить, що імерсивні технології найбільш активно застосовують у процесі навчання в медицині, архітектурі та будівництві, дизайні, авіації, суднобудуванні, мовній освіті, археології та музеєзнавстві. Водночас більшість досліджень мають фрагментарний характер і зосереджуються на використанні VR-гарнітур або AR-застосунків, що обмежує комплексне бачення їхнього потенціалу.

Нижче будуть розглянуті ключові дослідження, що стали основою для активної імплементації імерсивних технологій у заклади освіти та сприяли формуванню нових педагогічних підходів.

У 2003 році при Стенфордському університеті була створена Віртуальна лабораторія людської взаємодії (Virtual Human Interaction Lab, VHIL (<https://vhil.stanford.edu/>)), яка зосередилася на вивченні психологічних і поведінкових впливів імерсивних технологій. У межах діяльності лабораторії проводилися дослідження із залученням учнів, студентів і науково-педагогічних працівників щодо ефективності використання VR у різних освітніх контекстах. Особливу увагу приділяли соціальній взаємодії у віртуальній, доповненій та змішаній реальностях, а також впливу рівнів занурення на психологічний стан людини та її адаптацію в умовах соціальних обмежень.

За результатами досліджень VHIL, імерсивні технології мають потенціал

впливати на ключові когнітивні процеси, підвищувати рівень самоефективності та мотивації до навчання. Вони також сприяють розв'язанню проблем, що виникають у викладанні, зокрема в галузі природничих наук, і відкривають нові можливості для адаптації VR та AR під освітні потреби [211; 268; 345].

У 2005 році було створено міжнародну спільноту «Ініціатива імерсивної освіти», яка об'єднала провідних експертів у сфері імерсивного навчання, наукові установи, університети, музеї та комерційні компанії. Метою ініціативи стало поширення практик використання VR та AR у дистанційній освіті. Зокрема, програма «Імерсивна освіта для дистанційних учнів» (Immersive Education for Remote Learners) забезпечувала учнів і вчителів навчальними матеріалами та необхідним обладнанням для організації освітнього процесу у віртуальних і доповнених середовищах [142].

Того ж року в Університеті Центральної Флориди дослідники під керівництвом Л. Дікер (L. Dieker) розробили середовище віртуальної реальності TeachLivE, яке стало новаторським прикладом змішаної реальності для підготовки майбутніх учителів. Це середовище, що поєднувало віртуальну симуляцію та інтерактивну рольову гру, надавало можливість студентам-педагогам відпрацьовувати професійні навички у безпечних і контрольованих умовах. Віртуальні учні моделювали різні навчальні ситуації, а здобувачі освіти мали можливість практикувати методи викладання, управління класом і розв'язання педагогічних конфліктів. Починаючи з 2009 року, TeachLivE набуло широкого поширення як «синтетичне середовище навчання», що активно використовувалося в університетах для формування педагогічної компетентності [85].

За спостереженнями дослідників [339], найбільшого поширення імерсивні технології набули у країнах із високим рівнем економічного, технологічного та соціального розвитку. В таких країнах забезпечено доступ до інтернету, сучасних мобільних пристроїв та програмного забезпечення, що створює сприятливі умови для їхньої ефективною інтеграції в освітні процеси.

Сьогодні ринок освітніх застосунків на основі VR та AR активно

розвивається й характеризується значною різноманітністю: від безоплатних ресурсів до програм з умовною або повною оплатою. Найчастіше їх використовують у вивченні іноземних мов, хоча поступово спектр застосувань розширюється.

Серед найбільш перспективних і масштабних проєктів можна виділити:

– **Labster – 3D-проєкт** (<https://www.labster.com/>) – інтерактивна віртуальна лабораторія, орієнтована на підтримку STEM-освіти. Проєкт, започаткований провідними університетами США (Гарвард, Стенфорд, Массачусетський технологічний інститут), пропонує симуляції з різних галузей науки (анатомія, біологія, біохімія, фізика, науки про Землю тощо). У 2022 році платформа Labster стала доступною для українських шкіл, коледжів і університетів, відкривши безоплатний доступ до інтерактивних курсів;

– **ARiSE** (Augmented Reality in School Environments), реалізований у 2006-2008 роках у межах програми ЄС «Горизонт 2020». Його метою було створення середовища навчання на основі технологій доповненої реальності для учнів початкової та середньої шкіл. Результати дослідження засвідчили потенціал AR у підвищенні мотивації учнів, розвитку командної роботи, а також у полегшенні засвоєння складних наукових і культурних понять [23];

– **ARETE** (Augmented Reality Interactive Educational System – 2019-2023), спрямований на вдосконалення AR-застосунків та створення інноваційних навчальних програм для різних вікових груп – від початкової школи до університетів. Особливий акцент робився на інтерактивних освітніх матеріалах, які підвищували мотивацію учнів і сприяли розвитку критичного мислення та творчості [24].

За результатами аналізу С. Литвинової та Н. Сороко [453], напрацювання проєктів були реалізовані у трьох напрямках: науково-освітньому, економічному та суспільному. Їхня мета полягала у створенні стійкої та конкурентоспроможної екосистеми впровадження AR-технологій. Серед ключових досягнень варто відзначити: розроблення відкритих AR Authoring інструментів, створення аналітичних систем для оцінки впливу технологій, формування підходів до

використання AR з орієнтацією на потреби ринку, а також активне залучення провідних організацій до співпраці;

– **Google Expeditions**, розроблений для підтримки навчання учнів початкової та середньої шкіл, надавав учителям можливість організовувати віртуальні екскурсії з історії, географії, біології, астрономії, літератури та мистецтва. Учні отримували можливість досліджувати культурні та природні об'єкти, взаємодіяти з навчальними матеріалами у віртуальному середовищі та формувати нові знання на основі попереднього досвіду. У такому середовищі роль учителя полягала в організації процесу навчання та підтримці пізнавальної активності учнів, тоді як самі учні залучалися до дослідницької діяльності, що сприяло кращому засвоєнню матеріалу через механізми асиміляції та акомодатії [248]. Треба зазначити, що з 30 червня 2021 року проєкт перестав підтримуватися Google, але велика кількість віртуальних екскурсій, які були доступні в Google Expeditions, були перенесені до Expeditions Pro та Google Arts & Culture, що надало можливість зберегти його потенціал;

– **Microsoft HoloLens** – пристрій змішаної реальності у формі окулярів, що поєднує реальні й віртуальні об'єкти в єдиному просторі [220]. Завдяки цьому створюється можливість занурення у навчальні сценарії з одночасною взаємодією з реальним оточенням. У 2019 році була представлена вдосконалена версія HoloLens 2, яка забезпечила покращену зручність використання та розширені можливості застосування у процесі навчання.

Найбільш відомими сучасними проєктами, спрямованими на інтеграцію імерсивних технологій у сферу освіти, є низка масштабних ініціатив, реалізованих у різних регіонах світу.

XR Classroom for Emotional and Cognitive Learning – освітній європейський проєкт, започаткований у Фінляндії у 2020 році, спрямований на інтеграцію технологій доповненої, віртуальної та змішаної реальності у процес навчання. Основна ідея полягає у створенні багатовимірного середовища навчання, яке поєднує когнітивний та емоційний розвиток учнів, використовуючи потенціал імерсивних технологій. Метою проєкту є розробка педагогічної моделі, що сприяє

поєднанню традиційних методів навчання з імерсивними інструментами для розвитку критичного мислення, інноваційності, емоційного інтелекту та навичок співпраці. Особливу увагу в «XR Classroom» приділено вивченню впливу імерсивних технологій на емоційне залучення та когнітивне навантаження учнів [360].

Ще один європейський проєкт – *XR2Learn* – стартував 1 січня 2023 року за підтримки програми Horizon Europe. Його метою є створення освітньої платформи та спільноти, яка об'єднує розробників технологій, педагогів, постачальників навчальних матеріалів та кінцевих користувачів. Проєкт передбачає використання інструментів для аналізу емоційного та когнітивного стану учнів, адаптації навчальних матеріалів у режимі реального часу, а також пілотування та масштабування навчальних ресурсів, що базуються на XR [185].

В Азії розвиток імерсивних технологій у системі освіти активно підтримується урядом Сінгапуру. У межах стратегії *Smart Nation 2.0* з 2024 року Міністерство освіти фінансує проєкти з VR/AR, спрямовані на впровадження XR-інструментів у всі школи країни. При цьому освітні застосунки та платформи узгоджуються з національною навчальною програмою, що забезпечує їх відповідність державним стандартам та інтегрованість у єдину освітню екосистему [68; 310].

У США найбільш відомим є проєкт *Immersion Lab* – міждисциплінарний науково-освітній простір Массачусетського технологічного інституту, створений у межах проєкту MIT.nano (<https://mitnano.mit.edu/>) для досліджень, розробок і навчання із застосуванням технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальності. Лабораторія об'єднує ресурси для високоточної візуалізації, збору біометричних і поведінкових даних, аналізу руху, а також інтерактивної взаємодії з багатовимірними науковими даними. Її діяльність спрямована на підтримку досліджень у галузях науки, інженерії, мистецтва, медицини та педагогіки через занурення користувача у цифрово-модельовані середовища.

Immersion Lab функціонує як платформа відкритого доступу для студентів, викладачів і дослідників MIT та зовнішніх користувачів, сприяючи інтеграції

імерсивних технологій у процес навчання. У лабораторії реалізуються проекти, присвячені експериментальному навчанню, тренуванню з використанням VR-симуляцій, а також дослідженню когнітивних і поведінкових аспектів навчання в імерсивних середовищах.

Подібні дослідницькі лабораторії активно функціонують і в інших країнах. Так, у Великій Британії працює Лабораторія імерсивних віртуальних середовищ Університетського коледжу Лондона (University College London Immersive Virtual Environments Laboratory, IVEL – <https://vr.cs.ucl.ac.uk>), де вивчаються когнітивні процеси, соціальна поведінка та навчання у VR-середовищах. В Австралії діє Центр розширеного сприйняття та взаємодії Університету Нового Південного Уельсу (UNSW Expanded Perception & Interaction Centre, EPIC – <https://www.unsw.edu.au>), орієнтований на застосування XR для візуалізації складних наукових явищ у STEM-освіті. У Канаді при Університеті Британської Колумбії створено Лабораторію новітніх медіа (Emerging Media Lab, EML – <https://eml.ubc.ca/>), яка спеціалізується на спільному розробленні освітніх VR/AR-рішень викладачами та студентами.

У міжнародному вимірі впровадження імерсивних технологій в освіту регламентується низкою документів, підготовлених у межах діяльності ISO/IEC. Так, у Білій книзі «Рекомендації щодо розроблення систем освіти та навчання на основі VR та AR» («White Paper: Guidelines for Developing VR and AR Based Education and Training Systems») [351] обґрунтовується потреба створення уніфікованих підходів до використання VR та AR у навчанні. У документі окреслено ключові поняття, сфери застосування, архітектуру інформаційного моделювання та функціональні компоненти VR/AR-систем для освітніх цілей. Підкреслюється важливість стандартизації технологій та навчальних матеріалів з метою забезпечення сумісності, ефективності та безпеки освітнього процесу.

Подальший розвиток цієї тематики відображено у технічних звітах ISO/IEC. Зокрема, технічний звіт ISO/IEC TR 23844:2023 визначає потенційні напрями використання імерсивних технологій у навчанні, акцентуючи на застосуванні доповненої, віртуальної та змішаної реальності та формулюючи пропозиції щодо

їх стандартизації. А документ ISO/IEC TR 23842-1:2020 містить керівні принципи для використання VR-вмісту в освітніх цілях, зосереджуючись на зменшенні ризиків плутанини між реальним та віртуальним середовищем у користувачів [148; 149].

Міжнародні організації також формують нормативні орієнтири для розвитку XR-освіти. Так, рекомендації Організації Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури (ЮНЕСКО) визначають необхідність формування у педагогів компетентностей щодо створення, впровадження та управління імерсивними інструментами, а також ефективного використання цифрових ресурсів для підвищення якості навчання [340]. Європейський Союз у Плані дій із цифрової освіти на 2021-2027 роки («Digital Education Action Plan (2021-2027)») виокремлює як стратегічні напрями розвиток високоефективної екосистеми цифрової освіти та посилення цифрових навичок усіх учасників навчального процесу [86].

Разом із тим, попри масштабність означених проєктів, упровадження імерсивних технологій супроводжується низкою бар'єрів. Серед них – недостатній рівень розвитку цифрової інфраструктури, обмежене фінансування для забезпечення закладів сучасними XR-рішеннями, відсутність якісних локалізованих навчальних матеріалів, а також інституційна політика, яка не завжди підтримує інновації [231; 254]. Важливою проблемою залишається дефіцит цифрових компетентностей педагогів, що ускладнює системне впровадження XR-інструментів у навчальний процес [254].

Таким чином, міжнародний досвід доводить, що ефективність імерсивних технологій у навчанні безпосередньо залежить від державної підтримки, відповідності освітнім стандартам, якості цифрової інфраструктури та професійної готовності педагогів. Переваги імерсивних технологій полягають у безпечності навчальних експериментів, можливості візуалізувати абстрактні поняття, економічності та доступності для змішаного й інклюзивного навчання.

1.3.2. Стан використання імерсивних технологій у системі освіти України. У системі освіти України на цей час не існує окремого закону, що

регламентує використання імерсивних технологій у ЗЗСО. Водночас їх застосування частково підтримується через чинні нормативно-правові акти, концепції та методичні рекомендації, спрямовані на цифровізацію й інноваційний розвиток освіти. Імерсивні технології поступово інтегруються у процес навчання на основі локальних ініціатив, проєктів та пілотних програм.

Формування цифрових компетентностей учнів відбувається завдяки ситуативному використанню таких технологій у закладах освіти. Аналіз наукових публікацій свідчить про позитивний вплив їхнього впровадження на організацію навчання, підвищення зацікавленості учнів і розширення можливостей візуалізації матеріалу. Зокрема, дослідники наголошують на доцільності включення VR/AR-ресурсів у середовище навчання як складника сучасного освітнього процесу [384; 563; 576]. Наприклад, у листопаді 2024 року Міністерство освіти і науки України підписало меморандум про співпрацю з компанією SimLab Soft щодо впровадження VR-технологій у вищій освіті [574], що відкриває перспективи для поширення подібних практик і в ЗЗСО.

Наукові джерела вказують, що в Україні імерсивні технології переважно застосовуються для [548; 568]: 1) проведення тренінгів, лекційних, практичних та лабораторних занять; 2) організації квестів, конференцій, спільних переглядів тематичних фільмів; 3) здійснення презентацій (навчальних, реальних продуктів) із можливістю спілкування та обміну досвідом; 4) гейміфікації навчальних модулів, організації ділових/рольових ігор.

Серед перших закладів освіти в Україні, які змогли втілити в навчання імерсивність у її першосутності, побудувати імерсивне освітнє середовище шляхом використання технологій занурення, створення ефекту живої присутності, через застосування методів театральної педагогіки та моделювання інтерактивної міжсуб'єктної взаємодії, є приватна сімейна школа «АІСТ» у м. Вінниці, заснована у 1990 році [403]. Основою побудованого в школі імерсивного середовища навчання було занурення в мистецтво і прояв інтелектуальної та емоційної активності через театральні заходи. Метою такого середовища було навчити дітей не лише основ наук, а й навчити співпереживати, дружити, брати на

себе відповідальність за результат власної праці.

У 2021 році Інститут цифровізації освіти НАПН України здійснив експертизу програмного забезпечення з об'єктами доповненої реальності, інтегрованими в підручники з фізики (під ред. В. Бар'яхтара). У межах проєкту «Освітня агенція міста Києва» було започатковано впровадження AR-підтримки друкованих підручників для учнів середньої та старшої школи. На початковому етапі ця ініціатива охоплювала лише природничі дисципліни, однак у перспективі передбачалося розширення на інші освітні предмети [452].

Цей проєкт є частиною ширшої тенденції в STEM-освіті України, де з 2015 року починають впроваджувати VR/AR-елементи в підручники та посібники, а IT-компанії пропонують готові рішення для інтерактивного навчання [450].

Важливим напрямом розвитку імерсивних технологій стали регіональні освітні ініціативи. У 2022-2023 роках реалізовано низку проєктів, зокрема «Віртуальна реальність єднає Карпати: інтерактивні шкільні лабораторії» на Закарпатті та «Перший імерсивний мультифункціональний хаб» на Тернопільщині, який згодом був поширений і на інші регіони. Ці проєкти, підтримані Міністерством цифрової трансформації України та Програмою розвитку ООН, передбачали застосування VR-технологій для візуалізації навчальних тем у 7-11 класах за допомогою спеціального обладнання й програмного забезпечення [550]. Їхня ключова мета полягала у створенні сучасних середовищ навчання, які дають можливість «оживляти» підручник і тим самим посилювати практико-орієнтований характер шкільної освіти.

Серед платформ, що забезпечують підтримку імерсивного навчання в Україні, слід відзначити закордонні MozaBook, MozaWeb та українські розробки AR_Book, BookVAR та «Евріка 3D». Платформи пропонують широкий спектр інтерактивних матеріалів, інтегрованих у шкільні програми, і надають можливість реалізувати як індивідуальні, так і групові форми навчальної діяльності. Зокрема:

- MozaBook / MozaWeb надають доступ до цифрових підручників, інтерактивних моделей і тренажерів, підтримуючи як традиційне, так і дистанційне навчання;

– AR_Book, створена у 2022 році за підтримки МОН, містить інтерактивні уроки, що відповідають чинним навчальним програмам, та орієнтована на забезпечення навчання під час воєнних дій;

– BookVAR – спеціалізується на візуалізації експериментів і процесів у природничих дисциплінах, надає можливість відтворювати складні чи небезпечні досліди у VR/AR-середовищі, що робить його найбільш ефективною платформою для предметів природничо-математичного циклу; візуалізує навчальний матеріал підручників [546];

– Евріка 3D – потужна українська навчальна моноплатформа, спеціально розроблена для візуалізації складних природничих концепцій за допомогою 3D-анімації, симуляцій та імерсивних навчальних матеріалів.

З 2021 року науковці відділу технологій відкритого навчального середовища ЦО НАПН України здійснюють дослідження, спрямовані на вивчення можливостей використання імерсивних технологій у закладах освіти. Результатами цієї роботи є методичні рекомендації для педагогів щодо організації освітнього процесу із застосуванням VR/AR-інструментів, каталог актуальних імерсивних технологій для організації навчання та тренінги для підвищення їхньої кваліфікації. Водночас сучасний стан упровадження таких технологій у ЗЗСО України залишається фрагментарним. Відсутність достатньої доказової бази ефективності, невизначеність вікових обмежень, методичних підходів до інтеграції та критеріїв оцінювання результатів обумовлюють потребу в подальших ґрунтовних педагогічних дослідженнях. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність розроблення нормативних орієнтирів і методичних засад, що забезпечать системне впровадження імерсивних технологій у процес навчання природничо-математичних предметів.

Отже, проведений аналіз стану використання імерсивних технологій у системі освіти України засвідчує як наявність позитивних результатів і поодиноких успішних практик, так і низку проблем, що стримують їхнє широке поширення. Разом із тим виявлені тенденції надають можливість визначити перспективні напрями інтеграції VR/AR у діяльність академічних ліцеїв, зокрема

в аспектах профільного навчання природничо-математичних предметів, розвитку STEM-освіти, індивідуалізації навчальних траєкторій та організації навчання. Таким чином, аналіз сучасного стану впровадження імерсивних технологій створює підґрунтя для обґрунтування їхньої доцільності та можливостей використання в академічних ліцєях.

Висновки до розділу 1

У першому розділі здійснено комплексний теоретичний аналіз сутності імерсивності та імерсивних технологій у контексті сучасної освіти, що дало змогу визначити теоретичні передумови їх використання у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцєїв.

У результаті аналізу філософських, культурологічних, психологічних, технологічних і педагогічних підходів до трактування поняття імерсивності встановлено, що її генеза пов'язана з розвитком мистецьких практик, спрямованих на емоційне, сенсорне та когнітивне залучення суб'єкта. З'ясовано, що у сучасних наукових дослідженнях імерсивність набула міждисциплінарного характеру та розглядається як багатовимірний феномен, що поєднує технологічні характеристики середовища, суб'єктивний досвід користувача, особливості змістового наповнення та діяльнісну взаємодію у змодельованому просторі. Систематизовано основні складники імерсивності та обґрунтовано доцільність її педагогічної інтерпретації як дидактично значущої характеристики освітнього процесу.

Аналіз історичного розвитку імерсивних технологій засвідчив еволюцію засобів занурення від художніх і візуалізаційних практик до сучасних цифрових середовищ, здатних забезпечувати інтерактивну взаємодію користувача з навчальними матеріалами. Встановлено, що розвиток технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальності, а також концепцій розширеної реальності й метавсесвіту сприяв формуванню нового підходу до організації освітнього процесу, орієнтованого на активну пізнавальну та дослідницьку діяльність учнів.

Систематизовано види імерсивних технологій та визначено їхній освітній потенціал. Встановлено, що до імерсивних технологій належать системи

віртуальної, доповненої, змішаної та розширеної реальності, а також технології панорамного відео, голограми, телеприсутність та тактильні технології. Аналіз наукових джерел і освітньої практики засвідчив, що їх використання забезпечує візуалізацію складних і абстрактних понять природничо-математичного циклу, підтримує активну взаємодію учнів з навчальним змістом та сприяє формуванню предметних і ключових компетентностей.

У межах дослідження уточнено зміст понять «імерсивне навчання», запропоновано авторське трактування понять «імерсивні технології навчання» та «імерсивне середовище навчання», що дало змогу визначити їх місце в системі сучасної цифрової освіти та конкретизувати особливості організації навчання в умовах використання імерсивних технологій.

Встановлено, що організаційні особливості академічних ліцеїв та специфіка навчання природничо-математичних предметів створюють сприятливі передумови для педагогічно доцільного використання імерсивних технологій. Профілізація навчання, підтримка індивідуальних освітніх траєкторій, поєднання індивідуальної та командної роботи, науково-дослідна й проєктна діяльність узгоджуються з потенціалом імерсивних технологій щодо візуалізації складних об'єктів і процесів, організації експериментальної діяльності, розвитку просторового мислення, наукового мислення та підтримки STEM-орієнтованого навчання.

Аналіз вітчизняної та закордонної освітньої практики засвідчив, що найбільш активно імерсивні технології використовуються у STEM-освіті, природничих науках, медицині та професійній підготовці. Встановлено, що у країнах із високим рівнем цифровізації освіти їх упровадження має системний характер і підтримується державними та інституційними програмами, тоді як в Україні переважають локальні ініціативи та окремі освітні проєкти, спрямовані на апробацію можливостей імерсивних технологій у навчальному процесі.

Визначено основні переваги та обмеження використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів. До їхніх переваг віднесено підвищення наочності навчання, активізацію пізнавальної діяльності, розвиток дослідницьких умінь, підтримку індивідуалізації навчання та

підвищення ефективності процесу навчання та мотивації. Водночас встановлено, що їх широке впровадження стримується недостатнім рівнем матеріально-технічного забезпечення закладів освіти, обмеженим доступом до спеціалізованого обладнання, потребою у відповідній підготовці педагогів і недостатньою кількістю педагогічно обґрунтованих методичних розробок.

Результати теоретичного аналізу дали змогу визначити сутність імерсивності та імерсивних технологій, уточнити понятійно-категоріальний апарат дослідження, обґрунтувати освітній потенціал імерсивних технологій, виявити особливості організації імерсивного середовища навчання та встановити умови їхньої педагогічно доцільної інтеграції в освітній процес академічного ліцею. Сукупність отриманих результатів становить теоретичне підґрунтя для обґрунтування концептуальних засад використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів і розроблення структурно-компонентної моделі імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів.

Основні результати першого розділу опубліковано у роботах [273; 274; 275; 276; 426; 502; 508; 519; 531; 535; 541].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

2.1. Загальна методика дослідження

Провідна ідея дослідження полягає в тому, що ефективне використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв потребує не фрагментарного застосування окремих цифрових засобів, а їхньої цілеспрямованої інтеграції в освітній процес на основі авторської науково обґрунтованої методичної системи, яка забезпечує педагогічно доцільне поєднання змісту, методів, форм і засобів навчання відповідно до освітніх потреб учнів та сучасних вимог до якості освіти.

Провідна ідея дослідження відображена в *гіпотезі*, яка ґрунтується на припущенні, що впровадження методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях сприятиме підвищенню рівня навчальних досягнень учнів та розвитку їхнього просторового мислення.

Загальна гіпотеза конкретизується в *часткових гіпотезах*:

1) ефективна інтеграція імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв забезпечується за умови наукового обґрунтування педагогічних засад їх використання, визначення структури імерсивного середовища навчання та розроблення методичних підходів до його організації;

2) реалізація розробленої методичної системи використання імерсивних технологій, що поєднує взаємопов'язані цільовий, змістовий, технологічний, комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти, забезпечує цілісну інтеграцію імерсивних технологій в освітній процес академічних ліцеїв;

3) систематичне використання імерсивних технологій відповідно до

розробленої методичної системи сприятиме підвищенню навчальних досягнень учнів академічних ліцеїв, розвитку їхнього просторового мислення та підвищенню ефективності навчання природничо-математичних предметів.

Методологічний концепт визначає загальну логіку дослідження, проєктування та реалізації методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Його основу становить взаємодія системного, компетентнісного, діяльнісного та особистісно орієнтованого підходів. Системний підхід забезпечує розгляд імерсивного середовища навчання та методичної системи як цілісних педагогічних систем, визначення їхньої структури, функцій і взаємозв'язків між компонентами. Компетентнісний підхід визначає цільові результати навчання та орієнтує методичну систему на формування ключових і предметних компетентностей учнів. Діяльнісний підхід обґрунтовує організацію навчання через активну пізнавальну, дослідницьку та проєктну діяльність, у якій імерсивні технології виступають засобом досягнення навчальних цілей. Особистісно орієнтований підхід забезпечує врахування індивідуальних освітніх потреб, підтримку суб'єктності учнів і побудову індивідуальних освітніх траєкторій.

Теоретичний концепт розкриває наукові засади побудови методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Його основу становлять положення педагогіки, психології, теорії навчання, сучасні концепції цифровізації освіти та імерсивного навчання, наукові підходи до побудови методичних систем, організації імерсивного середовища навчання, інтеграції імерсивних технологій в освітній процес, а також теоретичні положення щодо формування ключових і предметних компетентностей, розвитку пізнавальної активності, просторового мислення й дослідницьких умінь учнів. Сукупність цих положень визначає теоретичні засади побудови авторської методичної системи.

Методичний концепт конкретизує теоретичні положення на рівні організації навчання та визначає структуру авторської методичної системи використання імерсивних технологій. Він охоплює цільовий, змістовий,

технологічний, комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти, принципи їх взаємодії, а також систему методів, форм, засобів і психолого-педагогічних умов, що забезпечують педагогічно доцільну інтеграцію імерсивних технологій відповідно до змісту природничо-математичних предметів і цілей навчання.

Технологічний концепт визначає механізми практичної реалізації методичної системи. Його основу становлять добір і педагогічно обґрунтоване використання імерсивних освітніх ресурсів, організація імерсивного середовища навчання, поетапне впровадження методик використання імерсивних технологій, а також діагностичний супровід освітнього процесу. Реалізація технологічного концепту забезпечує цілісне впровадження методичної системи та досягнення прогнозованих результатів навчання, пов'язаних із формуванням предметних і ключових компетентностей, розвитком просторового мислення, пізнавальної активності, дослідницьких умінь і подоланням освітніх втрат.

Для розв'язання поставлених завдань, досягнення мети дослідження та перевірки гіпотези використано комплекс взаємопов'язаних теоретичних, емпіричних, експериментальних методів і методів математичної статистики.

– *теоретичні методи*: аналіз, синтез, порівняння, систематизація, класифікація, узагальнення та інтерпретація психолого-педагогічної, науково-методичної літератури, нормативних документів і результатів сучасних досліджень застосовано для визначення стану розробленості проблеми, уточнення понятійного апарату дослідження, обґрунтування теоретичних засад використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів та розроблення методичної системи. Метод *моделювання* використано для побудови моделі методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв, структурно-компонентної моделі імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів, моделей організації навчання на основі імерсивного середовища;

– *емпіричні методи*: спостереження, анкетування, опитування, бесіди,

аналіз педагогічного досвіду застосовано для вивчення стану використання імерсивних технологій у закладах загальної середньої освіти, визначення готовності педагогів до їхнього використання, оцінювання якості розробленої методичної системи та виявлення особливостей її впровадження;

– *експериментальні методи* використано для перевірки ефективності розробленої методичної системи. Педагогічний експеримент охоплював констатувальний, формувальний і узагальнювальний етапи та був спрямований на визначення динаміки результатів навчання учнів академічних ліцеїв;

– *методи математичної статистики* застосовано для кількісного опрацювання, аналізу й інтерпретації результатів педагогічного експерименту, перевірки статистичної значущості отриманих результатів та підтвердження ефективності розробленої методичної системи.

Основним методом дослідження є комплексний педагогічний експеримент.

Завдання дослідно-експериментальної роботи полягали в комплексному розв’язанні низки питань та передбачали: обґрунтування структури та характеристик методичної системи; розроблення та впровадження її моделі; підготовку педагогів і учнів до використання імерсивних технологій; організацію навчальної діяльності з використанням імерсивних ресурсів; визначення критеріїв, показників і рівнів результативності; аналіз ефективності впровадження методичної системи; розроблення методичних рекомендацій.

Дослідження здійснювалося впродовж 2023-2026 рр., відповідно до логіки науково-педагогічного пошуку і включало взаємопов’язані етапи.

Перший етап дослідження – *аналітико-констатувальний* (2023-2024):

– аналіз вітчизняної та закордонної теорії і практики використання сучасних інформаційно-комунікаційних та імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів у ЗЗСО;

– визначення основних характеристик методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв, що забезпечують її цілісність, послідовність реалізації етапів навчання та розвиток ключових і предметних компетентностей учнів;

– розроблення методики проведення експерименту: складання програми науково-дослідної та експериментальної роботи, підготовка науково-теоретичного обґрунтування проблеми дослідження, налагодження технічної підтримки і розробка інструментарію для опитування та спостереження за учасниками експерименту.

Другий етап дослідно-експериментальної роботи – *пошуковий* (2024-2025):

– обґрунтування та розроблення моделі методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв, що забезпечує інтеграцію імерсивних ресурсів у процес навчання та розвиток ключових і предметних компетентностей учнів;

– підготовка педагогів і учнів до ефективного застосування методичної системи шляхом проведення тренінгів, семінарів, майстер-класів, консультацій та інших форм методичної підтримки;

– визначення орієнтовних критеріїв та показників результативності використання методичної системи;

– розробка діагностичного інструментарію для оцінювання ефективності застосування методичної системи в освітньому процесі;

– організація навчальної та дослідницької діяльності учнів і педагогів із використанням імерсивних технологій, що сприяє розвитку пізнавальної активності, дослідницьких і творчих умінь;

– проведення діагностування результативності використання методичної системи на основі розроблених критеріїв та інструментарію.

Третій етап дослідно-експериментальної роботи – *узагальнювальний* (2025-2026):

– аналіз результатів упровадження методичної системи у процес викладання природничо-математичних предметів, включно з імерсивними освітніми ресурсами та платформами;

– розроблення науково-методичних рекомендацій для педагогів щодо впровадження методичної системи в освітній процес;

– підготовка публікацій, науково-методичних матеріалів та статей, які

висвітлюють основні завдання, ідеї та результати експерименту;

– проведення кількісного та якісного аналізу результатів експерименту на основі розроблених теоретико-методологічних критеріїв та інтеграція їх у педагогічну практику академічного ліцею для підвищення ефективності навчання.

У дослідно-експериментальній роботі взяли участь заклади освіти: КЗО «Криворізький ліцей «КОЛІЯ» ДОР», Криворізький Покровський ліцей КМР, Криворізький природничо-науковий ліцей, Криворізький ліцей № 129 КМР, Криворізький ліцей № 77 КМР, Криворізький ліцей № 71 КМР.

У процесі проведення дослідно-експериментальної роботи автор безпосередньо розробила та апробувала методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів; проводила тренінги для вчителів у межах НДР ІЩО НАПН України «Система використання імерсивних технологій вчителями у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти» (ДР № 0124U000648); здійснювала консультування та проводила бесіди з учителями природничо-математичних предметів ліцеїв м. Кривого Рогу; брала участь у наповненні каталогу імерсивних засобів (<https://www.immersive-tools.pp.ua/>); створила блог для підтримки вчителів, які реалізують імерсивне навчання (<https://surl.li/sztall>).

Результати дослідження впроваджувалися шляхом проведення уроків алгебри та геометрії з використанням імерсивних технологій у КЗО «Криворізький ліцей «КОЛІЯ» ДОР»; консультування вчителів природничо-математичних предметів щодо використання імерсивних технологій у ліцеях м. Кривого Рогу; проведення майстер-класу для вчителів математики Кіровоградської області; оприлюднення результатів дослідження у збірниках наукових праць і науково-методичних виданнях.

Достовірність і відтворюваність результатів дослідження забезпечуються комплексним застосуванням теоретичних, емпіричних і статистичних методів; достатнім обсягом вибірки та репрезентативністю груп; використанням стандартизованих діагностичних інструментів; опорою на характеристики сучасних цифрових технологій; застосуванням статистичних методів

опрацювання результатів проведеного педагогічного експерименту (констатувального та формувального його етапів).

Сформульовані в підрозділі теоретичні положення та підходи стали основою для подальшого моделювання, експериментальної перевірки та впровадження методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв.

2.2. Концептуальні засади використання імерсивних технологій в освіті

Інтеграція імерсивних технологій в освітній процес сприяє формуванню інтерактивного мультисенсорного середовища навчання, яке створює умови для глибшого розуміння навчального матеріалу, посилення його практичної спрямованості та підвищення навчальної мотивації учнів. Зазначені технології розширюють можливості індивідуалізації навчання з урахуванням відмінностей у пізнавальних можливостях і рівнях навчальної підготовки учнів, що є особливо актуальним для природничо-математичних дисциплін в академічних ліцеях.

2.2.1. Методичні підходи та психолого-педагогічні умови використання імерсивних технологій навчання. Аналіз наукової літератури [245; 447; 448; 556] дав змогу виокремити ключові підходи до інтеграції імерсивних технологій в освіту: системний, діяльнісний, особистісно орієнтований, когнітивний, диференційований та міждисциплінарний. На основі їх синтезу в дослідженні запропоновано інноваційно-трансформаційну концептуальну рамку організації навчання, яка забезпечує цілісну взаємодію та узгодженість реалізації визначених підходів в імерсивному середовищі навчання.

1. *Системний підхід* посідає ключове місце в організації процесу навчання, особливо під час викладання предметів природничо-математичного циклу, які характеризуються високим рівнем взаємопов'язаності змісту. Його застосування надає можливість розглядати навчання як цілісну систему, у якій мета, завдання, зміст, форми та методи зумовлюються інтеграцією імерсивних технологій у технологічний складник методичної системи.

На сучасному етапі розвитку освіти імерсивні технології насамперед трансформують технологічний компонент навчання, змінюючи засоби, способи

подання навчального матеріалу та організацію навчальної діяльності учнів. Водночас у закладах із розширеними можливостями вибору освітніх програм, зокрема в академічних ліцеях, вони можуть виконувати ширшу функцію, створюючи умови для поглибленого осмислення наукових явищ і суспільно значущих процесів через їх моделювання, а також потенційно сприяти розвитку світоглядних уявлень і ціннісної рефлексії учнів завдяки зануренню в змодельовані ситуації.

Варто зазначити, що загальні цілі та обов'язкові результати навчання визначаються державними стандартами й нормативними документами Міністерства освіти і науки України, тоді як в академічних ліцеях профіль навчання, структура освітньої програми, набір вибіркового курсів і співвідношення окремих освітніх компонентів можуть варіюватися залежно від обраного профілю та специфіки освітньої програми закладу [415; 491; 544]. У цьому контексті імерсивні технології постають як інструмент розширення дидактичного потенціалу навчання, надаючи йому більшої наочності, інтерактивності та практико-орієнтованості.

Аналіз наукових досліджень показав, що найкращою моделлю для реалізації системного підходу до навчання учнів на основі імерсивних технологій є змішана (гібридна) модель навчання [12; 30; 83].

Системний підхід у навчанні природничо-математичних предметів реалізується у взаємозв'язку з *міждисциплінарним* підходом, що передбачає інтеграцію змісту дисциплін на основі узгодженого поєднання методів і способів навчальної діяльності. Предмети природничо-математичного циклу характеризуються спільністю методів наукового пізнання та частково узгодженою термінологією, що створює підґрунтя для такої інтеграції. Імерсивні технології в цьому випадку розглядаються як дидактичний засіб реалізації міждисциплінарної інтеграції, оскільки вони забезпечують умови для організації проєктної та дослідницької діяльності учнів.

Залучення учнів до такої діяльності сприяє не лише глибшому розумінню суті окремих дисциплін, а й формуванню цілісного наукового світогляду,

розвитку навичок застосування знань у реальних ситуаціях та підвищенню навчальної мотивації. Міждисциплінарний підхід також забезпечує формування інноваційної компетентності, яка передбачає здатність оперативно реагувати на зміни, приймати нестандартні рішення, долати труднощі та бути відкритим до нових ідей [406].

Міждисциплінарний підхід до навчання зумовлює інтеграцію методів і прийомів більше ніж з однієї академічної дисципліни для вивчення певного питання, проблеми чи теми, що відрізняє його від багатопрофільного навчання. Використання цього підходу при організації навчання з опорою на імерсивні технології дає змогу вийти за межі окремих дисциплін, здійснити синтез знань у підструктури та інтегрувати їх у єдину, узгоджену структуру світосприйняття [394].

Для академічних ліцеїв такий підхід особливо важливий, оскільки надає можливість вибудовувати єдину змістову лінію викладання предметів природничо-математичного циклу відповідно до профільної спрямованості навчання. Водночас він не суперечить індивідуальному підходу кожного вчителя, а лише забезпечує методичну узгодженість через спільні навчальні ресурси, проєкти та завдання.

Таким чином, міждисциплінарний підхід, реалізований за допомогою імерсивних технологій, сприяє розвитку предметних і міжпредметних компетентностей, формуванню в учнів умінь аналізувати навчальні відомості, встановлювати міжгалузеві зв'язки та застосовувати знання для розв'язання практичних завдань.

2. Діяльнісний підхід ґрунтується на організації процесу навчання, орієнтованого на активну пізнавальну діяльність учнів, що реалізується через взаємодію з освітнім середовищем. Використання імерсивних технологій у цьому контексті створює умови для моделювання реальних ситуацій, залучення учнів до пошукової та дослідницької роботи, формування практичних умінь і навичок на основі особистого досвіду.

Метою діяльнісного підходу є розвиток здатності учня до самостійного й

усвідомленого здійснення навчальної діяльності, включаючи постановку цілей, планування, організацію, самоконтроль, оцінювання результатів та рефлексію [413]. Організація навчання із залученням імерсивних технологій сприяє реалізації цих завдань, оскільки забезпечує можливість для учнів досягати поставлених цілей у процесі навчальної діяльності.

Досягненню мети діяльнісного підходу сприяють три чинники, визначені в межах теорії самовизначення: автономність, компетентність і спорідненість [61]. Автономність виявляється у здатності учня самостійно визначати цілі навчання та регулювати власну мотивацію; компетентність пов'язана з розвитком особистісних можливостей і поступовим досягненням результатів; спорідненість відображає відчуття підтримки й співпраці з іншими учасниками освітнього процесу. Ефективне середовище навчання поєднує ці чинники, забезпечуючи умови для стійкої навчальної мотивації та активності учнів. Використання віртуальних лабораторій, застосунків доповненої реальності та віртуальних симуляцій створює ситуації, у яких учні можуть практикувати дослідницькі дії, розвивати навички роботи з навчальними відомостями й закріплювати досвід, що стає підґрунтям для подальшої навчальної та професійної діяльності.

3. *Особистісно орієнтований підхід* у навчанні фокусується на індивідуальних потребах, інтересах, здібностях, психофізіологічних особливостях та темпі навчання кожного учня. Його основою є індивідуалізація процесу навчання, що враховує особистий досвід, когнітивні та емоційні особливості учня, а також формування його власної освітньої траєкторії [175].

Застосування генеративного штучного інтелекту у навчальному процесі значно підсилює можливості персоналізації. ШІ може виступати як індивідуальний освітній помічник, який допомагає учню будувати персональну траєкторію навчання, адаптувати зміст і темп вивчення навчального матеріалу, а також здійснювати самоконтроль та оцінювання власних досягнень [151].

Інтеграція імерсивних технологій та ШІ у межах особистісно орієнтованого підходу забезпечує [151]:

– реалізацію концепції навчання впродовж життя та підтримку автономії

учня;

- організацію навчального процесу за моделлю змішаного (гібридного) навчання;

- підвищення рівня взаємодії та співпраці між учнями у навчальній діяльності;

- побудову індивідуальної траєкторії навчання та адаптацію змісту, завдань і темпу під конкретні потреби учня;

- залучення учнів до процесу навчання через підвищення мотивації, зацікавленості та відчуття значущості їх діяльності.

4. *Когнітивний підхід* до організації навчання на основі використання імерсивних технологій базується на динамічному оцінюванні навчальних досягнень учнів, що стимулює пошук розв'язання навчальних проблем і розвиває розумові здібності. Динамічне оцінювання передбачає відстеження прогресу учнів протягом певного періоду та адаптацію процесу навчання відповідно до їхніх потреб [251].

Імерсивні технології сприяють реалізації динамічного оцінювання. Процедура динамічного оцінювання складається з чотирьох фаз [251]:

- *вхідний тест* – діагностика початкового рівня знань та умінь учнів;

- *навчання* – опанування нового матеріалу через інтерактивні імерсивні середовища;

- *формувальний тест* – поточне оцінювання, спрямоване на виявлення проблем та надання підтримки учням;

- *перехідний тест* – підсумкове оцінювання досягнень після завершення навчання через певний час.

Згідно з дослідженнями [251; 361], когнітивний підхід із використанням імерсивних технологій відрізняється від такого самого підходу в традиційному навчанні. Мультисенсорне середовище активізує зорові, слухові та тактильні канали сприйняття, що надає учням можливість отримувати власний емоційний досвід і переносити його у практичну діяльність. Це сприяє ефективному запам'ятовуванню, розвитку критичного мислення та формуванню умінь

знаходити розв'язання завдань за допомогою інтерактивних симуляцій. У цьому контексті важливо враховувати теорію множинного інтелекту Г. Гарднера (H. Gardner), згідно з якою учні мають різні домінантні типи когнітивних здібностей, а використання імерсивних технологій дозволяє одночасно залучати ці канали сприйняття відомостей, забезпечуючи персоналізований когнітивний досвід [215].

Когнітивний підхід із використанням імерсивних технологій також зміцнює довірливі стосунки між учителем і учнем, стимулює емоційну та активну участь у навчанні, заохочує самостійну діяльність учнів і формує позитивне ставлення до навчання [61].

5. *Диференційований підхід* до організації навчання на основі імерсивних технологій передбачає адаптацію навчального матеріалу до потреб кожного учня, темпу його навчання та сприйняття. Імерсивне середовище надає можливість повторювати матеріал у різних формах (візуально, аудіально, текстово), проходити самотестування та повертатися до пояснень стільки разів, скільки потрібно для засвоєння. Це формує в учнів впевненість у власних силах та зменшує страх помилок, сприяючи активній участі в процесі навчання.

Диференційований підхід передбачає врахування індивідуальних особливостей учнів, зокрема темпу навчання та рівня складності завдань, а також використання варіативних форм подання навчального матеріалу відповідно до їхніх психологічних і когнітивних характеристик. В умовах академічних ліцеїв персоналізація освітньої траєкторії учнів реалізується через профільне навчання, вибіркові дисципліни та диференціацію організації освітнього процесу. Відповідно до концептуальних засад НУШ, диференційований підхід є одним із ключових елементів формування особистості на основі виявлення здібностей і задатків учня. Випускник академічного ліцею, який навчається з використанням цього підходу, набуває здатності керувати власним навчанням, брати участь у практичній і проєктній діяльності, розвивати критичне та творче мислення, ефективно працювати в команді та аргументовано висловлювати власну позицію [544].

6. *Інноваційно-трансформаційна концептуальна рамка* організації імерсивного навчання передбачає трансформацію традиційної системи навчання [421] через інтеграцію імерсивних технологій та інших інформаційно-комунікаційних засобів і спрямована на забезпечення дослідницького та практико-орієнтованого характеру навчальної діяльності. Її реалізація зумовлена потребою адаптації освітнього процесу до нових суспільних і технологічних умов, оскільки традиційна знаннява парадигма не завжди створює достатні умови для формування компетентностей XXI століття, серед яких аналітичне й критичне мислення, творча активність, цифрова грамотність, лідерство, соціальна взаємодія, стійкість, гнучкість і здатність до навчання протягом життя [544].

У межах дослідження інноваційно-трансформаційна концептуальна рамка розглядається як інтегративна основа організації імерсивного навчання в академічних ліцеях, що забезпечує узгодження системного, діяльнісного, особистісно орієнтованого, когнітивного, диференційованого та міждисциплінарного підходів. У межах цієї рамки зазначені підходи реалізуються не ізольовано, а у взаємозв'язку та взаємодоповненні, забезпечуючи цілісне проєктування процесу навчання в імерсивному середовищі.

Системний підхід забезпечує узгодженість цілей, змісту, форм, методів і результатів навчання та визначає логіку їх інтеграції в методичній системі. Діяльнісний підхід орієнтує організацію навчання на активну взаємодію учнів із навчальними об'єктами, моделювання процесів і явищ, а також виконання навчально-дослідницьких завдань у VR/AR-середовищах. Особистісно орієнтований підхід зумовлює врахування індивідуальних освітніх потреб, інтересів і навчального досвіду учнів у процесі організації імерсивного навчання. Когнітивний підхід спрямований на розвиток мисленнєвих операцій, формування глибокого розуміння навчального матеріалу та встановлення міжпоняттєвих зв'язків у процесі взаємодії з імерсивними моделями. Диференційований підхід забезпечує варіативність змісту, рівнів складності та темпу навчання відповідно до індивідуальних можливостей учнів. Міждисциплінарний підхід сприяє інтеграції змісту природничо-математичних дисциплін, формуванню цілісного

наукового світогляду та перенесенню знань у практичну діяльність.

Поєднання зазначених підходів у межах інноваційно-трансформаційної концептуальної рамки створює умови для організації гнучкої моделі навчання, у якій імерсивні технології виступають засобом реалізації визначених дидактичних і методичних засад навчання.

Реалізація інноваційно-трансформаційної концептуальної рамки в освітньому процесі академічних ліцеїв спрямована на забезпечення таких основних напрямів організації навчання (рис. 2.1):



Рис. 2.1. Структура інноваційно-трансформаційної концептуальної рамки

1) реалізація принципів втіленого пізнання, що передбачає активну

взаємодію учнів із навчальним матеріалом через маніпулювання віртуальними об'єктами, моделювання явищ і виконання навчальних дій в імерсивному середовищі [361];

2) підвищення мотивації та зацікавленості в навчанні завдяки ефекту занурення, інтерактивній взаємодії з віртуальним середовищем і можливості безпосереднього дослідження навчальних об'єктів та процесів;

3) формування практичних навичок і перенесення знань у життєві ситуації через використання віртуальних лабораторій, симуляцій і навчальних сценаріїв, що моделюють умови, максимально наближені до реальної професійної або життєвої діяльності;

4) розвиток критичного мислення шляхом аналізу результатів взаємодії з імерсивним середовищем, оцінювання наслідків прийнятих рішень, встановлення причинно-наслідкових зв'язків та коригування власних дій у процесі виконання навчальних завдань;

5) індивідуалізація навчання, яка забезпечує побудову індивідуальних освітніх траєкторій учнів з урахуванням їхніх здібностей, навчального досвіду та мотивації, а також створює умови для реалізації людиноцентричного підходу до навчання [544].

Таким чином, інноваційно-трансформаційна концептуальна рамка організації імерсивного навчання забезпечує цілісну інтеграцію визначених підходів та спрямована на реалізацію ключових напрямів освітньої діяльності в імерсивному середовищі академічного ліцею.

Практичне розгортання цієї рамки зумовлює необхідність обґрунтування комплексу психолого-педагогічних умов. У межах дослідження вони постають як сукупність цілеспрямовано створених організаційних, технологічних і особистісних чинників, що забезпечують ефективне функціонування методичної системи використання імерсивних технологій у процесі вивчення предметів природничо-математичного циклу [440].

У навчанні природничо-математичних предметів в академічних ліцеях такі умови забезпечують реалізацію методичної системи використання імерсивних

технологій, створюючи передумови для підтримки оптимального емоційно-когнітивного стану учнів, їхньої активної включеності в навчальну діяльність, ефективної взаємодії з імерсивним середовищем навчання і формування предметних та міжпредметних компетентностей. Сучасні концепції шкільної освіти, зокрема НУШ, акцентують увагу на необхідності створення підтримувального й мотивувального освітнього середовища, у якому учень виступає активним суб'єктом навчальної діяльності, а знання конструюються в процесі діяльності та взаємодії.

Реалізація психолого-педагогічних умов визначає особливості організації навчання в імерсивному середовищі, що проявляються у поєднанні традиційних та інноваційних форм навчання, застосуванні інтерактивних і проблемно-орієнтованих методів, групових та індивідуальних проєктів, а також використанні імерсивних технологій для моделювання навчальних ситуацій, забезпечення практичної спрямованості й поглиблення досвіду взаємодії з навчальним матеріалом. Така організація навчання сприяє розвитку ключових компетентностей, творчих здібностей і здатності учнів конструктивно розв'язувати практичні завдання, забезпечуючи формування готовності до навчання впродовж життя.

У межах дослідження виокремлено систему психолого-педагогічних умов організації процесу навчання природничо-математичних предметів в імерсивному середовищі (рис. 2.2). Класифікацію умов здійснено за спрямованістю їхнього впливу на освітній процес, відповідно до чого визначено зовнішній (організаційно-технологічний) та внутрішній (суб'єктно-особистісний) вектори впливу [440; 483; 575]. У структурі системи виокремлено три взаємопов'язані групи умов: організаційно-методичні, технологічно-когнітивні та особистісно-мотиваційні.

Перша група – *організаційно-методичні* умови – охоплює змістово-методичні характеристики процесу навчання (зміст, форми, методи, засоби та організацію навчальної діяльності). Реалізація цих умов забезпечує активну позицію учня в процесі навчання, сприяє його самореалізації, пізнавальній

ініціативі та усвідомленій участі в навчальній діяльності. У таких умовах освітній процес набуває рис відкритості, варіативності та партнерської взаємодії, що відповідає принципам НУШ та ідеям компетентнісного й особистісно орієнтованого навчання, а їх практична реалізація здійснюється через діяльність педагога, який проектує освітній процес, добирає зміст, методи, форми і засоби навчання, організовує взаємодію учнів з імерсивним середовищем та забезпечує методичний супровід навчальної діяльності.



Рис. 2.2. Компоненти психолого-педагогічних умов навчання в імерсивному середовищі

Друга група – *технологічно-когнітивні* умови – пов’язана із забезпеченням технологічного компонента процесу навчання через добір і застосування імерсивних технологій. Реалізація цих умов створює підґрунтя для переходу від репродуктивних форм навчальної діяльності до дослідницької та проблемно-орієнтованої діяльності, забезпечує безпосередню взаємодію учнів із навчальними об’єктами, моделювання процесів і явищ та набуття власного пізнавального

досвіду. Імерсивні технології в цьому контексті виступають засобом підвищення когнітивного потенціалу навчання та підтримки усвідомленої пізнавальної активності.

Третя група – *особистісно-мотиваційні* умови – спрямована на врахування індивідуальних психологічних особливостей учнів, їхніх мотиваційних установок, емоційного стану та попереднього досвіду. Реалізація цих умов забезпечує психологічний комфорт у процесі навчання, формування позитивного ставлення до навчання та підтримку внутрішньої мотивації. Важливим аспектом є створення мультимодального середовища сприйняття навчального матеріалу, що забезпечує поєднання візуального, аудіального та кінестетичного каналів взаємодії та сприяє глибшому розумінню навчального змісту [242].

Окреме значення в системі психолого-педагогічних умов має мотивація як інтегративний чинник, що поєднує організаційні, технологічні та особистісні аспекти освітнього процесу. Умови, орієнтовані на підтримку автономії, усвідомленості та особистісної значущості навчальної діяльності, сприяють формуванню стійкого пізнавального інтересу, готовності до саморозвитку та відповідальності учнів за результати власного навчання, а також забезпечують цілісність реалізації інноваційно-трансформаційної концептуальної рамки.

В основу концепції навчання НУШ, зокрема в академічних ліцях, покладено людиноцентризм. Принципи навчання, орієнтовані на людину, визначають сукупність методів, засобів та правил взаємодії, формують адаптивне, доступне та дружнє освітнє середовище [250]. Завданням такого динамічного середовища є забезпечення індивідуальної підтримки кожного учня, розкриття його внутрішнього потенціалу й створення умов для самореалізації.

Таким чином, чітко визначені психолого-педагогічні умови використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів в академічних ліцях створюють передумови для розвитку особистості учня, його здатності до усвідомленого вибору цілей навчання, підтримання пізнавального інтересу та реалізації власних освітніх потреб [589]. Водночас вони становлять основу для практичної реалізації інноваційно-трансформаційної концептуальної

рамки організації імерсивного навчання та подальшого проєктування методичної системи використання імерсивних технологій навчання. Зазначені умови створюють підґрунтя для функціонування імерсивного середовища, у межах якого поєднуються активна пізнавальна діяльність, індивідуалізація навчання та розвиток критичного мислення, що відповідає завданням сучасної профільної середньої освіти.

2.2.2. Принципи інтеграції імерсивних технологій у процес навчання. Аналіз наукових джерел свідчить, що інтеграція імерсивних технологій у навчальний процес суттєво підвищує зацікавленість і мотивацію учнів, збагачує освітню діяльність, хоча оцінка продуктивності їх застосування залишається неоднозначною [328; 330]. Таке впровадження створює синтетичне середовище для комунікації та когнітивної взаємодії, сприяє досягненню міждисциплінарних цілей, забезпечує умови для переходу до більш гнучких та інклюзивних освітніх моделей. Успіх інтеграції залежить не лише від упровадження новітніх технологій, а й від організаційних змін, спрямованих на підтримку міждисциплінарності, відкритості та співпраці [76].

У педагогічній літературі поняття «інтеграція» має широкий зміст, що зумовлено його поліфункціональністю. У загальнонауковому розумінні інтеграція (від лат. *integratio* – відновлення, поповнення) означає об'єднання елементів у цілісну систему, координацію дій її складників та їх взаємодію [414]. У педагогічному контексті інтеграція розглядається як різновид наукової інтеграції, що передбачає пояснення, прогнозування та управління інтеграційними процесами в освіті. Її результатом є забезпечення цілісності освітнього процесу – у змісті, знаннях і організації навчання – та формування взаємопов'язаної системи знань [416].

З урахуванням специфіки інформаційного суспільства інтеграційні процеси в освіті функціонують у тісному взаємозв'язку з інформаційним середовищем, що зумовлює необхідність врахування механізмів реалізації педагогічної діяльності в умовах активного використання цифрових технологій [412]. У цьому контексті сформувалася концепція технологічної інтеграції, яка трактується як

цілеспрямоване включення цифрових технологій у процес навчання для досягнення визначених освітніх цілей [79].

На початкових етапах становлення поняття «технологічна інтеграція» його розглядали в кількох аспектах. Перший аспект пов'язаний із використанням ІКТ без чітко визначених педагогічних цілей, коли інтеграція зводиться переважно до застосування технологічних інструментів і сервісів для доступу до інформаційних ресурсів [90; 261]. Другий аспект передбачає педагогічно обґрунтоване включення цифрових технологій у структуру навчального процесу з метою підтримки навчальної діяльності та досягнення результатів навчання [79]. У цьому випадку технологічна інтеграція спрямована на вдосконалення процесу навчання через упровадження інноваційних підходів, раціональне використання технологій і забезпечення психолого-педагогічної підтримки освітнього середовища.

Подальший розвиток ідей технологічної інтеграції пов'язаний із концептуалізацією взаємодії технологій, педагогіки та змісту навчання. Науковим підґрунтям такого підходу стала модель поєднання технологічних, педагогічних і предметних знань (TPACK – Technological Pedagogical Content Knowledge). Відповідно до цієї моделі, ефективна інтеграція інструментів навчання досягається на перетині технологічних, педагогічних і предметних знань, що забезпечує можливість їх цілеспрямованого використання відповідно до змісту освіти та педагогічної логіки [122; 219].

У межах TPACK імерсивні технології доцільно розглядати як засіб підтримки особистісно орієнтованого навчання, що ґрунтується на активній участі учня, рефлексії та критичному осмисленні навчального матеріалу [260]. Це особливо важливо для природничо-математичної освіти, де поряд із засвоєнням знань відбувається розвиток дослідницьких умінь, когнітивної гнучкості та системного мислення.

Отже, інтеграція технологій у навчання виходить за межі простого додавання цифрових інструментів і передбачає структурне оновлення освітнього середовища на основі взаємозв'язку між змістом, методикою та технологією.

Узагальнюючи зазначені підходи, у дослідженні уточнено розуміння подальшого етапу розвитку технологічної інтеграції як такого, що передбачає створення цілісного освітнього середовища, яке забезпечує автономію як учителя, так і учня через зміну ролей учасників освітнього процесу та способів організації навчальної діяльності. У такому середовищі технології перестають бути допоміжним засобом і виконують системоутворювальну функцію. Такий рівень інтеграції пропонуємо називати інноваційною інтеграцією (рис. 2.3), що концептуально відповідає трансформаційному рівню технологічної інтеграції.

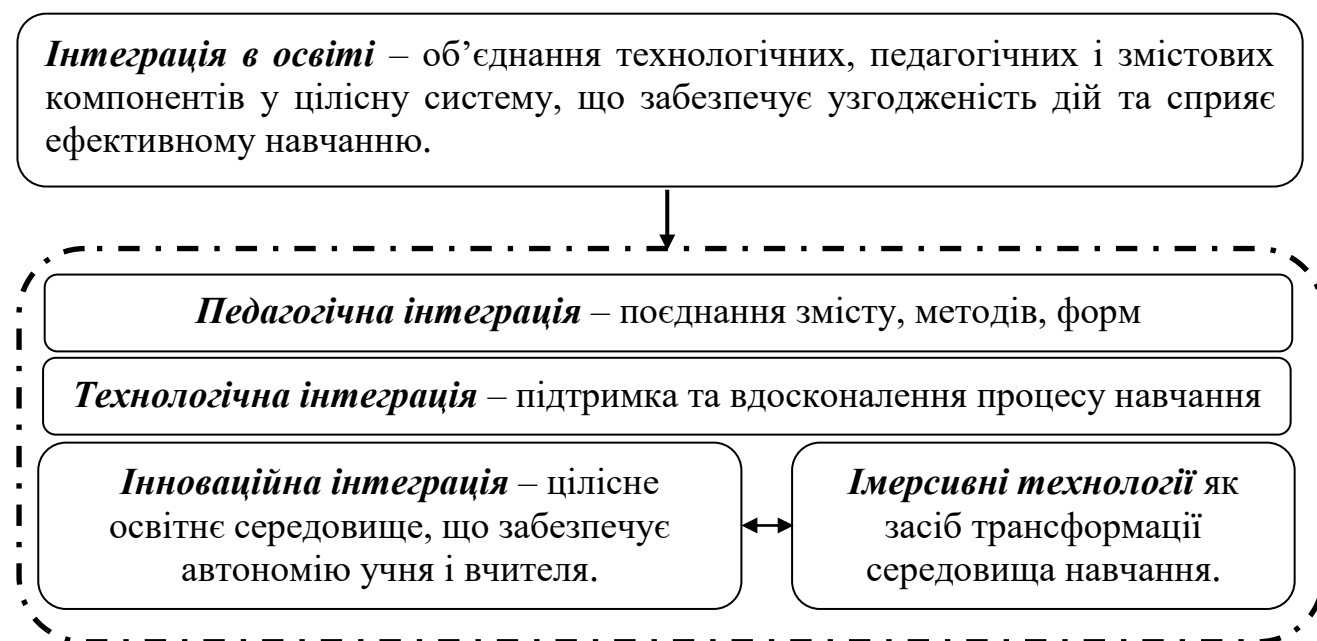


Рис. 2.3. Інтеграція технологій у навчання
(дослідження «поняття інтеграції в освіті»)

Інноваційна інтеграція пов’язує технологічний і педагогічний складники на основі соціально-конструктивістських принципів навчання, відповідно до яких знання формуються через взаємодію, обговорення, рефлексію та активну участь учня в освітньому процесі. Уведення цифрових технологій у навчання має не лише доповнювати традиційні підходи, а й трансформувати їх відповідно до соціально-конструктивістської парадигми. Це забезпечує формування інтерактивного, гнучкого та орієнтованого на самостійну діяльність освітнього середовища [37; 53].

Для оцінювання рівня інтеграції технологій у навчальний процес

використовується матриця інтеграцій технологій TIM (Technology Integration Matrix), яка поєднує п'ять характеристик навчання (активність, конструктивність, цілеспрямованість, автентичність, співпраця) з п'ятьма рівнями інтеграції (вступ, прийняття, адаптація, впровадження, трансформація) [348]. Основна ідея матриці полягає у поетапному впровадженні технологій і поступовому переході до трансформаційного рівня, на якому вони виконують системоутворювальну функцію в навчанні.

Попри наявність різних підходів, технологічна інтеграція не має єдиного усталеного визначення. У науковій літературі її розглядають як:

- 1) процес педагогічної діяльності, у межах якого вчитель цілеспрямовано використовує ІКТ для організації навчання;
- 2) рівень або ступінь інтегрованості ІКТ у процес навчання, що характеризує глибину та системність їхнього використання;
- 3) стан середовища навчання з погляду технологічної оснащеності та готовності до використання цифрових засобів;
- 4) комплексне явище, спрямоване на підвищення якості процесу навчання та орієнтоване на потреби учня.

На думку дослідників [70], технологічна інтеграція є усвідомленим і скоординованим процесом використання інноваційних технологій у навчанні. У цьому контексті доцільно розмежовувати інтеграцію як безпосереднє використання технологій у навчальному процесі та імплементацію як їх системне впровадження на рівні освітньої організації. Таким чином, інтеграція характеризує дидактичний рівень використання технологій, тоді як імплементація охоплює організаційно-управлінський рівень їхньої реалізації. Розглянемо кожну із зазначених категорій та визначимо термінологію дослідження.

I. 3 розширенням поняття ІКТ та появою нових інструментів відбувається їхнє поступове використання у процесі навчання. Спочатку ІКТ застосовують для опрацювання окремих тем або розділів навчальних дисциплін, а з часом вони стають основою організації навчальної діяльності, спрямованої на підтримку освітніх цілей і збагачення змісту навчання. Такий процес використання ІКТ у

навчанні визначається як *інтеграція*.

Інтеграція передбачає використання технологій як інструменту вдосконалення освітнього процесу, що забезпечує досягнення навчальних результатів і сприяє ефективній діяльності учнів під час опанування нових знань. Завдяки цьому здобувачі освіти поступово набувають здатності самостійно визначати цілі застосування технологій, формувати цифрові компетентності та критично оцінювати їхню роль у власному навчанні [108; 137; 349].

У науковій літературі виокремлюють чотири рівні інтеграції технологій у процесі навчання [129]:

- *низький рівень інтеграції* – технології застосовують епізодично, переважно у класі, для виконання окремих завдань;

- *початковий рівень інтеграції* – технології доступні для учнів, проте використовуються обмежено; учні демонструють базові навички роботи з невеликим набором інструментів і можуть виконувати нескладні дослідження чи проєкти;

- *середній рівень інтеграції* – технології регулярно використовують на уроках; учні впевнено володіють різними інструментами та створюють проєкти, що відображають розуміння навчального матеріалу;

- *високий рівень інтеграції* – технології стають невіддільним складником навчальної діяльності; учні вільно застосовують широкий спектр технологій для виконання різнорівневих завдань і створення складних проєктів, демонструючи високий рівень цифрової компетентності й глибоке розуміння предмета.

Серед основних характеристик технологічної інтеграції виокремлюють [70; 271]: підвищення якості взаємодії між учнями, використання засобів моделювання та візуалізації, підтримку диференціації навчання та розвиток навичок саморегульованої діяльності.

II. Досягнення високого рівня інтеграції створює підґрунтя для імплементації ІКТ – цілеспрямованого їх впровадження у навчальний процес, регламентованого державними нормативно-правовими документами. Імплементація розглядається як комплексний процес проєктування, що

передбачає узгодженість та уніфікацію дій на всіх рівнях освітньої системи [284].

Упровадження технологій в освіті має стратегічний характер і є багатокомпонентним завданням, яке потребує ретельного планування з урахуванням потреб закладів освіти та учасників освітнього процесу. Основна його мета – досягнення освітніх результатів шляхом ефективного використання ІКТ. Ефективна імплементація охоплює [160; 283]: 1) системний аналіз і стратегічне планування; 2) проєктування, розробку та реалізацію цифрового освітнього середовища; 3) розподіл ресурсів і розвиток інфраструктури; 4) підготовку педагогічних кадрів і формування внутрішньої політики закладу; 5) оцінювання результатів і постійну адаптацію технологій відповідно до потреб і змін у суспільстві. Успішне впровадження передбачає не лише початкову реалізацію планів, а й неперервну підтримку, моніторинг та вдосконалення з метою забезпечення відповідності технологічних рішень освітнім завданням і потребам учнів.

У дослідженні предметом розгляду є технологічна інтеграція, а саме використання імерсивних технологій у процесі навчання учнів академічних ліцеїв з метою оцінки ефективності їх застосування та прогнозування подальшого впровадження в освітню практику.

В українському науковому просторі поняття «технологічна інтеграція» трактується неоднозначно, охоплюючи такі аспекти [391]: 1) поєднання традиційних і новітніх форм навчання; 2) застосування інноваційних технологій, платформ та інструментів для створення цифрових навчальних матеріалів і моніторингу навчальних досягнень учнів; 3) розбудову середовища навчання, яке персоналізує освітній процес; 4) організацію ефективної комунікації та співпраці між учнями й учителем.

Разом з тим дослідники наголошують, що при інтеграції технологій необхідно враховувати дидактичні особливості навчальних предметів та якість їхнього викладання, а не лише кількість технологічних інструментів. Аналіз наукових результатів свідчить, що частота використання ІКТ у ЗЗСО сама по собі не гарантує підвищення навчальних результатів. Відчутний ефект досягається

лише тоді, коли застосування технологій чітко відповідає цілям навчання [70].

Узагальнюючи наведені підходи, у дослідженні *технологічна інтеграція визначається як системний процес включення цифрових технологій у структуру освітнього процесу, що передбачає узгодження цілей, змісту, методів і засобів навчання для забезпечення їх педагогічно доцільного використання.*

Відповідно, *інтеграція імерсивних технологій розглядається як інноваційний рівень технологічної інтеграції, що постає педагогічно обґрунтованим процесом включення VR/AR/MR-засобів у процес навчання, забезпечує інтерактивну взаємодію, ефект присутності та можливість моделювання навчального змісту.*

Обов'язковими компонентами інтеграції технологій є [37]: постановка цілей інтеграції, визначення цільової вікової групи, виокремлення етапів її реалізації та прогнозування очікуваних результатів як на кожному етапі, так і в цілому. Такий підхід забезпечує цілеспрямованість і керованість процесу інтеграції.

Інтеграція інноваційних технологій, зокрема імерсивних, передбачає також [35]: адаптацію змісту навчання; розроблення та впровадження відповідних педагогічних технологій, методів і засобів; створення умов для самовизначення особистості в освітньому процесі; трансформацію діяльності й стилю мислення учасників навчання; зміну характеру їхньої взаємодії та орієнтацію на формування творчої особистості, здатної до співпраці.

Аналіз наукових досліджень дозволяє виокремити низку педагогічних можливостей імерсивних технологій, які зумовлюють доцільність їх інтеграції у процес навчання природничо-математичних предметів [6; 155; 191; 244; 280; 330]:

1) підвищення продуктивності навчання завдяки розвитку відповідних компетентностей, створенню умов для подальшого самонавчання та забезпеченню активної взаємодії учнів із навчальними об'єктами в імерсивному середовищі;

2) зростання залученості учнів, що забезпечує сталий інтерес до імерсивних технологій і стимулює їхнє впровадження в освітній процес;

3) використання комплексної тривимірної візуалізації та інтерактивного моделювання, за яких абстрактні моделі природничо-математичних дисциплін

набувають наочності та практичної спрямованості;

4) підвищення інтересу до предметів завдяки інтерактивному досвіду, який також сприяє розвитку просторового мислення, що є одним із найскладніших для формування в процесі навчання;

5) відповідність імерсивних технологій різним каналам сприйняття навчального матеріалу (аудіальному, візуальному, кінестетичному), що оптимізує засвоєння матеріалу завдяки мультимодальному характеру імерсивної взаємодії;

6) створення безпечного та адаптивного середовища для відпрацювання практичних навичок, у тому числі через персоналізовані навчальні середовища, орієнтовані на індивідуальну освітню і наукову діяльність, для моделювання ситуацій, які складно або неможливо реалізувати в реальних умовах;

7) сприяння професійному розвитку вчителя через набуття досвіду використання та проектування навчання в імерсивних середовищах;

8) можливість інтегрованого моделювання об'єктів і процесів, що поєднує природничо-математичні та мистецькі дисципліни й стимулює розвиток критичного та творчого мислення;

9) розширення доступності навчальних об'єктів, явищ і експериментів, які в реальних умовах є недоступними або складними для відтворення, що сприяє демократизації освітнього процесу.

Ключовими компонентами інтеграції імерсивних технологій у процес навчання в закладах загальної середньої освіти є [155]:

– *втільена взаємодія* – базова властивість імерсивного середовища навчання, у якому учні когнітивно й емоційно занурені в процес навчання;

– *точність сприйняття* – забезпечення реалістичного відтворення об'єктів і процесів, що сприяє активізації когнітивної діяльності учнів;

– *емоційне співпереживання* – посилення емоційного складника навчання, що знижує психологічні бар'єри та сприяє кращій адаптації учнів;

– *підтримка зворотного зв'язку та можливість повтору* – надання учням змоги відпрацьовувати індивідуальні навчальні сценарії та повторювати їх для підвищення результативності.

Водночас ефективність інтеграції імерсивних технологій у процес навчання обмежується низкою чинників, характерних для сучасної освітньої практики, зокрема [178]: недостатнім рівнем матеріально-технічного забезпечення, домінуванням інструментального підходу до використання технологій, недостатнім усвідомленням стратегічних цілей освітніх інновацій та недостатньою готовністю педагогів до їх впровадження.

Зазначені обмеження засвідчують, що інтеграція імерсивних технологій потребує не лише технологічного забезпечення, а й педагогічно виваженого підходу до її проєктування та реалізації, що зумовлює необхідність обґрунтування системи відповідних принципів.

Дидактичні принципи:

– *педагогічної доцільності та відповідності цілям навчання*. Імерсивні технології повинні безпосередньо корелювати з навчальними цілями, поглиблювати розуміння змісту та стимулювати пізнавальну активність учнів [156];

– *узгодженості з традиційними методами навчання*. Використання імерсивних технологій має здійснюватися у поєднанні з перевіреними методами навчання, доповнювати їх та підвищувати ефективність процесу навчання [384];

– *наукової коректності моделювання*. Імерсивні симуляції мають адекватно відтворювати природничі закономірності, забезпечувати достовірну реакцію параметрів та результатів експериментів, що є ключовим у навчанні фізики, хімії, біології та математики.

Технологічні принципи:

– *інтерактивності та мультисенсорності*. Використання імерсивних технологій надає можливість створити середовище, в якому учень виступає активним учасником навчання, може взаємодіяти з об'єктами, змінювати параметри, виконувати практичні дії у середовищі. Мультисенсорна природа таких ресурсів сприяє [89; 344]: 1) кращому розумінню й закріпленню складних понять; 2) зменшенню когнітивного навантаження завдяки природній просторово-візуальній взаємодії; 3) підтримці індивідуалізації та інклюзивності навчального

процесу;

– *аналітичності та зворотного зв'язку*. Імерсивні системи повинні забезпечувати можливість відстежувати навчальні дії учня, аналізувати прогрес, надавати миттєвий формувальний зворотний зв'язок та підтримувати рефлексію;

– *технологічної безпеки та етичності*. Імерсивні технології повинні відповідати вимогам безпечного освітнього середовища, забезпечувати фізичний і психологічний комфорт, відсутність дискримінаційних бар'єрів, підтримувати інклюзивність, а також мотивувати до навчання [586].

Організаційно-педагогічні принципи:

– *системності*. Інтеграція імерсивних технологій повинна здійснюватися в межах цілісної методичної системи навчання, що передбачає узгодженість цілей, змісту, форм, методів, засобів та процедур оцінювання. Системний характер упровадження забезпечує внутрішню логіку організації навчального процесу та підвищує стійкість і відтворюваність навчальних результатів;

– *поступового впровадження*. Використання імерсивних технологій має бути педагогічно обґрунтованим, враховувати вікові, емоційні та когнітивні особливості учнів, а також відбуватися в поміркованому темпі, щоб технології стали ефективним інструментом підтримки навчання. Надмірне використання технологій без урахування цих чинників може призвести до перевантаження, тому інтеграція має здійснюватися поетапно;

– *доступності та персоналізації*. Інтеграція повинна враховувати індивідуальні потреби учнів, зокрема тих, які мають особливі освітні потреби. Це передбачає адаптивний дизайн програмного забезпечення та можливість налаштування під різні стилі навчання [83; 106; 344].

Таким чином, інтеграція імерсивних технологій у процес навчання є складним багаторівневим процесом, що передбачає узгодження дидактичних, технологічних і організаційних компонентів. Запропонована система принципів створює науково обґрунтовану основу для проектування та реалізації навчального процесу з використанням імерсивних технологій у ЗЗСО.

2.2.3. Концептуальні моделі інтеграції імерсивних технологій у процес навчання. Розглянемо декілька теорій та моделей, що можуть задовольнити вище визначені принципи інтеграції імерсивних технологій у процес навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях.

Інтеграція імерсивних технологій у процес навчання має відповідати загальним вимогам упровадження інноваційних освітніх технологій. Поява нових інструментів не повинна змінювати базові засади інтеграції, проте вимагає врахування специфіки їхнього педагогічного потенціалу. Однією з найбільш ефективних моделей, що забезпечує поступове впровадження технологій у ЗЗСО, є модель заміщення, розширення, модифікація, перевизначення (SAMR – Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition) [120], використання якої надає можливість цілеспрямовано поєднувати традиційний процес навчання із сучасними засобами, осмислюючи кожен етап інтеграції та адаптуючи його як до потреб учителів, так і до запитів учнів, що сприяє підвищенню їхньої активності та залученості.

У межах моделі SAMR перші два рівні – «заміщення» та «розширення» – відображають використання технологій як засобів удосконалення навчання, тоді як «модифікація» та «перевизначення» – як інструменти його трансформації. «Заміщення» є початковим етапом інтеграції технологій, що передбачає виконання завдань традиційним способом із використанням цифрових інструментів. Натомість «модифікація» означає перехід до якісно нового рівня організації процесу навчання, коли технології не лише покращують, а й змінюють характер освітньої діяльності [176]. Саме цей рівень виступає першою сходинкою трансформації та свідчить про перехід до більш глибокої інтеграції – імплементації.

Ефективне використання імерсивних технологій у навчанні учнів академічних ліцеїв передбачає, що вчителі мають чітко усвідомлювати їхню дидактичну сутність, уміти класифікувати за рівнями педагогічних можливостей і використовувати не фрагментарно, а як складник єдиної методичної системи. Використання таких технологій у межах етапу «модифікації» супроводжується

появою інтерактивних елементів, що не лише урізноманітнюють навчання, а й змінюють сам освітній досвід. У цьому контексті важливого значення набуває зворотний зв'язок між учнем і вчителем, а також комунікація з однокласниками, що сприяє формуванню глибшого розуміння навчальних понять, розвитку навичок співпраці та критичного мислення.

Найвищий рівень моделі – «перевизначення» – відкриває можливість створення принципово нових освітніх практик, які неможливо реалізувати без застосування технологій. Він характеризується розширенням досвіду учнів, розвитком здатності до самонавчання й саморозвитку, а також досягненням високого рівня когнітивної активності.

Модель прийняття технологій (TAM) та єдина теорія прийняття та використання технологій (UTAUT) відіграють ключову роль в успішному використанні імерсивних технологій у процесі навчання, оскільки їх основою є усвідомлення учнями й учителями необхідності відповідних змін. Розуміння важливості інтеграції нових технологій суттєво впливає на навчальну мотивацію, змінює підходи до організації освітнього процесу, стимулює активність, підвищує продуктивність і залученість [147; 240].

Згідно з моделлю TAM, технологія має сенс у процесі навчання лише за умови, що вона є корисною для засвоєння матеріалу та водночас простою у використанні [62]. Поєднання цих чинників позитивно позначається на ставленні учня до технології, визначає рівень її сприйняття та готовність застосовувати її в освітньому процесі [11]. Модель TAM розглядається як мотиваційно орієнтована, адже описує корисність технології (як функціональну, так і емоційну) як зовнішню мотивацію, що сприяє підвищенню ефективності навчання. Водночас дослідники [163] наголошують на ролі внутрішньої мотивації, зокрема емоційного задоволення від використання технологій, як ключового чинника їх сприйняття. Включення до моделі прийняття технологій внутрішньої мотивації особистості надає можливість її розширити до моделі адаптації технології на основі цінностей (VAM), що ґрунтується на поданні навчального матеріалу, адаптованого до конкретних потреб та цінностей кожного учня [11].

Розглянуті моделі є фундаментальними при інтеграції імерсивних технологій у процес навчання, оскільки вони підтримують розвиток саморегульованого навчання, за якого учні самостійно визначають освітні цілі, відстежують прогрес, здійснюють рефлексію та аналіз результативності. Імерсивні технології сприяють цьому процесу завдяки персоналізованому досвіду навчання. Зокрема, функції негайного зворотного зв'язку та інтерактивного моделювання дають змогу учням контролювати власний освітній поступ, розвивати автономію та внутрішню мотивацію [330].

Отже, концептуально TAM та UTAUT забезпечують інструменти для оцінки очікуваної ефективності застосування імерсивних технологій, рівня зусиль, необхідних для опанування нового матеріалу, а також простоти та зрозумілості їх використання. У поєднанні з моделями SAMR та TPACK вони формують цілісне методичне підґрунтя для організації ефективного процесу імерсивного навчання в академічних ліцях.

Аналіз наукових досліджень щодо використання імерсивних технологій у процесі навчання засвідчує, що в сучасній літературі окреслено низку теорій, методологій та підходів, які слугують концептуальним підґрунтям для організації процесу навчання на основі цих технологій. На нашу думку, найбільш продуктивними в контексті навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях є теорія *конструктивізму*, *когнітивна теорія навчання* та *теорія навчання через дію* (експериментального навчання). Їхня практична реалізація забезпечує теоретичну основу для розробки та впровадження імерсивних технологій, допомагає вчителям зрозуміти особливості взаємодії учнів з імерсивним середовищем, механізми опрацювання навчальних відомостей та формування знань.

Згідно з аналізом досліджень [46; 200; 207], теорія конструктивізму орієнтована на активну участь учнів у побудові власних знань та осмисленні навчального матеріалу через практичний досвід і взаємодію з середовищем. У контексті імерсивних технологій це передбачає створення навчального простору, де учні можуть досліджувати, експериментувати та набувати досвіду розв'язання

проблем за допомогою симуляцій, що моделюють реальні ситуації. Такий підхід сприяє глибшому запам'ятовуванню та розвитку критичного мислення. Когнітивна теорія навчання підкреслює важливість підтримки когнітивних процесів учнів через використання інтерактивних та візуалізованих матеріалів, що підвищують якість навчальних досягнень. Теорія навчання через дію Дж. Дьюї (J. Dewey) акцентує увагу на набутті практичного досвіду, відпрацюванні навичок та застосуванні знань у реальних або максимально наближених до них умовах, що цілком узгоджується з можливостями імерсивних технологій.

Поєднання зазначених теорій навчання при інтеграції імерсивних технологій у процес навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях надасть можливість:

1) *забезпечити активне навчання*. Учні аналізують отримані відомості, синтезують нові знання, реалізують проєктну діяльність, застосовуючи здобуті результати на практиці. У межах конструктивізму підтримуються обмін ідеями, розвиток уміння аргументовано висловлювати власну думку та толерантне ставлення до позицій інших, що формує спільне розуміння й водночас зберігає індивідуальний підхід до навчання, де кожен учень самостійно обирає методи для розв'язання поставленої проблеми;

2) *зробити процес навчання дієвим і результативним*. Навчальна діяльність набуває дослідницького та експериментального характеру. Використання елементів гри сприяє зниженню психологічної напруги під час опанування абстрактних понять;

3) *надати процесу навчання інноваційності*. Візуалізація, інтерактивність, доступність та адаптація імерсивних технологій до вікових особливостей учнів підвищують їхню мотивацію та інтерес до навчання;

4) *реалізувати концепцію НУШ*. Імерсивні технології сприяють створенню дружнього освітнього середовища, яке орієнтоване на розвиток особистості, її творчого потенціалу, пізнавальної активності, а також ґрунтується на взаємоповазі, довірі та підтримці.

Отже, інтеграція імерсивних технологій у процес навчання сприяє

формуванню цілісного імерсивного середовища навчання, ефективна реалізація якого можлива в умовах моделі змішаного навчання, у якій учень виступає активним суб'єктом пізнавальної діяльності.

2.2.4. Психолого-педагогічні особливості використання імерсивних технологій. Як було зазначено в п. 1.1, виділяють три стани імерсивності: занурення, стан потоку та стан присутності. Їх формування пов'язане з розвитком відеоігор і характеризується різноманітними інтерпретаціями в науковій літературі. Нижче розглянемо кожен стан детальніше з акцентом на психологічні та педагогічні аспекти їх застосування в освітньому процесі.

Занурення – багатогранне поняття, що описує стан, за якого свідомість людини значною мірою зосереджується на штучно створеній реальності. Досягти його можна за допомогою технологічних засобів (VR-окуляри, навушники тощо), які формують ілюзію іншого середовища, змінюють сприйняття дійсності та дозволяють людині відчувати себе в іншій ролі [30]. Виокремлюють два види занурення [347]: *просторове* – відчуття перебування у середовищі, що є основою для виникнення присутності, та *занурення у завдання* – включеність у діяльність, що може спричинити стан потоку.

На ранніх етапах розвитку концепцій занурення й потік іноді розглядалися як взаємозамінні поняття. Згодом було уточнено, що стан потоку є більш вираженою формою занурення, яка супроводжується пригніченням саморефлексії та зміною суб'єктивного сприйняття часу. **Потік** – це сфокусований психічний стан, у якому рівень навичок відповідає складності завдання, що зумовлює позитивні емоції й внутрішню мотивацію [150]. Теорія потоку пояснює глибоку концентрацію та повне залучення когнітивних ресурсів людини у виконання діяльності. Імерсивні технології, зокрема VR, сприяють досягненню цього стану, створюючи ілюзію присутності в синтетичному середовищі, де свідомість зливається з віртуальною реальністю, а технологічні елементи сприймаються як невіддільні від досвіду [30]. Більшість дослідників вважає, що занурення передуює стану потоку, тобто технологічний складник впливає на психологічний стан користувача. Занурення може існувати самотійно, але стан потоку завжди

залежить від нього [29].

Стан потоку формується переважно внаслідок занурення у завдання, тоді як присутність зумовлюється зануренням в імерсивне середовище [346; 347]. Обидва стани істотно залежать від мотивації та індивідуальної схильності до занурення, що безпосередньо впливає на результативність навчання. Тому при створенні імерсивного середовища одним із визначальних чинників має бути цілеспрямоване формування й підтримка навчальної мотивації учня, яка забезпечує продуктивність процесу навчання (рис. 2.4).

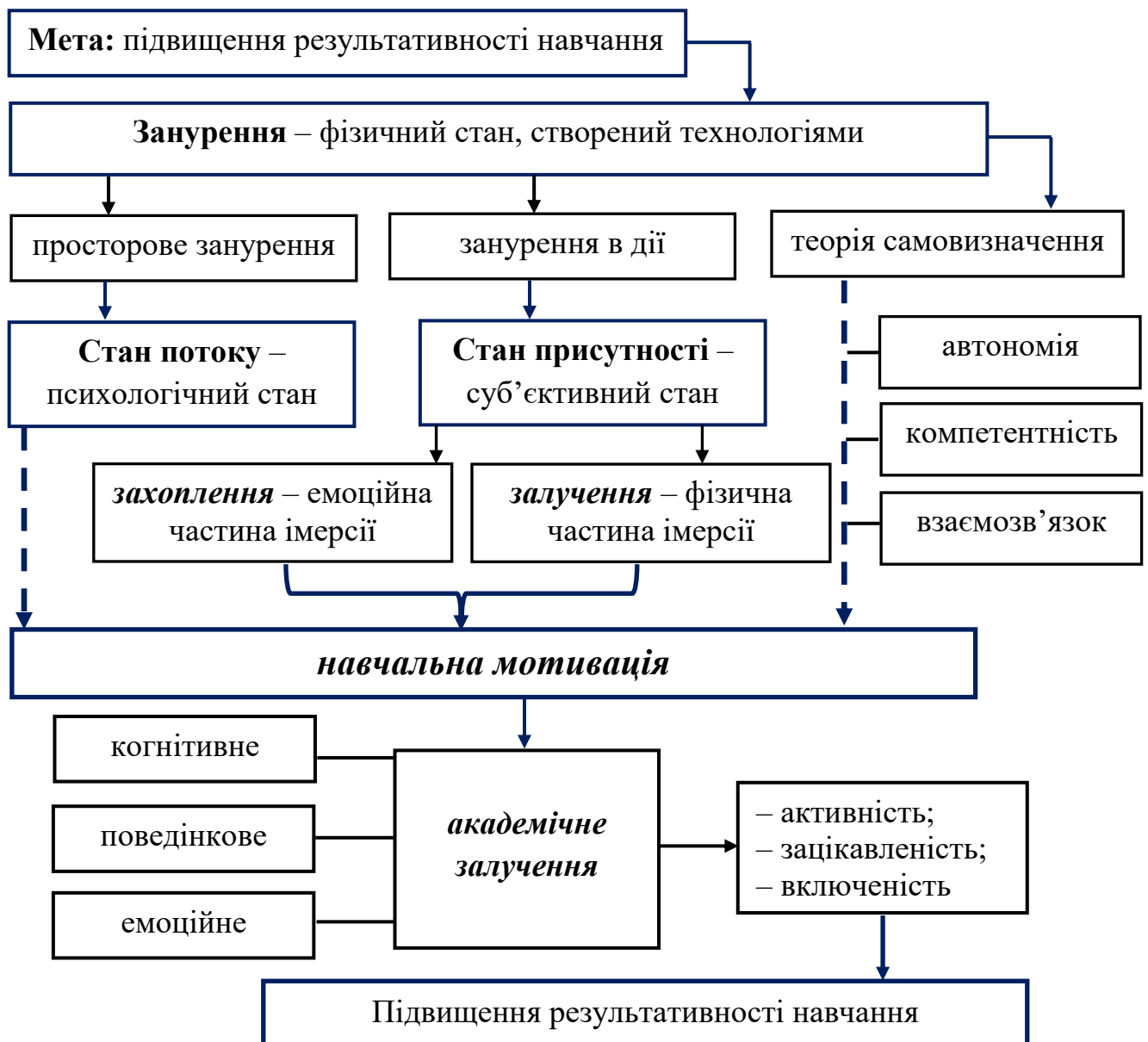


Рис. 2.4. Взаємозв'язок станів імерсивності та їх вплив на мотивацію й результативність навчання

Присутність визначається як суб'єктивна психологічна реакція людини на перебування у віртуальному середовищі. Це стан, що виникає внаслідок гармонійної взаємодії сенсорних і когнітивних процесів [99; 307]. Ступінь присутності характеризує глибину занурення користувача в синтетичне середовище та виявляється у зменшенні відчуття розриву між реальним і віртуальним світами. Основними характеристиками присутності вважають залучення та емоційне захоплення [29]. Важливим чинником, що підсилює відчуття присутності, є мотивація, яка спонукає учня до активних дій у навчальному процесі [66].

У педагогічному контексті доцільно розглядати поняття академічного залучення, яке описує рівень активної участі учня в навчанні на когнітивному, поведінковому та емоційному рівнях. Це не лише фізична присутність у класі, а й глибоке занурення в матеріал, активна взаємодія з учителем та однокласниками, емоційна зацікавленість у результатах навчання [222].

Когнітивне залучення визначається ступенем розуміння матеріалу, здатністю ставити запитання, застосовувати критичне мислення й метакогнітивні стратегії (планування, моніторинг, оцінювання власної діяльності). Чим вищим є когнітивне залучення, тим ефективніше учні опановують знання та використовують їх у практичній діяльності [102].

Поведінкове залучення проявляється у систематичному виконанні завдань, активності під час уроків, організованості та цілеспрямованості. Емоційне залучення відображає інтерес, позитивне ставлення до навчання й відчуття значущості здобутих результатів. У дослідженні воно розглядається через мотиваційні компоненти: інтерес (задоволення від діяльності), цінність досягнення (усвідомлення важливості якісної роботи) та корисність діяльності для майбутніх цілей [102].

Емоційне захоплення у процесі імерсії сприяє зростанню концентрації уваги, продуктивності уяви та розвитку творчого мислення учнів. Водночас важливим є врахування індивідуально-психологічних особливостей, принципу добровільності, дотримання санітарно-гігієнічних норм і почуття міри у

використанні технологій [588].

Із поняттями занурення, потоку та присутності тісно пов'язана теорія самовизначення (Self-Determination Theory, SDT) [30], яка відповідає діяльнісному підходу використання імерсивних технологій. Вона пояснює динаміку людських потреб та мотивації у соціальному контексті та ґрунтується на трьох базових психологічних потребах: автономії (відчуття самоврядування), компетентності (усвідомлення ефективності діяльності) та взаємозв'язку (потреба у спілкуванні та належності). Задоволення цих потреб підвищує внутрішню мотивацію та психологічний добробут, тоді як їх дефіцит призводить до ізольованості та зниження активності [61].

З позицій SDT ефективне імерсивне навчання можливе за умов, якщо вчитель:

1) створює сприятливе середовище, у якому учні відчують захищеність, не бояться висловлювати власні думки та брати участь у дискусії;

2) підтримує автономію, розвиваючи внутрішню мотивацію через персоналізовані можливості, гнучкість і свободу вибору цілей, що підвищує когнітивну активність [22; 32];

3) організовує систему ефективного зворотного зв'язку, що допомагає учням усвідомлювати сильні й слабкі сторони та підвищує їхню мотивацію.

Мотивація – це багатогранне поняття, пов'язане з двома ключовими напрямками: внутрішньою та зовнішньою мотивацією. В освітньому контексті внутрішня мотивація стосується виконання учнями завдання або навчальної діяльності заради них самих, їхнього особистого інтересу та відчуття задоволення від процесу навчання. Зовнішня мотивація стосується учня, який може бути мотивованим до виконання завдання завдяки стимулу отримання винагороди, наприклад хорошої оцінки чи визнання в певній діяльності, або прийняття з боку інших учнів [30].

Імерсивні технології посилюють внутрішню мотивацію, але їх інтеграція в освіту має недоліки, пов'язані з психологічними станами та практичними аспектами [117]:

- 1) залежність стану присутності від якості середовища та індивідуальних особливостей, що може знизити академічне залучення та рівень засвоєння знань;
- 2) технічні проблеми (низька якість візуалізації, неточна тактильна симуляція, обмежена надійність систем) знижують ефективність занурення;
- 3) можливе зміщення мотивації від навчальних результатів до захоплення технологією, що послаблює внутрішню мотивацію;
- 4) потреба в якісному технічному обслуговуванні, що може бути проблематичним в умовах сучасної української освіти;
- 5) ризик перевантаження в стані потоку, якщо завдання не відповідає рівню досягнень учня, що важко контролювати в класно-урочній системі, це може знизити мотивацію.

Отже, ефективне використання імерсивних технологій вимагає балансу між технологічними можливостями та психологічними потребами учнів. Занурення можна розглядати як технологічний аспект імерсивності, що забезпечує відчуття реалістичності середовища; стан потоку – як психологічний стан оптимальної концентрації й відповідності завдання рівню умінь; присутність – як суб'єктивне відчуття перебування у віртуальному середовищі. Їхня взаємодія створює передумови для ефективного використання імерсивних технологій у навчанні за умови належної організації мотиваційної підтримки, індивідуалізації та дотримання психолого-педагогічних принципів.

2.3. Структурно-компонентна модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів

Ефективність функціонування імерсивного середовища навчання визначається сукупністю взаємопов'язаних аспектів, що відображають специфіку навчання в умовах імерсії. Передусім відбувається трансформація змісту навчання від репродуктивного засвоєння знань до їх активного конструювання через моделювання, експериментування та практичну взаємодію з навчальними об'єктами. Відповідно мета і цілі навчання спрямовуються не лише на досягнення предметних результатів, а й на формування наукового світогляду, розвиток критичного мислення та набуття досвіду дослідницької діяльності,

розширюючись завдяки можливостям візуалізації абстрактних понять і відтворення реальних процесів.

Важливою характеристикою імерсивного середовища є активний, мотивувальний і рефлексивний характер взаємодії учнів зі змістом і між собою, орієнтований на спільне конструювання знань. Водночас воно забезпечує варіативність індивідуальних навчальних маршрутів, адаптованих до освітніх потреб, рівня підготовки та темпу навчання учнів, що сприяє персоналізації освітнього процесу.

На цій основі у подальшому проаналізовано моделі навчальної діяльності та імерсивних середовищ, визначено їхні дидактичні можливості й обмеження та обґрунтовано авторську структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів.

2.3.1. Моделі імерсивних середовищ навчання. На думку авторів [14], однією з найбільших переваг імерсивних технологій є можливість створювати гібридні середовища навчання, які поєднують цифрові та фізичні об'єкти. Таке середовище сприяє розвитку критичного мислення, уміння розв'язувати проблеми, комунікувати та взаємодіяти у спільній діяльності. Дослідження інтеграції імерсивних технологій у систему загальної середньої освіти показали, що найбільших результатів досягають учні із середнім і достатнім рівнями підготовки, тоді як для учнів із високими навчальними досягненнями суттєвих змін не виявлено [537]. Це особливо актуально для України, де триває процес подолання освітніх втрат, адже імерсивні середовища можуть підсилити мотивацію та результативність навчання.

У дослідженні поняття моделі розглядається з позицій системного підходу, відповідно до якого модель виступає засобом дослідження та пізнання об'єкта, відображаючи його суттєві характеристики, зв'язки й відношення та забезпечуючи можливість отримання нових знань про нього [378]. Таке розуміння узгоджується з поширеними в педагогічній науці трактуваннями моделі як системи дослідження, що дає відомості про іншу систему [397], та як уявної або матеріально реалізованої системи, яка відображає чи відтворює об'єкт

дослідження [413]. Зазначені підходи дозволяють розглядати імерсивне середовище навчання як об'єкт педагогічного моделювання, що, з одного боку, слугує інструментом аналізу освітньої взаємодії та когнітивної діяльності учнів, а з іншого – відтворює та моделює реальні навчальні процеси в умовах цифрово опосередкованого занурення.

Залежно від домінантного способу взаємодії учасників освітнього процесу з імерсивним середовищем виокремлюють такі сценарії його використання, що можуть поєднуватися в межах одного імерсивного середовища [196]:

1) *спільне навчання* – робота учнів у віртуальному просторі над проектами чи завданнями, взаємодія з об'єктами та колективне розв'язання проблем незалежно від фізичного місця перебування;

2) *навчання на досвіді* – забезпечує учням реалістичний і захопливий досвід, що стимулює експериментальне навчання;

3) *персоналізоване навчання* – адаптація освітнього процесу до індивідуальних потреб учня, можливість навчатися у власному темпі з постійним зворотним зв'язком;

4) *віртуальні екскурсії* – дослідження культурних і наукових об'єктів у VR/AR, взаємодія з артефактами та доступ до відомостей без обмежень фізичного простору;

5) *віртуальні лабораторії* – виконання експериментів у VR/AR-симуляціях, маніпуляція обладнанням і аналіз результатів у безпечних умовах;

6) *професійний розвиток* – використання імерсивних технологій для підвищення кваліфікації педагогів, апробації нових методів у змодельованому середовищі.

Усі зазначені сценарії мають потенціал для адаптації до умов академічних ліцеїв. Їх реалізація має здійснюватися з урахуванням етичних принципів, вимог конфіденційності та орієнтації на особистісний розвиток учнів.

Теоретичну базу побудови імерсивного середовища навчання становлять концепція конструктивістського навчання, що визначає засади активного синтезу знань здобувачами освіти, та теорія когнітивного навантаження, яка регламентує

оптимізацію сприйняття візуального вмісту [237]. Побудова такого середовища має відповідати визначеній меті та завданням навчання, а його модель – бути змістовно прозорою та сприяти як засвоєнню знань, так і соціалізації учня [31]. Ефективність функціонування імерсивного середовища забезпечується дотриманням таких принципів:

Принцип автентичності навчання полягає в організації процесу навчання через розв’язання учнями реальних або максимально наближених до реальності проблемних ситуацій в імерсивному середовищі. Це сприяє глибшому засвоєнню знань, формуванню практичних умінь і розвитку критичного мислення. Реалізація забезпечується через опору на наявні знання, інтеграцію нового матеріалу з життєвим досвідом, практичне застосування здобутих знань та їх систематизацію [31].

Принцип присутності та емоційної залученості визначається якістю сенсорного занурення, рівнем контролю над сприйняттям і ступенем взаємодії учня з середовищем. Чим ширше залучення органів чуття та можливостей впливати на ситуацію, тим сильніше відчуття присутності і вищий рівень емоційного включення [203].

Принцип інтерактивності та активності спрямований на залучення учнів до активної взаємодії з середовищем навчання і учасниками освітнього процесу. Інтерактивна діяльність розвиває критичне мислення, комунікативні вміння, здатність до самонавчання й рефлексії, а також формує навички ефективної роботи в команді, спільного обговорення та розв’язання проблем [60; 113].

Принцип індивідуалізації навчання спрямований на врахування індивідуальних освітніх потреб, темпу та стилю навчання учня, що створює умови для формування вмінь самостійного здобуття знань, розвитку критичного мислення та здатності до пошуку шляхів розв’язання навчальних завдань відповідно до власної освітньої траєкторії. Реалізація принципу відбувається через створення імерсивного середовища, адаптованого до особистісних потреб учнів, що стимулює їхню активну залученість у навчальну діяльність. Адаптація такого середовища передбачає врахування індивідуальних особливостей,

поточних навчальних досягнень і результатів діяльності учня для добору змісту, рівня складності, способів подання навчального матеріалу та необхідної педагогічної підтримки, забезпечуючи персоналізацію освітнього процесу. Важливим інструментом реалізації принципу індивідуалізації є *імерсивні освітні ресурси* – адаптивні платформи, системи підтримки навчання, а також засоби збору та аналізу результатів, які забезпечують персоналізоване налаштування освітнього процесу [206; 474].

Принцип зворотного зв'язку та рефлексії передбачає двосторонню комунікацію між учителем та учнем, а також взаємооцінку в учнівському колективі. Зворотний зв'язок має бути конструктивним і сприяти усвідомленню досягнень, корекції помилок і розвитку здатності адекватно сприймати критику [188].

Принцип командного та соціального навчання ґрунтується на взаємодії учнів, що передбачає спільне обговорення, обмін ідеями, співпрацю та відповідальність кожного за колективний результат. Він підсилює ефективність навчання завдяки конструктивістському підходу, коли знання вибудовуються у процесі взаємодії. Основними його аспектами є розвиток комунікативних і соціальних навичок, формування критичного мислення, зростання мотивації та підготовка учнів до командної діяльності як необхідної компетентності XXI століття [204].

Принцип педагогічного дизайну вимагає логічної структури навчального матеріалу, послідовного ускладнення завдань, інтуїтивної взаємодії з середовищем і відповідності дій у ньому діям у реальному світі. Це забезпечує ефективне засвоєння знань та їхнє практичне застосування [241].

Принцип системності відображає побудову цілісної, динамічної та взаємоузгодженої системи навчання, у якій зміст навчання, імерсивні технології, методи, засоби, оцінювання та зворотний зв'язок функціонують як взаємопов'язані компоненти й адаптуються до індивідуальних потреб учнів. Реалізація цього принципу забезпечує логічну послідовність організації освітнього процесу, узгодженість його складників, інтеграцію імерсивних

технологій як невіддільної складової навчання, а також їхню педагогічну доцільність і технічну сумісність. Водночас принцип передбачає гнучкість і варіативність середовища, що дає змогу використовувати його в різних моделях навчання – традиційній, змішаній чи дистанційній – та оптимізувати всі етапи навчального процесу: від мотивації й залучення до закріплення знань і оцінювання [225].

Аналіз наукових джерел дозволив виокремити низку моделей імерсивних середовищ навчання, які вже були апробовані в практиці організації освітнього процесу. Усі розглянуті моделі можна віднести до феноменологічної моделі освіти, що передбачає персоналізований підхід з урахуванням індивідуально-психологічних особливостей учнів та дбайливе ставлення до їхніх інтересів і потреб [461].

Ключовим елементом виокремлених моделей є гармонійне поєднання занурення та інтерактивності. Однією з ефективних є когнітивно-афективна модель імерсивного середовища навчання, що інтегрує теорію самовизначення, теорію когнітивного навантаження, когнітивну теорію мультимедійного навчання та втілене пізнання [255].

1. Когнітивно-афективна модель імерсивного середовища навчання (CAMILE – Cognitive-Affective Model of Immersive Learning Environment) поєднує когнітивні та афективні аспекти процесу навчання, що відбувається в умовах використання VR-, AR- та MR-технологій [139]. Її центральна ідея полягає в тому, що навчання в імерсивному середовищі має враховувати не лише інтелектуальні механізми обробки навчальних відомостей, а й емоційні чинники, які визначають мотивацію, інтерес та залученість учнів (рис. 2.5).

Модель описує шість афективних та когнітивних факторів [203]:

- 1) *ситуативний інтерес* – поступове перетворення на індивідуальний, що стимулює стійке прагнення здобувати нові знання;
- 2) *внутрішня мотивація* виникає через автономність та емоційне задоволення від процесу навчання, сприяє наполегливості та допитливості;
- 3) *самоефективність* – відчуття учнями контролю над власним навчанням,

що підтримується завдяки миттєвому зворотному зв'язку;

4) *втілення* – досвід володіння віртуальним тілом та сенсорної взаємодії. Емпіричні дослідження [110] показують, що ефективність зростає за умови узгодження моторних дій та візуалізації понять, а отже – необхідна інтеграція практичних вправ у реальному середовищі після імерсивного досвіду;

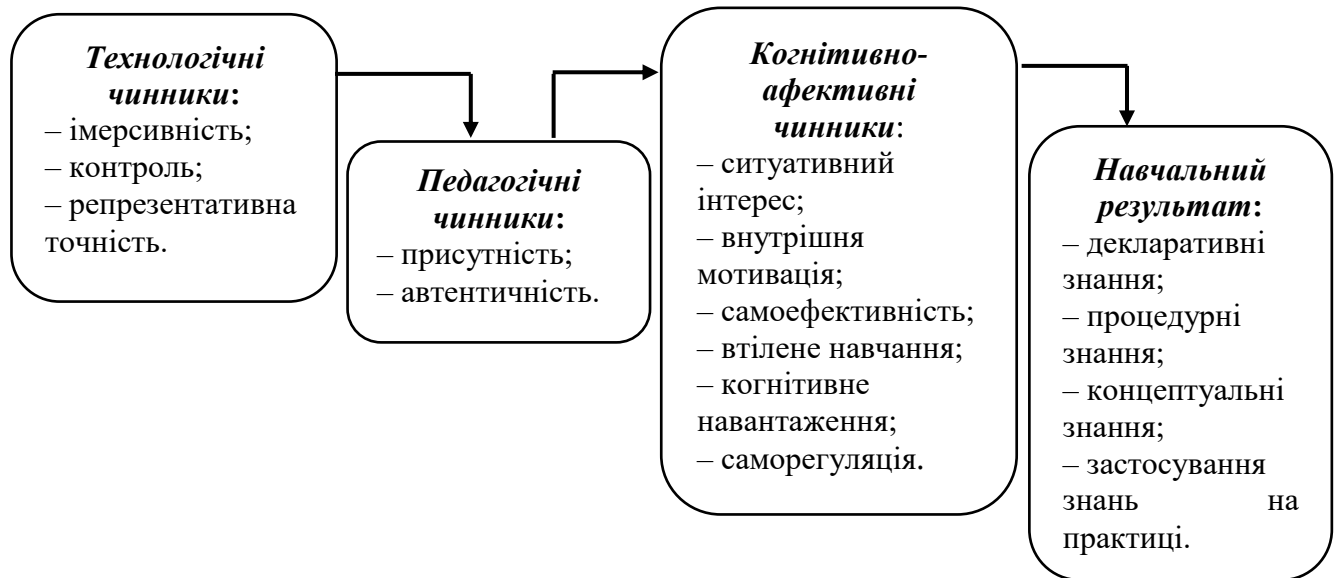


Рис. 2.5. Когнітивно-афективна модель імерсивного середовища [139]

5) *когнітивне навантаження* – зростає за умов активного використання симуляцій і віртуальних лабораторій, що може спричинити перевантаження учнів, тому потребує педагогічного контролю;

6) *саморегуляція та рефлексія* – забезпечують активне, усвідомлене навчання. Водночас відсутність рефлексії може знизити продуктивність процесу навчання.

Завданням моделі є активне залучення учнів до конструювання знань та вміння застосовувати їх на практиці, підвищення результативності навчання. Дослідження [100] підтверджують, що занурення та інтерактивність позитивно впливають на навчання через ситуативний інтерес і втілене навчання. Проте інші результати [255] свідчать, що підвищення рівня втіленого навчання може знижувати засвоєння знань через відсутність узгодженості між тілесними діями та змістом навчання. Це означає, що ефективність CAMILE залежить від правильного дидактичного дизайну та збалансованості когнітивного

навантаження.

2. Дослідницька модель імерсивного середовища навчання (Inquiry-Based Immersive Learning Environment Model) ґрунтується на поєднанні імерсивних технологій з дослідницьким підходом до навчання [213]. Вона передбачає активне дослідження та аналіз навчального матеріалу учнями через інтерактивну взаємодію з реальними або змодельованими ситуаціями. Основна мета моделі – розвиток критичного мислення, умінь знаходити шляхи розв’язання проблем і глибокого розуміння предмета через активне дослідження та експериментування.

Концептуально модель спирається на ідею втіленого пізнання, згідно з якою нові знання формуються не лише через абстрактні моделі, а й через сенсорну та фізичну взаємодію з матеріалом. Імерсивні технології (VR/AR-симуляції, віртуальні лабораторії, сенсорні інтерактивні моделі) забезпечують цю взаємодію та надають учневі можливість залучатися до процесу навчання. Модель інтегрує чотири типи пізнання – втілене, активне, вбудоване та розширене (4E), що створює підґрунтя для багаторівневої активності учня [213]. Такий підхід сприяє організації дослідницького навчання без надмірного когнітивного перевантаження та стимулює внутрішню мотивацію до навчання [69; 189; 213]. Рівні активності учня в дослідницькій моделі відображено на рис. 2.6.

На *першому* рівні – *початковому* (пасивне сприйняття) – учень отримує базові знання в імерсивному середовищі навчання без активного керування процесом. Його когнітивна діяльність низька, і основна мета цього рівня – ознайомлення з матеріалом та формування початкового розуміння.

На *другому* рівні – *самостійного керування* – учень самостійно регулює швидкість засвоєння матеріалу, використовує додаткові сенсомоторні системи для підтримки пам’яті та ефективного засвоєння складних тем, виконує практичні дії та експерименти.

На *третьому* рівні – *усвідомленого дослідження* – учень керує змістом навчання, активно взаємодіє з матеріалом через дослідження у віртуальних лабораторіях та симуляціях. Цей рівень сприяє формуванню вмінь аналітичного та проблемного мислення.

На четвертому – рівні конструювання знань – учень генерує нові знання через аналіз, порівняння, синтез та проведення дослідницьких проєктів. Активно використовуються групові форми роботи, симуляції та проєкти, а також інтерактивна взаємодія з учителем і іншими учасниками процесу навчання.

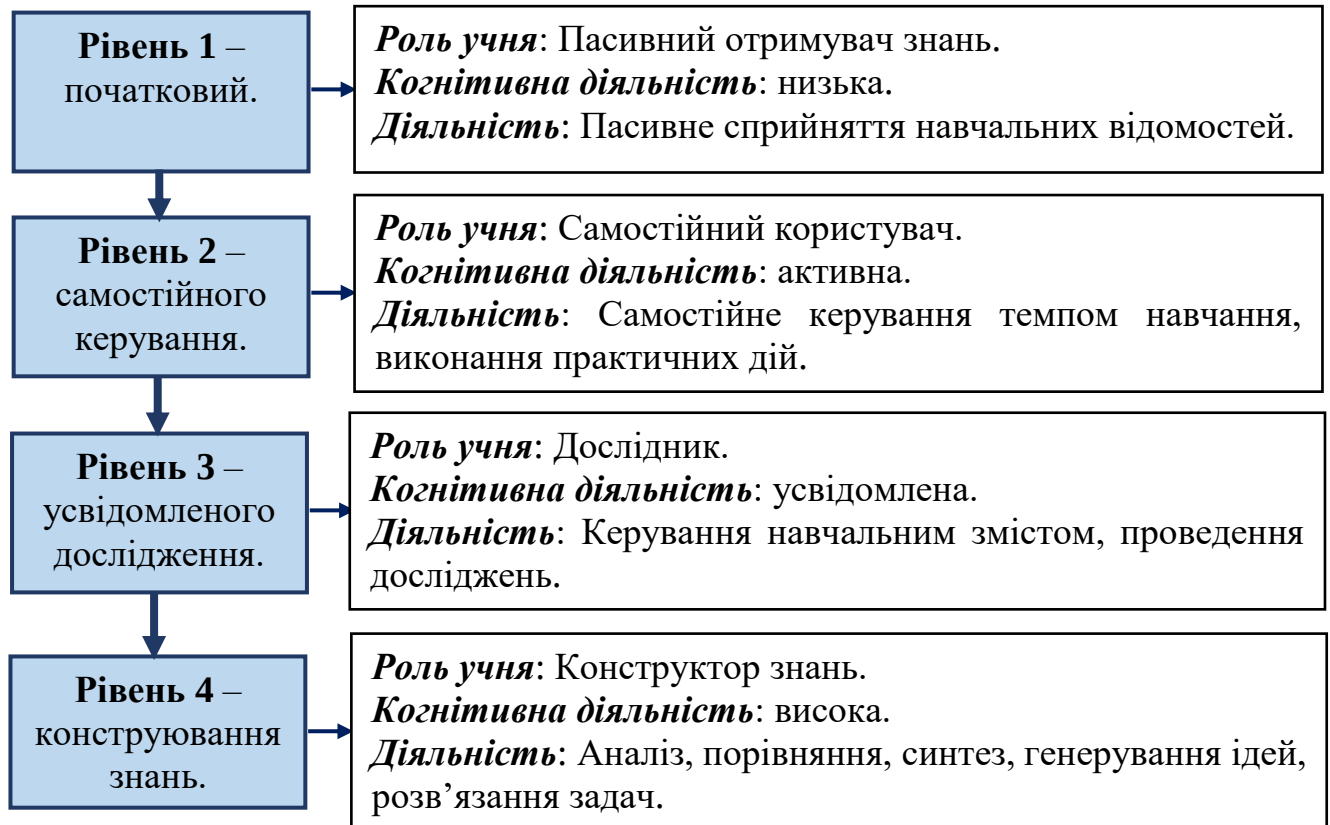


Рис. 2.6. Рівні дослідницької моделі імерсивного середовища навчання (розроблено автором на основі [213])

До сильних сторін моделі відносять: 1) забезпечення поступового зростання рівня активності та автономності учня; 2) формування навичок критичного й творчого мислення; 3) інтеграцію концепції втіленого пізнання з дослідницьким підходом до навчання; 4) підтримку командної роботи та спільного конструювання знань.

Таким чином, модель відображає поступовий перехід від пасивного сприйняття до активного конструювання знань, сприяючи розвитку когнітивної автономії, критичного мислення та дослідницьких навичок учнів.

3. Імерсивна модель навчання на основі еволюційних алгоритмів поєднує можливості VR/AR/MR із механізмами адаптивної оптимізації навчального

процесу. Основна ідея моделі полягає в організації навчання в імерсивному середовищі, яке змінюється відповідно до результатів діяльності здобувача освіти та зворотного зв'язку [38].

Процес навчання передбачає попереднє оцінювання користувача, на основі якого визначаються початкові параметри навчання та налаштування середовища. Подальша адаптація здійснюється з використанням еволюційних алгоритмів, що забезпечують добір та модифікацію варіантів навчальних сценаріїв відповідно до критеріїв ефективності.

У процесі навчання середовище та навчальні завдання динамічно коригуються для підвищення результативності взаємодії користувача з навчальним матеріалом (рис. 2.7), який подається у послідовних змістових блоках, що стають дедалі дрібнішими зі збільшенням складності теми. При цьому імерсивне середовище оптимізується для кращої візуалізації й ефективного виконання завдань у поточний момент, що сприяє підтримці когнітивної ефективності та зниженню перевантаження учня [38].

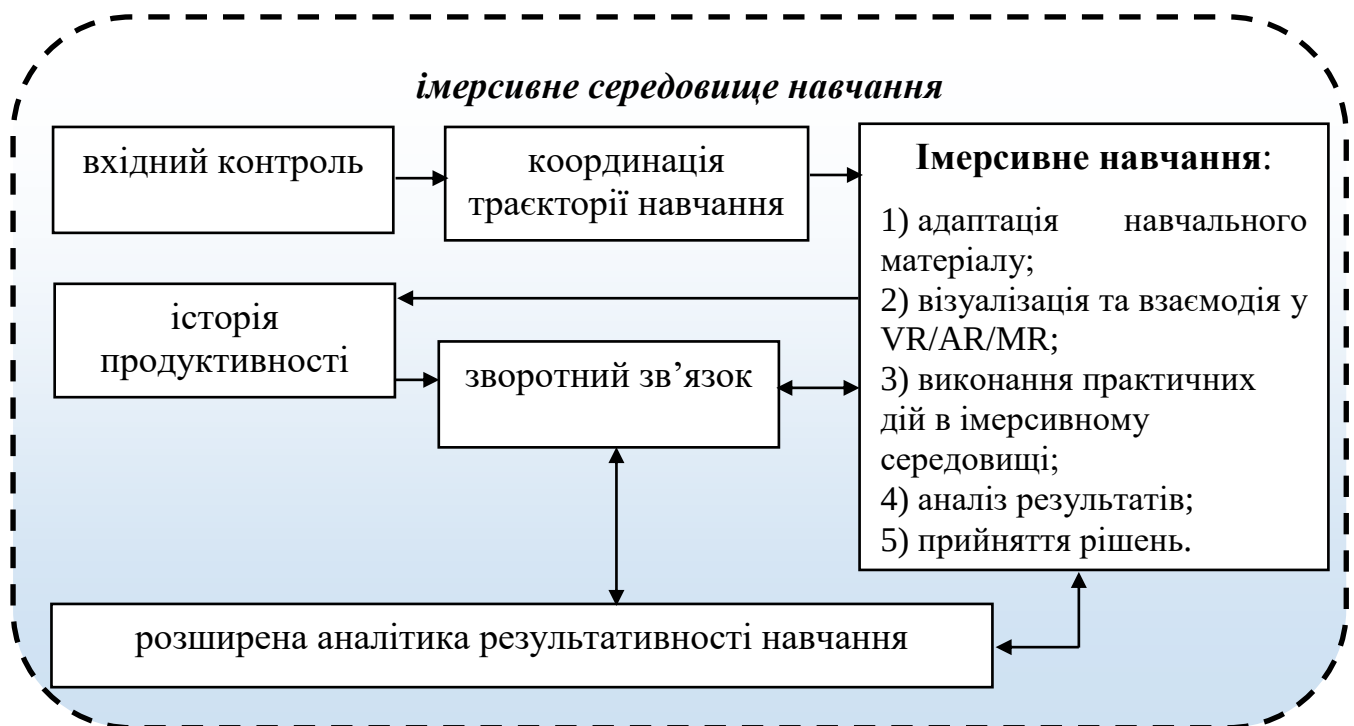


Рис. 2.7. Авторська інтерпретація імерсивної моделі навчання на основі еволюційних алгоритмів (розроблено на основі [38])

Учень на різних етапах процесу навчання виконує такі функції:

1) спостереження та аналіз результатів власної діяльності; 2) експериментування у віртуальному середовищі; 3) вибір стратегій для виконання завдань та прийняття рішень; 4) взаємодія з іншими учасниками для колаборативного навчання (у проєктах або симуляціях).

4. Модель потокового стану навчання ґрунтується на концепції М. Чиксентмігаї (M. Csikszentmihalyi) [73], яка описує стан повного занурення людини у діяльність, коли складність виклику та рівень здібностей суб'єкта перебувають у динамічній рівновазі. В імерсивному середовищі навчання ця модель передбачає створення таких завдань і ситуацій, які дещо перевищують поточний рівень знань учня, але залишаються досяжними завдяки підтримці технологій і педагога. Це стимулює розвиток, зберігаючи при цьому високу внутрішню мотивацію та емоційне залучення. Характерними особливостями цієї моделі є [186]:

1) *баланс між викликами та можливостями* – навчальні завдання повинні бути дещо вищими за рівень поточних умінь, але залишатися посильними, що забезпечує відчуття прогресу й розвитку;

2) *чіткі цілі та очікування* – учень усвідомлює мету, завдання та критерії успіху, що зменшує тривожність і сприяє концентрації;

3) *концентрація та фокусування уваги* – імерсивне середовище завдяки інтерактивності та сенсорному залученню допомагає уникнути відволікання і зосередитися на діяльності;

4) *відчуття контролю* – учень має змогу впливати на хід навчання, обирати стратегії, регулювати власний темп;

5) *емоційне залучення та когнітивна активація* – взаємодія з імерсивними навчальними матеріалами викликає позитивні емоції, підсилює пам'ять та увагу, сприяє глибшому розумінню;

6) *негайний зворотний зв'язок* – середовище оперативно сигналізує про результат дій, що допомагає коригувати навчальні стратегії;

7) *зміна сприйняття часу* – учні можуть втрачати відчуття його перебігу, перебуваючи в стані «потoku».

Імерсивні технології створюють унікальні умови для досягнення потокового стану: динамічне налаштування складності завдань, візуалізація абстрактних понять, симуляції, які вимагають концентрації й активної участі, а також можливість миттєвого зворотного зв'язку.

На нашу думку, модель потокового стану має спільне ядро з дослідницькою та еволюційною моделями імерсивного навчання: баланс виклику та можливостей, поступове ускладнення навчального матеріалу, підтримка мотивації та активне залучення учня. Це дає можливість взяти їх за основу побудови моделі імерсивного середовища навчання.

5. Модель ігрового навчання на основі штучного інтелекту. Однією з ключових педагогічних засад інтеграції імерсивних технологій у процес навчання є теорія конструктивізму, яка виходить із природного прагнення людини творити та самостійно конструювати знання. Реалізація таких здібностей учнів можлива за допомогою генеративного штучного інтелекту, що забезпечує створення реалістичних віртуальних середовищ та персонажів (наприклад, аватарів) у межах освітньої гри. У таких умовах учні залучаються до навчальної діяльності з підвищеним відчуттям присутності, інтерактивності та занурення, що сприяє зростанню їхньої мотивації, інтересу та розвитку здатності до створення нових знань. Використання ШІ у цьому контексті надає можливості для: 1) відстеження прогресу учня; 2) адаптації навчальних матеріалів відповідно до рівня досягнень; 3) персоналізованого зворотного зв'язку; 4) автоматизованого формувального оцінювання, що змінює традиційні підходи до контролю результатів [115].

Система ігрових нагород додатково стимулює внутрішню мотивацію, формуючи в учнів відчуття досягнення мети [315]. Таке поєднання відповідає інноваційним підходам до формувального оцінювання, що є особливо актуальним для учнів академічних ліцеїв.

Наукові дослідження доводять, що організація процесу навчання у формі гри з використанням імерсивних технологій, зокрема віртуальної реальності [216] та доповненої реальності [55], є ефективною, особливо тоді, коли персоналізований зворотний зв'язок підтримується ШІ. У порівнянні з

традиційними формами навчання ігрові освітні середовища значно підсилюють відчуття присутності та суттєво підвищують мотивацію до навчання (рис. 2.8).

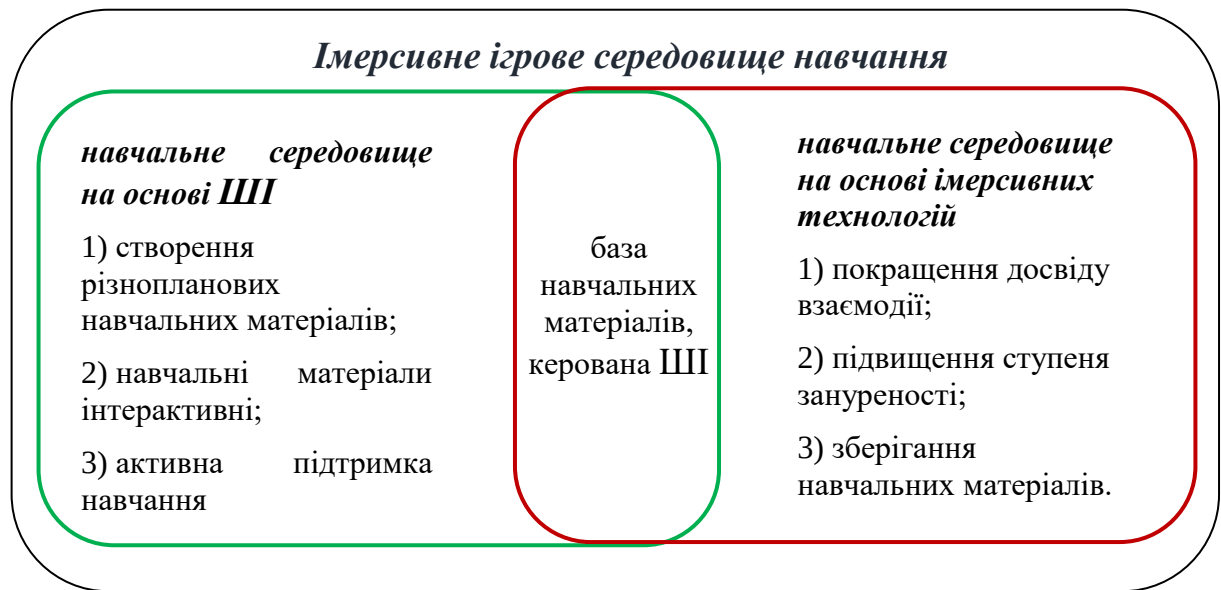


Рис. 2.8. Ігрове імерсивне середовище навчання, кероване ШІ [315]

Застосування цієї моделі трансформує процес формувального оцінювання, сприяє розвитку стратегічного мислення, формує навички планування й комунікації, заохочує до відповідальності за власні рішення та навчає аналізувати дані з метою оптимізації подальшого навчання. Водночас дослідження засвідчують, що найбільше ігор на основі імерсивних технологій нині застосовується у ЗЗСО для вивчення тем, пов'язаних з охороною здоров'я, безпекою життєдіяльності та поведінковими практиками. Частка ігор, спрямованих на вивчення предметів природничо-математичного циклу, становить лише близько десятої частини [221; 243], що вказує на недостатню реалізацію потенціалу ігрових імерсивних середовищ у STEM-освіті.

Ігрове середовище навчання, побудоване на основі імерсивних технологій та ШІ, має комплексний характер і створює умови для підвищення ефективності освітнього процесу завдяки таким можливостям [256]:

- *емоційна залученість* – ігрові завдання викликають інтерес і забезпечують глибше включення учнів у навчальну діяльність;
- *розуміння завдань* – дослідження явищ у дії робить навчальні завдання наочнішими та доступнішими для розуміння;

– *наочність результатів* – візуалізація навчальних досягнень у середовищі дає змогу учням усвідомити практичне значення знань;

– *розвиток інтелектуальних умінь* – ігрове середовище стимулює критичне мислення, аналітичну діяльність і здатність розв’язувати проблеми.

За своїми дидактичними можливостями ігрові технології поділяються на [115]: 1) *цільові ігри* – орієнтовані на формування конкретних умінь у межах однієї теми; 2) *лінійні ігри* – побудовані на сюжетній лінії та серії завдань, що сприяють систематизації знань у межах предмета; 3) *відкриті ігри* – надають учням інструменти для самостійного дослідження й конструювання нових знань; 4) *віртуальні світи* – передбачають колективне розв’язання проблемних завдань і квестів, що охоплюють кілька тем.

Попри значний дидактичний потенціал, ігрові моделі в навчанні учнів академічних ліцеїв потребують педагогічної адаптації. Орієнтація старшої школи на здобуття фундаментальних знань вимагає системності, логічної послідовності та глибини опрацювання змісту. Тому ігрові технології доцільно використовувати як засіб підвищення мотивації, створення емоційної залученості та відпрацювання складних понять у доступній формі, поєднуючи їх із традиційними та дослідницькими методами навчання.

Розглянуті моделі імерсивних середовищ навчання, на нашу думку, є неповними. Кожна з них акцентує увагу на окремих компонентах, але не формує цілісної картини якісного середовища навчання. Порівняльний аналіз моделей за уніфікованими критеріями описано в додатку Б. Узагальнимо переваги та обмеження кожної моделі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Переваги та обмеження моделей імерсивних середовищ навчання

Модель/Акцент	Переваги	Обмеження
<i>CAMILE</i> : когнітивні та емоційні аспекти навчання.	Комплексний підхід, враховує емоції та мотивацію, стимулює саморегуляцію та рефлексію.	Недостатньо уваги приділяється практичному застосуванню знань та дослідницькій діяльності.

Модель/Акцент	Переваги	Обмеження
<i>Дослідницька:</i> дослідницький підхід та концепція втіленого пізнання.	Розвиває критичне мислення, вміння розв'язувати проблеми, глибоке усвідомлення матеріалу, підтримує конструювання знань.	Вимагає високої автономії учнів; на початкових рівнях можливе частково пасивне сприйняття.
<i>Еволюційного навчання:</i> адаптація до потреб учнів, індивідуалізація та оптимізація середовища навчання.	Персоналізований підхід, гнучкість, поступове ускладнення матеріалу, підтримка зворотного зв'язку	Обмежена увага емоційній залученості та соціальній взаємодії.
<i>Потокового стану навчання:</i> повне занурення та концентрація.	Висока мотивація, концентрація, занурення у діяльність, негайний зворотний зв'язок.	Може бути стресовою, якщо завдання занадто складні.
<i>Ігрового навчання на основі ІІІ:</i> конструктивізм, ігрові елементи, персоналізація через ІІІ	Висока залученість, мотивація, персоналізація, розвиток критичного мислення.	Не завжди сприяє формуванню фундаментальних знань; потребує значних технологічних ресурсів.

На основі аналізу переваг і обмежень розглянутих моделей розроблено авторську узагальнену структурну схему імерсивного середовища навчання (рис. 2.9), яка інтегрує їх сильні сторони та слугує підґрунтям для побудови структурно-компонентної моделі імерсивного середовища природничо-математичних предметів. Це дало змогу сформулювати основні вимоги до побудови імерсивного середовища навчання, згруповані за педагогічним, технологічним, психологічним і розвивальним аспектами.

Педагогічні вимоги: 1) чітке формулювання цілей та очікуваних результатів навчання, орієнтованих на розвиток практичних навичок; 2) інтерактивність, творчість та активність змісту навчання, що включає проблемні та ігрові елементи і персоналізується відповідно до рівня підготовки учнів; 3) ефективне оцінювання результатів навчальних досягнень, яке забезпечує позитивну динаміку навчання.

Технологічні вимоги: 1) зручність і зрозумілість імерсивних технологій для

учнів, що сприяє реалістичності процесу навчання; 2) підтримка стану «поток» та відчуття присутності, інтегрованість і поступовість навчання; 3) надання якісного зворотного зв'язку.

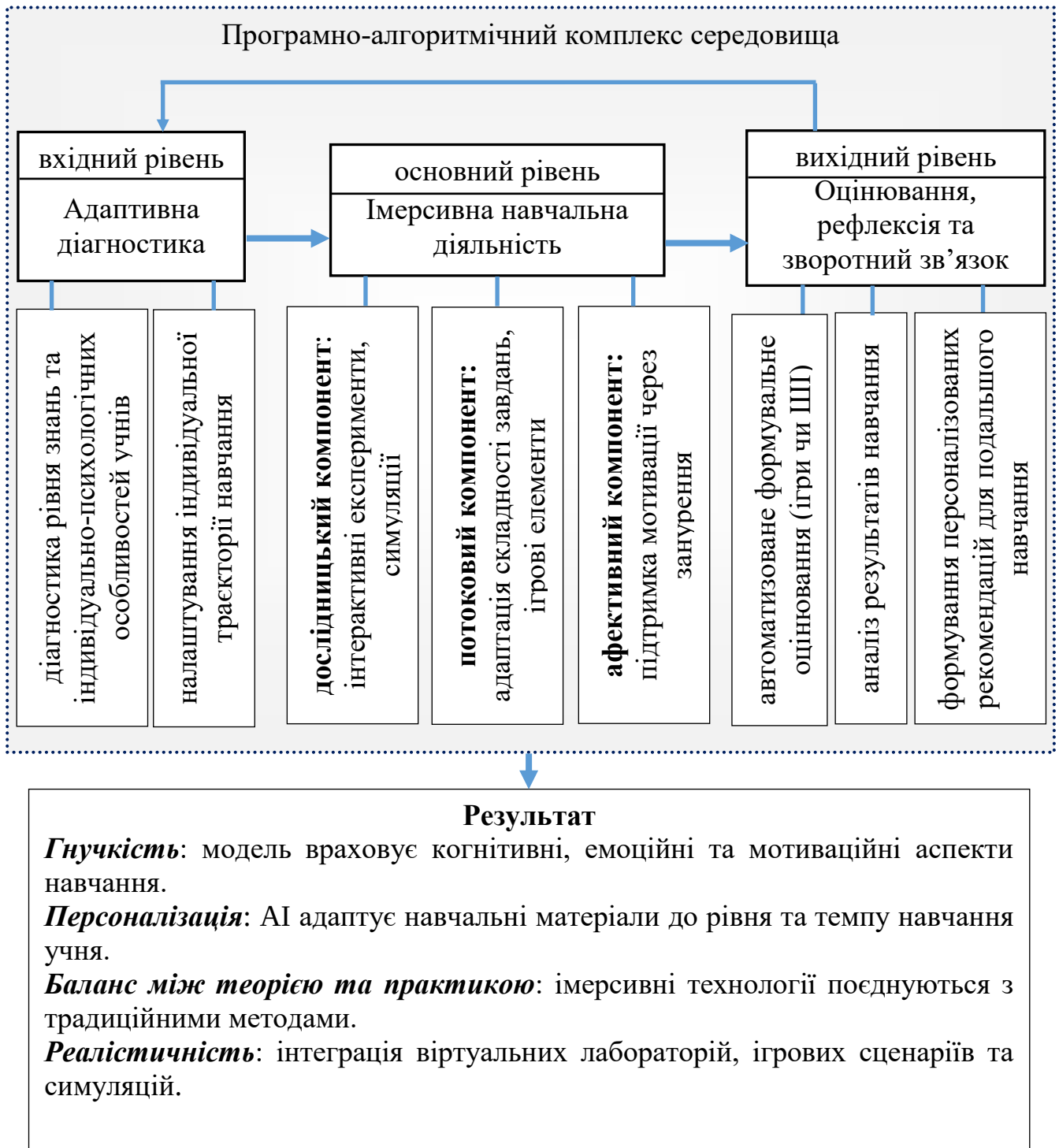


Рис. 2.9. Узагальнена структурна схема імерсивного середовища навчання

Психологічні вимоги: 1) сприяння когнітивному навчанню без перевантаження учнів, створення умов для ефективного розуміння та запам'ятовування; 2) підтримка соціальної взаємодії та співпраці; 3) мотивація та

активне залучення учнів через інтерактивний та захопливий навчальний досвід; 4) створення позитивного емоційного залучення через зміст та форму навчальних матеріалів.

Розвивальні вимоги: 1) розвиток критичного та аналітичного мислення через власні висновки з процесу навчання; 2) сприяння творчості та інноваційності через задоволення інтересів і вподобань учнів; 3) формування комунікативних навичок через аргументацію та ведення дискусій; 4) розвиток емоційного інтелекту через виклик емоційного відгуку під час використання імерсивних технологій; 5) підтримка самостійності та саморегуляції через автономію в навчанні.

На основі очікуваних результатів узагальненої структурної схеми імерсивного середовища навчання визначимо основні складники структурно-компонентної моделі імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів згідно з [448] (рис. 2.10).

Запропонована структурно-компонентна модель відображає цілісну організацію імерсивного середовища навчання, у межах якого реалізується навчальна діяльність учнів з використанням імерсивних технологій.

Структурно-компонентну модель розроблено на основі системного підходу. Її структура охоплює цільовий, змістово-методичний, комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти, узгоджуючи цілі, зміст, способи взаємодії та результати навчання в імерсивному середовищі. Цільовий компонент виконує системоутворювальну функцію та визначає загальну спрямованість функціонування моделі.

У цільовому блоці структурно-компонентної моделі окреслено чинники, мету та орієнтири функціонування імерсивного середовища навчання. Чинники відображають зовнішні та контекстуальні передумови його впровадження, зокрема особливості освітнього середовища академічного ліцею, процеси цифрової трансформації освіти, специфіку використання імерсивних технологій, а також зміну ролі учня як активного суб'єкта навчальної діяльності.

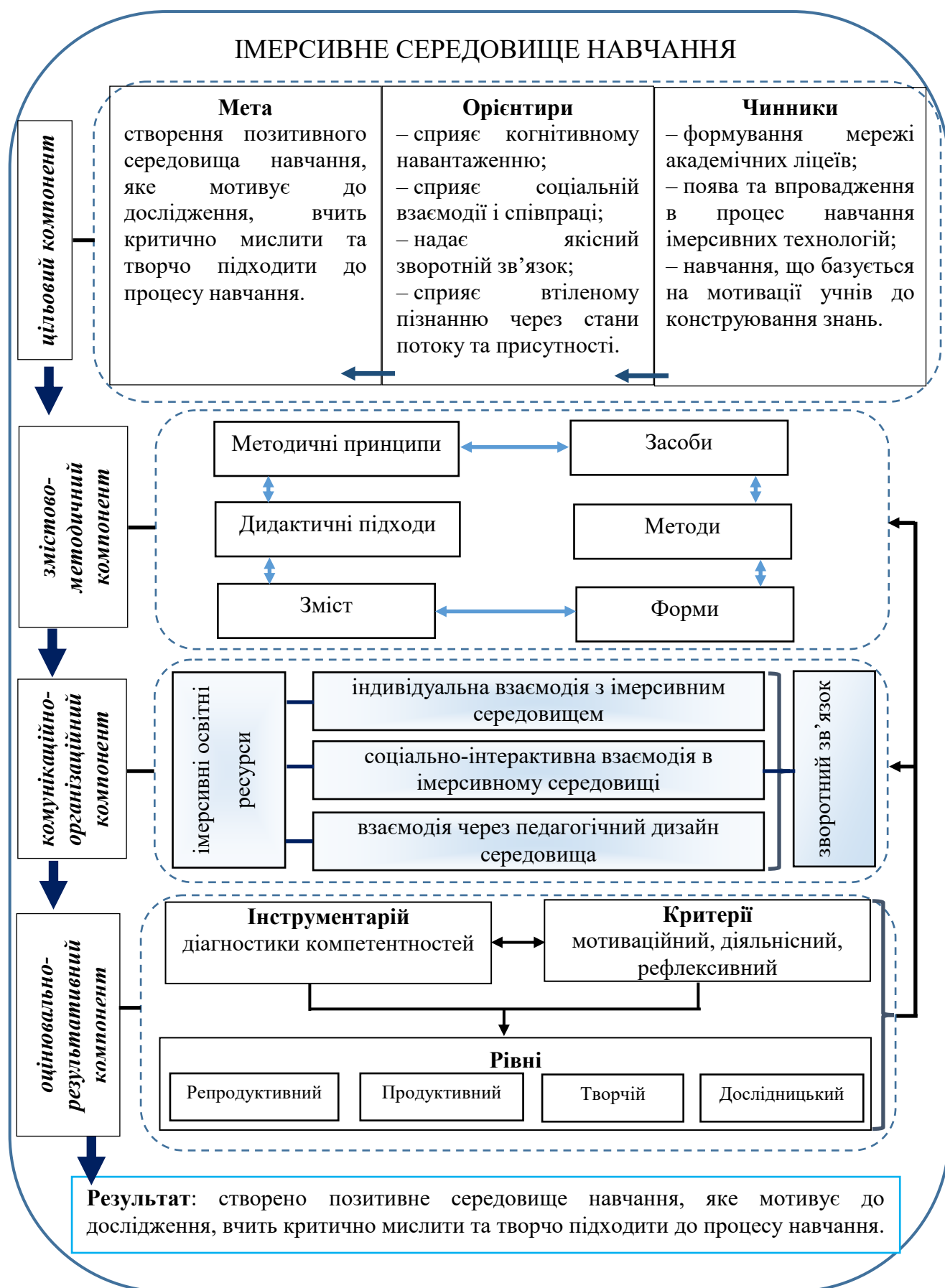


Рис. 2.10. Структурно-компонентна модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів

Метою функціонування імерсивного середовища є створення позитивного навчального досвіду, розвиток критичного мислення та підтримка творчо-дослідницького підходу до навчання. Орієнтири моделі конкретизують мету через забезпечення когнітивної залученості учнів, організацію соціальної взаємодії, якісний зворотний зв'язок, а також формування умов для виникнення станів втіленого навчання, навчального потоку та стійкої зацікавленості в освітній діяльності.

Змістовно-методичний компонент репрезентує систему принципів, що визначають загальну логіку проєктування та функціонування імерсивного середовища навчання. У межах цього компонента загальнодидактичні принципи навчання (науковості, гуманістичності, доступності та диференціації, системності й цілісності, наступності, практичної спрямованості, демократичності та академічної свободи) виконують роль методичної основи організації навчальної діяльності. З урахуванням специфіки імерсивних технологій вони конкретизуються через принципи автентичності, інтерактивності, індивідуалізації, емоційної залученості, командного й соціального навчання, педагогічного дизайну та зворотного зв'язку, що забезпечує узгодження змісту, методів і форм навчання з можливостями імерсивного середовища. Такі елементи, як підходи, зміст, форми та методи навчання, не фіксуються жорстко в межах моделі, а наповнюються відповідно до особливостей навчального предмета, профілю класу академічного ліцею та конкретних дидактичних завдань. Таким чином, структурно-компонентна модель створює рамкові умови для реалізації різних методичних рішень без їх нормативного обмеження.

Комунікаційно-організаційний компонент відображає типи та механізми взаємодії учасників процесу навчання, опосередковані імерсивними освітніми ресурсами. У межах цього компонента середовище виступає активним медіатором комунікації, що визначає способи індивідуальної, групової та педагогічно керованої взаємодії учасників процесу навчання.

Оцінювально-результативний компонент спрямований на забезпечення керованості та результативності процесу навчання в імерсивному середовищі. Він

охоплює функції діагностики, мотивації, корекції та контролю, а також систему критеріїв аналізу навчальної діяльності учнів (мотиваційний, діяльнісний, рефлексивний), що дають змогу оцінювати ступінь залученості учнів до навчання, особливості виконання ними навчальних дій та здатність до рефлексії. На основі інтегральної оцінки за визначеними критеріями виокремлюються рівні результативності навчальної діяльності учнів – репродуктивний, продуктивний, творчий та дослідницький, які відображають поступовий перехід від виконання дій за зразком до самостійного розв’язання проблем і дослідницького пошуку [471].

Ключовою особливістю структурно-компонентної моделі імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів є використання імерсивних освітніх ресурсів, які можуть доповнюватися адаптивними можливостями ШІ, що забезпечує персоналізацію навчання та створює умови для індивідуалізації освітнього процесу в межах імерсивного середовища.

Сучасні дослідження підтверджують ефективність адаптивних систем у навчанні, проте їх інтеграція в імерсивні середовища поки що має фрагментарний характер і здебільшого є експериментальною [80; 138; 242; 433; 435]. Перспективним напрямом є застосування інтелектуальних інструментів, здатних забезпечувати персоналізацію навчального матеріалу, підтримувати індивідуальні темпи засвоєння знань та надавати вчителю аналітичні дані для моніторингу прогресу учнів.

Імерсивне середовище з адаптивними можливостями не лише підвищує доступність освіти для учнів із різними когнітивними та фізичними особливостями, а й розширює інклюзивність, спираючись на етичні принципи проєктування та використання штучного інтелекту [87; 173; 248]. Персоналізація навчальних матеріалів та індивідуальне налаштування завдань дають змогу враховувати різні стилі навчання й рівні підготовки, стимулювати самостійну роботу та рефлексію учнів, а також забезпечувати вчителя інструментами для коригування освітнього процесу [117; 206].

Разом із тим, О. Соколюк [554] підкреслює, що стрімкий розвиток

технологій ускладнює створення універсального імерсивного середовища. Одним із можливих шляхів розв'язання цієї проблеми є уніфікація критеріїв відбору технологій для академічних ліцеїв. Водночас перспективним напрямом є не лише вдосконалення самого імерсивного середовища, а й інтеграція імерсивних технологій у вже сформовані моделі організації освітнього процесу, що дає змогу забезпечити їх педагогічно доцільне та системне використання [389; 420].

У цьому контексті особливий інтерес становить *змішане навчання*, яке поєднує традиційні форми організації освітньої діяльності з використанням цифрових технологій і створює сприятливі умови для впровадження імерсивних засобів. Саме тому аналіз концепції змішаного навчання є необхідним для подальшого обґрунтування імерсивного змішаного навчання як моделі, що забезпечує ефективне поєднання очної, дистанційної та імерсивної взаємодії в освітньому процесі.

2.3.2. Імерсивне змішане навчання. Починаючи з 2008 року в українському освітньому просторі набуває поширення термін «змішане навчання», який у вітчизняних наукових публікаціях трактується по-різному та представлений низкою близьких за змістом понять. Зустрічаються як безпосередньо термін «змішане навчання», так і його різновиди: комбіноване навчання; перевернутий клас; інтегроване навчання; гібридне навчання; гнучке навчання; мультиметодичне навчання; відкрите навчання; включене навчання.

У 2006 році вперше у світовій практиці узагальнено тлумачення змішаного навчання як поєднання очного навчання та навчання, організованого за допомогою комп'ютера [114], а у 2011 році визначено, що змішаним може вважатися навчання, у якому використовується від 30% до 80% інформаційно-комунікаційних технологій для підтримки традиційного навчання [15].

У сучасних дослідженнях підкреслюється, що змішане навчання не варто розглядати окремо від дистанційного, електронного чи мобільного навчання, оскільки всі ці форми становлять взаємопов'язані компоненти єдиної системи використання інформаційно-комунікаційних технологій в освіті. Водночас воно не є тотожним дистанційному навчанню, оскільки відрізняється специфікою

організації освітнього процесу та способом поєднання аудиторної і позааудиторної діяльності з ІКТ-підтримкою.

В Україні проблема впровадження змішаного навчання спочатку розглядалася переважно в контексті оптимізації освітнього процесу у закладах вищої освіти. Скорочення аудиторного навантаження та збільшення частки самостійної роботи студентів зумовили необхідність пошуку нових моделей організації навчання, у яких потенціал ІКТ використовувався б для підтримки самостійної діяльності та забезпечення більшої гнучкості освітнього процесу, зокрема для студентів першого курсу [517].

Перші українські публікації, присвячені змішаному навчанню, стосувалися переважно викладання англійської мови у закладах вищої освіти. У 2010-2012 рр. з'явилися дослідження, у яких було уточнено сутність поняття «змішане навчання», визначено його переваги та запропоновано моделі для організації навчання математичних і технічних дисциплін. Подальші наукові праці розвивали ці підходи, адаптуючи їх до специфіки різних предметів і розширюючи спектр використовуваних ІКТ-засобів.

Аналіз тлумачень, наведених у додатку В, показав, що науковці розглядають змішане навчання як інтеграцію різних форм організації навчання з метою підвищення його ефективності. На нашу думку, *змішане навчання* – це комплексний підхід до організації процесу навчання, який поєднує традиційні заняття з онлайн-інструментами та забезпечує автономність учня, можливість варіювати час, місце і темп навчальної діяльності відповідно до освітніх потреб. Змішане навчання необхідно відрізнити від технологічного навчання, оскільки технології є лише інструментами, що використовуються в межах змішаного навчання для досягнення навчальних цілей.

Змішане навчання, що активно впроваджується в ЗЗСО України з 2020 року, набуло особливої актуальності в умовах пандемії COVID-19, яка зумовила необхідність забезпечення безперервності освітнього процесу за допомогою поєднання очних і дистанційних форм навчання. У подальшому його значущість посилювалася в умовах воєнного стану, коли гнучкість організації навчання стала

однією з ключових передумов забезпечення доступності освіти. Завдяки своїй адаптивності змішане навчання розглядається як один із оптимальних форматів організації освітнього процесу. У практиці застосовуються різні моделі змішаного навчання (ротаційна, гнучка, самозмішування, «перевернутий клас», розширена віртуальна модель), однак окремі з них отримали суперечливі відгуки серед педагогів через певну фрагментарність реалізації окремих компонентів [352]. Водночас результати сучасних досліджень свідчать, що поєднання змішаного навчання із цифровими та імерсивними технологіями сприяє створенню більш динамічного й педагогічно цілісного освітнього середовища [42].

Перехід системи освіти України до реалізації концепції НУШ та запровадження змішаного навчання з квітня 2020 року сприяли формуванню концептуальних засад організації цього підходу спочатку в початковій школі, а згодом – у середній і старшій. Першими ґрунтовними роботами, що комплексно розкрили особливості змішаного навчання в початковій школі, стали дослідження О. Барановської [376] та Л. Шелестової [581], а вдосконалені відділом технологій відкритого навчального середовища ІЦО НАПН України [370; 389; 420] – для середньої та старшої шкіл. Переваги та недоліки організації змішаного навчання в ЗЗСО описано в додатку В.

Серед позитивних рис змішаного навчання виокремлюють [446]: індивідуалізацію та персоналізацію навчання; гнучкість і мобільність у здобутті знань; розвиток умінь самонавчання та самоуправління; активізацію навчальної діяльності учнів через створення персональних освітніх траєкторій. Важливою характеристикою змішаного навчання є інтеграція інноваційних технологій. Ще у 2019 році В. Мазюк [463] підкреслила, що застосування імерсивних технологій у поєднанні зі змішаним навчанням надає можливість:

- 1) розширювати освітні можливості та враховувати індивідуальні потреби учнів;
- 2) підвищувати рівень мотивації, самостійності, рефлексії та соціальної активності;
- 3) трансформувати роль учителя у бік наставництва;

4) персоналізувати процес навчання, спрямовуючи учнів на самостійне визначення цілей та способів їх досягнення.

Поєднання змішаного та імерсивного навчання відкриває перспективи для:

- подолання освітніх втрат у системі загальної середньої освіти [459];
- підтримки учнів з особливими освітніми потребами [567];
- підвищення навчальних досягнень, розвитку командної роботи, аналітичного та критичного мислення [140];
- формування конструктивного середовища навчання, де співпраця з учителем та однолітками задовольняє когнітивні, соціальні й емоційні потреби учнів [42].

Водночас низка проблем залишається актуальною. Серед них:

1) зниження ефективності через різний рівень технологічної забезпеченості учнів і педагогів та потребу постійного підтримання мотивації;

2) обмежені можливості безпосередньої комунікації між учителем та учнями, оперативного зворотного зв'язку й оцінювання рівня залученості учнів до навчальної діяльності під час дистанційної взаємодії, що ускладнює обговорення навчального матеріалу та своєчасний педагогічний супровід;

3) орієнтація на відтворення знань, що ускладнює розвиток творчості та здатності до самоуправління навчанням.

Зазначені труднощі можуть бути значною мірою подолані завдяки використанню імерсивних технологій, які сприяють підвищенню залученості учнів, розширенню можливостей педагогічної взаємодії та створенню більш цілісного середовища навчання.

Для систематизації результатів проведеного аналізу та виявлення спільних і відмінних рис змішаного й імерсивного навчання здійснено їх авторське порівняння, узагальнене в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Порівняльна таблиця змішаного та імерсивного навчання

Категорія порівняння	Змішане навчання	Імерсивне навчання
Основна концепція	Поєднання різних форматів навчання для організації єдиного освітнього процесу.	Організація навчання через занурення учня в інтерактивне модельоване середовище.
Формат навчання	Комбінація очного, дистанційного та самостійного навчання, співвідношення яких визначається обраною моделлю змішування.	Використання імерсивних технологій у різних формах організації навчання із забезпеченням ефекту занурення в навчальне середовище.
Мета навчання	Оптимізація процесу навчання шляхом розподілу активності між аудиторною та самостійною роботами.	Формування досвіду, навичок і знань через практико-орієнтоване занурення в навчальну ситуацію.
Технологічний складник	Цифрові освітні платформи, системи управління навчанням, засоби синхронної та асинхронної взаємодії, електронні освітні ресурси.	Віртуальна та доповнена реальність, цифрові симулятори, інтерактивні моделі, цифрові лабораторії та інші імерсивні засоби.
Технологічні вимоги	Стабільний інтернет, комп'ютерні або мобільні пристрої для доступу до матеріалів.	Спеціалізоване обладнання VR/AR, відповідні застосунки, сумісні з мобільними пристроями або комп'ютерами.
Інтерактивність	Реалізується через поєднання очної взаємодії та цифрових інструментів і залежить від моделі змішаного навчання.	Характеризується високим рівнем інтерактивності завдяки безпосередній взаємодії учня з модельованим середовищем та його об'єктами.
Рівень	Поєднання керованої вчителем	Залежно від сценарію навчання

Категорія порівняння	Змішане навчання	Імерсивне навчання
автономності учнів	та самостійної навчальної діяльності.	передбачає активну участь учня у прийнятті рішень, дослідженні та виконанні навчальних дій.
Роль вчителя	Організатор, консультант і модератор процесу навчання, який координує взаємодію в різних форматах навчання.	Проектує імерсивний досвід, координатор навчальної діяльності, наставник та організатор рефлексії.
Фокус оцінювання	Оцінювання результатів навчання та сформованості компетентностей із використанням різних форм контролю.	Оцінювання сформованості компетентностей, здатності застосовувати знання, приймати рішення та виконувати практичні дії в модельованих ситуаціях.
Спосіб використання технологій	Цифрові технології забезпечують організацію та підтримку освітнього процесу.	Імерсивні технології виступають безпосереднім середовищем пізнавальної діяльності та взаємодії.
Потенціал інтеграції	Забезпечує організаційну основу поєднання очної та дистанційної діяльності.	Посилює навчальний процес шляхом занурення, інтерактивності та моделювання практичного досвіду.

Отже, порівняльний аналіз змішаного та імерсивного навчання надає можливість стверджувати, що організація процесу навчання за змішаною формою в ЗЗСО сприяє підтримці освітнього процесу в умовах кризових ситуацій. Імерсивне навчання, своєю чергою, створює можливості для подолання навчальних втрат, що виникли в системі освіти України через перерви в навчанні, недостатнє усвідомлення необхідності змішаного формату замість дистанційного, психологічні труднощі, викликані повномасштабним вторгненням, нерівний доступ до навчання та цифровий розрив [443].

Дослідники [42] довели, що самостійне, без методичного обґрунтування, застосування імерсивних технологій не забезпечує підвищення ефективності навчання. Водночас їхнє впровадження в межах методологічно обґрунтованого змішаного підходу сприяє створенню більш гнучкого та залученого освітнього середовища, підвищує мотивацію учнів та підтримує індивідуалізацію освітньої траєкторії [304].

Імерсивні технології є перспективним засобом реалізації змішаного навчання, оскільки забезпечують інтеграцію дистанційних, електронних і мобільних форм освітньої діяльності. Їх використання створює умови для навчання на основі досвіду, активної взаємодії учнів із навчальним матеріалом та формування інтерактивного освітнього середовища. Використання VR та AR сприяє моделюванню навчальних ситуацій та симуляцій, де учні можуть досліджувати реальні явища та взаємодіяти з ними, не залишаючи класу [366], а також дає змогу створювати інтерактивні навчальні матеріали, наприклад 3D-зображення та відео, що сприяють підвищенню мотивації до навчання [105].

Імерсивні технології, застосовані у вивченні природничо-математичних предметів, підвищують ефективність навчання та розвиток практичних умінь [169]. Формування імерсивного середовища навчання для таких предметів надає *учням* можливість:

- покращувати просторову уяву та зорову пам'ять [336];
- посилювати нейронні зв'язки [183];
- персоналізувати процес отримання знань, адаптувати отримані нові знання до системи наявних знань з предмета [314];
- глибше розуміти складні теми або абстрактні поняття, представлені через двовимірні формати [83].

Для *вчителів* така модель навчання надасть можливість [12]:

- створювати динамічні та інтерактивні уроки, адаптовані до потреб кожного учня;
- організовувати спільну роботу учнів та обмін досвідом;
- розробляти навчальні сценарії у форматі гри;

– оцінювати учнів за допомогою інтерактивних тестів, адаптованих до рівня підготовки;

– отримувати зворотний зв'язок щодо рівня розуміння теми.

Імерсивне середовище навчання в моделі змішаного навчання трансформує зміст концепції змішаного навчання, забезпечуючи ефективніше управління процесом та підтримуючи персоналізацію навчання. Системи, керовані ШІ, аналізують дані про учнів, зокрема рівень залученості, результати тестів та навчальні вподобання, що дає змогу формувати персоналізовані траєкторії навчання [224]. Такі технології сприяють формуванню досвіду навчання та зменшують розрив між теоретичними знаннями та практичним застосуванням.

Крім того, імерсивне навчання дає змогу застосовувати мікронавчання, що передає зміст у коротких, концентрованих обсягах із високим рівнем візуалізації. Це підвищує академічне залучення учнів, підтримує їхню автономію та надає можливість контролювати індивідуальну траєкторію навчання [224].

Спираючись на проведений порівняльний аналіз С. Литвиної [445] щодо організації навчання за моделлю змішаного навчання з використанням імерсивних технологій, можна стверджувати, що такі технології дозволяють створити *імерсивне змішане середовище навчання*, яке надає учням можливості:

1) краще засвоювати складні концепції через інтерактивну взаємодію з навчальним матеріалом;

2) підвищувати ефективність запам'ятовування шляхом формування власних асоціацій та зв'язків;

3) розвивати критичне мислення та творчі навички, розв'язуючи проблеми та приймаючи рішення у змодельованих реалістичних умовах;

4) підвищувати мотивацію та зацікавленість у навчанні, контролюючи власну освітню траєкторію та відчуваючи прогрес.

Принципи організації імерсивного змішаного навчання включають [42]:

– *автономію учня* – відповідальність за здобуті знання та мотивацію до навчання;

– *інтеграцію знань* – застосування отриманих знань у практичних ситуаціях

та поєднання їх із системою власних цінностей;

– *саморефлексію та адаптивність* – розвиток здатності до рефлексії, що підвищує когнітивні здібності та гнучкість учня;

– *нелінійне навчання* – включення співпраці та спілкування з іншими учасниками процесу, що робить навчання гнучким та динамічним;

– *багатовимірне оцінювання* – оцінювання процесу навчання, практичних навичок та поведінкових аспектів.

Змішане та імерсивне навчання мають численні спільні риси, і інтеграція їхніх ефективних компонентів створює змішане імерсивне навчання, у якому імерсивне середовище сприяє підвищенню інтерактивності, мотивації та візуалізації навчальних матеріалів (рис. 2.11). Це дає можливість подолати один із головних недоліків змішаного навчання – обмежену наочність та інтерактивність матеріалів, підвищуючи залученість учнів у процес навчання.

Під *імерсивним змішаним навчанням* науковці [370; 389; 420; 443] розуміють інтеграцію імерсивних технологій у структуру моделі змішаного навчання. У такій моделі учні залучаються до процесу навчання як у закладі освіти, так і поза ним, використовуючи імерсивні середовища для взаємодії з цифровими об'єктами, симуляціями та 3D-моделями. Це забезпечує ефект занурення у навчання, підвищує рівень розуміння навчального матеріалу й стимулює внутрішню мотивацію до пізнавальної діяльності.

Організація процесу навчання в такій моделі є ефективним інструментом подолання навчальних втрат і підтримки неперервності освіти, особливо в кризових умовах. Поєднання змішаної форми навчання з імерсивними технологіями створює інтерактивну й доступну систему, здатну забезпечити сталість освітнього процесу. Ключовою перевагою є розвиток когнітивної гнучкості учнів – здатності адаптувати мислення, змінювати навчальні стратегії та ефективно реагувати на нові завдання. Це сприяє формуванню готовності учнів до змін, самостійності у виборі способів навчання й критичному осмисленню отриманих знань.

Змішане навчання	Імерсивне змішане навчання	Імерсивне навчання
– доповнення традиційного навчання елементами онлайн-навчання; – гнучкість у виборі часу, темпу та місця навчання; – інтерактивність, що залежить від моделі та обсягу онлайн-навчання; – розвиток автономності через індивідуальні траєкторії навчання; – розширення доступу до навчальних ресурсів.	1. Інтеграція очної, дистанційної та імерсивної діяльності учнів. 2. Гнучкість і адаптивність – можливість персоналізувати процес навчання відповідно до рівня, стилю та темпу учня. 3. Автономія та активність учня – створення умови для самостійної організації навчання, прийняття рішень і відповідальність за результат. 4. Практична спрямованість – залучення учнів до дослідження й застосування знань у змодельованих, але реалістичних умовах. 5. Персоналізація навчання – орієнтація на індивідуальні потреби, інтереси та цілі учня. 6. Рефлексивність та зворотній зв'язок – постійне оцінювання прогресу, розвиток критичного мислення й саморефлексії.	– повне занурення в цифрове середовище навчання, що імітує реальні процеси; – високий рівень інтерактивності та емоційної залученості; – індивідуалізація процесу навчання й гнучке налаштування середовища; – навчання через діяльність; – формування практичного досвіду та професійних компетентностей; – розвиток командної роботи, комунікації, творчості; – зменшення психологічного стресу завдяки внутрішній мотивації.

Рис. 2.11. Авторське узагальнення характеристик імерсивного змішаного навчання

Отже, імерсивне середовище при імерсивному змішаному навчанні можна визначити як багатокomпонентну систему, у межах якої учні мають можливість самостійно обирати формат навчання відповідно до власних освітніх потреб і цілей [475]. У контексті академічного ліцею така модель є особливо доцільною, оскільки поєднує принципи вибірковості, індивідуалізації та саморегуляції навчання, надаючи змогу кожному учневі формувати персональну освітню траєкторію.

2.4. Етичні та безпекові аспекти використання імерсивних технологій у навчальному процесі

Використання імерсивних технологій у процесі навчання учнів академічних

ліцеїв має здійснюватися з дотриманням етичних та моральних норм, що забезпечують відповідальність перед суспільством і учнями. Педагогічна етика виступає фундаментом професійної діяльності вчителя, оскільки визначає норми поведінки, принципи взаємодії та забезпечує якість освітнього процесу. Вона передбачає усвідомлення відповідальності, прав та обов'язків педагога, а також розуміння можливих наслідків власних рішень щодо впровадження імерсивних технологій у навчання. Учитель має не лише визначати доцільність їх застосування, а й прогнозувати результати, оцінювати потенційні ризики й гарантувати безпечні умови використання імерсивних технологій у навчальному середовищі.

Ключовими принципами педагогічної етики є справедливість, повага, емпатія та турбота про кожного учня. Принцип справедливості передбачає створення рівних умов для навчання всіх учнів незалежно від їхніх індивідуальних особливостей і рівня навчальних досягнень. Повага до різноманітності означає формування такого освітнього середовища, у якому кожен учень відчуває свою цінність. Ці принципи набувають особливої актуальності в умовах цифровізації, інклюзивної освіти та поширення змішаного навчання, коли педагог стикається з новими викликами та має приймати зважені рішення в етично складних ситуаціях [112].

Наукова література поки що містить обмежену кількість досліджень, присвячених етичному використанню імерсивних технологій у ЗЗСО. Це пояснюється високим рівнем стандартизації шкільної освіти та складністю широкого впровадження інновацій, що ускладнює ідентифікацію й експериментальну перевірку етичних ризиків їх застосування [318]. Неможливість масової практичної реалізації імерсивного середовища навчання не дає змоги експериментально визначити й етичні ризики його застосування. Водночас аналіз сучасних підходів дозволяє окреслити такі ризики та розробити механізми їх попередження.

Імерсивні технології у поєднанні з педагогічною етикою відкривають нові можливості: учні можуть безпечно проводити експерименти, здобувати досвід без

загрози для здоров'я, працювати з мікроскопічними об'єктами, здійснювати віртуальні біологічні та хімічні дослідження, що раніше були недоступними або пов'язаними із ризиком для життя та здоров'я. У такий спосіб імерсивні технології сприяють формуванню безпечного та інноваційного освітнього середовища.

Разом з тим, у процесі впровадження VR/AR в освітню практику важливо враховувати специфіку академічних ліцеїв, де очікується високий рівень самостійності учнів, а роль учителя полягає у підтримці, супроводі та забезпеченні етичних норм використання цифрових технологій. Особливу увагу слід приділяти учням із порушеннями розвитку: застосування імерсивних технологій у таких випадках потребує зовнішнього контролю з боку асистента вчителя або батьків.

Виділимо декілька груп етичних аспектів використання імерсивних технологій в освіті [252; 318]:

1) *соціально-економічні*: висока вартість обладнання обмежує доступність імерсивних технологій і може посилювати цифрову та соціальну нерівність. Освіта має залишатися рівною для всіх здобувачів, незалежно від матеріальних можливостей їхніх родин;

2) *психологічні*: надмірне занурення у віртуальні середовища може спричинити ізоляцію, труднощі у встановленні реальних соціальних контактів, розвиток залежностей, перевтому та зниження працездатності. Потрібен баланс між реальним і віртуальним середовищами;

3) *соціальні взаємостосунки*: використання імерсивних технологій може впливати на формування соціальних навичок, зокрема невербальної комунікації, емпатії та самооцінки учнів. Важливим завданням є розробка етичних стандартів створення освітніх імерсивних середовищ, які сприятимуть розвитку комунікативних здібностей, а не їх звуженню;

4) *науково-методична підтримка*: недостатня розробленість методики використання імерсивного середовища у процесі навчання учнів академічних ліцеїв створює ризик педагогічних помилок. Необхідно визначати критерії добору

технологій відповідно до віку й предметів, розробляти правила їх безпечного застосування.

Етичний підхід також вимагає дотримання норм захисту персональних даних і цифрової безпеки, адже імерсивні технології здатні збирати біометричні й поведінкові дані користувачів. У цьому контексті важливими стають міжнародні рекомендації, зокрема Глобальна ініціатива з етики розширеної реальності (IEEE Global Initiative on Ethics of Extended Reality (XR)) [141] та Настанови Європейської Комісії з етики у сфері штучного інтелекту (European Commission Guidelines on Ethics in Artificial Intelligence) [95], що визначають стандарти етичного застосування імерсивних технологій та ШІ в освіті. Внаслідок цих документів доцільно додати ще один аспект – *кібербезпеку та захист даних*.

Таким чином, етика використання імерсивних технологій в освітньому процесі передбачає забезпечення балансу між інноваційними можливостями і захистом інтересів та прав учнів. Вона ґрунтується на принципах рівності, доступності, безпеки й відповідальності, а також вимагає від учителя формування культури критичного й усвідомленого використання VR/AR у навчанні.

Попри численні позитивні приклади застосування імерсивних технологій у процесі навчання, підтверджені експериментальними дослідженнями, важливо також оцінювати потенційні ризики їх використання в ЗЗСО. Наукові дослідження виділяють кілька груп потенційно несприятливих наслідків застосування імерсивних технологій у навчанні.

1. *Вплив на сприйняття реальності та формування особистості*. Процес імерсивного відбувається з контингентом учнів, які перебувають у стадії формування особистості, не завжди здатні чітко відрізнити уявне від дійсного та аналізувати власні дії критично. Імерсивні технології, будучи високопереконливими, можуть спотворювати сприйняття реальності. Зокрема, феномен «суперреалізму» проявляється тоді, коли елементи або досвід у віртуальній чи доповненій реальностях стають невідрізними від реального світу. На сучасному етапі технології не досягли рівня, що дозволяє повністю абстрагуватися від реальності, і цей технологічний «розрив пристроїв» забезпечує

чітке розмежування між реальністю та змішаною реальністю. Проте майбутній розвиток технологій потребує системного аналізу та визначення етичних норм їх застосування [210; 308].

2. Вплив просторових здібностей та фізіологічних особливостей учнів. Реалістичне відтворення навчального матеріалу у віртуальному середовищі може підвищувати ефективність навчання, що підтверджено експериментально низкою робіт [21; 363; 367]. Однак така деталізація та високий рівень реалізму можуть забезпечувати найбільший навчальний ефект для учнів із високим рівнем розвитку просторових здібностей [34]. Учням із нижчим рівнем розвитку таких здібностей може бути складніше інтерпретувати навчальний матеріал, особливо під час вивчення абстрактних понять за допомогою реалістичних тривимірних візуалізацій.

Окремим чинником, що впливає на можливості використання імерсивних технологій, є схильність деяких учнів до кіберхвороби. Такі фізіологічні особливості можуть обмежувати тривалість або можливість роботи учнів у віртуальному середовищі [116]. З етичної точки зору це актуалізує питання забезпечення рівного доступу до навчання, оскільки окремі категорії учнів можуть бути обмежені у використанні тих самих засобів навчання, що й решта учасників освітнього процесу. У зв'язку з цим під час проєктування імерсивного доцільно передбачати альтернативні способи опрацювання навчального матеріалу та досягнення навчальних результатів [306].

Для забезпечення доступності навчання вчителю доцільно враховувати індивідуальні особливості учнів, зокрема рівень розвитку просторових здібностей та можливі фізіологічні обмеження. Відповідно до цього можуть використовуватися різні варіанти подання навчального матеріалу: додаткові пояснення, спрощені візуалізації, альтернативні цифрові ресурси або неімерсивні форми роботи.

Важливим завданням педагога є моніторинг того, як індивідуальні особливості учнів, зокрема рівень розвитку просторових здібностей та наявність фізіологічних обмежень, впливають на результати навчання. Це дає змогу

своєчасно адаптувати навчальні ресурси та методи навчання відповідно до освітніх потреб учнів.

3. Когнітивні ризики та перевантаження в імерсивному середовищі. Результати досліджень свідчать, що використання кількох джерел навчальних матеріалів під час навчання позитивно впливає на його ефективність. Водночас коли поєднання цих джерел є неоптимальним, виникає перевантаження вербальних та невербальних каналів сприйняття або одного з них, що призводить до когнітивного перевантаження учнів, а також до перевантаження короткочасної пам'яті [329; 590].

У таких випадках результативність навчання не зростає, а використання імерсивних технологій із високим ступенем занурення може бути менш ефективним порівняно з комп'ютерно орієнтованим навчанням. «...імерсивна реальність може створювати настільки значне стороннє когнітивне навантаження, що в учня не залишається достатньо ресурсів для засвоєння основного навчального матеріалу...» [249].

Виділяють два види когнітивного навантаження – внутрішнє та зовнішнє [407]. У навчальному контексті внутрішнє когнітивне навантаження визначається складністю змісту навчального матеріалу та пов'язане з кількістю нових знань, які потрібно опрацювати учневі. Чим більше навчальних відомостей треба опрацювати, тим більшого когнітивного навантаження зазнає учень. Внутрішнє когнітивне навантаження неможливо оцінити тільки шляхом аналізу матеріалу – воно залежить від специфічного рівня знань учня. Наприклад, велика кількість взаємопов'язаних елементів для одного учня може усвідомлюватися як один елемент іншим, більш підготовленим учнем. Зовнішнє когнітивне навантаження пов'язане з організацією середовища навчання, формою подання матеріалу та темпом взаємодії учня з навчальними матеріалами. Його можна регулювати шляхом належного структурування та оформлення процесу навчання [257].

Для запобігання когнітивному перевантаженню учнів необхідно, щоб імерсивне середовище навчання було чітко структурованим, а методологія

використання імерсивних технологій – прозорою та зрозумілою. Теми повинні бути виокремлені та класифіковані за ступенем складності й послідовністю їх опанування [203].

Одним із ефективних шляхів реалізації імерсивного середовища навчання, що містить значну частку візуалізованого матеріалу, є впровадження системи сигналів для структурування тем та навігації. Такі сигнали можуть бути текстовими, графічними або слуховими і слугують для привернення уваги учнів до ключових моментів у процесі вивчення [13]. Використання системи сигналів сприяє зменшенню зовнішнього когнітивного навантаження та полегшує орієнтацію учнів у навчальному матеріалі, розміщеному в імерсивному середовищі.

4. *Емоційне та сенсорне навантаження в імерсивному навчанні.* Яскравість емоційних переживань, що супроводжує використання імерсивних технологій, може мати подвійний ефект: з одного боку, вона підвищує залученість учнів, а з іншого – створює ризики маніпулювання їх поведінкою. Підвищене емоційне збудження здатне спотворювати критичне мислення, а іноді призводити до підміни понять: учні, працюючи у віртуальній реальності, інколи сприймають події, які відбувалися у симуляціях, як реальні [292; 320].

Ще одним важливим аспектом є сенсорне перевантаження, що виникає через надходження великого обсягу відомостей одночасно через зорові, слухові та інші канали сприйняття. Підвищене навантаження стимулює активність мозку, що може призводити до зниження концентрації уваги, погіршення запам'ятовування та критичного мислення; учні відчувають втому, апатію, дратівливість та тривожність. Дослідження припускають, що сенсорне перевантаження може спричиняти переналаштування центрів страху в мозку подібним чином до того, що спостерігається при посттравматичному стресовому розладі [162].

Крім сенсорного, в імерсивному середовищі може виникати інформаційне перевантаження, пов'язане з необхідністю опрацювання великого обсягу візуальних відомостей та недостатнім досвідом роботи з візуалізаціями й симуляціями. Таке перевантаження може негативно впливати на процес

прийняття рішень, прогнозування результатів діяльності та ефективність навчальної роботи учнів [96; 257].

Окремо слід зазначити вплив організаційних факторів: експериментальні дослідження показують, що значні витрати часу на налаштування та управління процесом у віртуальному середовищі здатні суттєво знижувати мотивацію до навчання [136].

5. *Соціальні ризики та вплив імерсивного навчання на автономність учнів.* Використання імерсивних технологій у процесі навчання призводить до розмиття меж між реальним та віртуальним світами та може сприяти поширенню дезінформації, маніпулюванню поведінкою, заохочувати неетичні зобов'язання [368].

Такі маніпуляції можуть призводити до втрати учнями автономності [306]: 1) імерсивні технології працюють за певним алгоритмом і цим можуть обмежити самостійність учня чи його творчу реалізацію; 2) некоректне використання технологій може перетворювати учня на пасивного спостерігача, а не на активного учасника процесу навчання; 3) учні ризикують стати залежними від технологій і не намагатися самостійно візуалізувати навчальний матеріал; 4) імерсивні технології можуть нав'язувати учням своє бачення розв'язання проблеми, чим обмежують їхнє критичне мислення.

Унаслідок стирання меж між реальним і віртуальним світами можуть виникати проблеми соціальної ізоляції [162], особливо у підлітків. Соціальна ізоляція може призвести до почуття самотності та розчарування, що може негативно вплинути на рівень мотивації учня [13].

Водночас дослідження показують, що імерсивне навчання може мати позитивний соціальний ефект у специфічних умовах. Наприклад, для дітей на довготривалому лікуванні, які організовують навчання разом із однолітками у віртуальному середовищі, воно сприяє соціальній інтеграції, розвитку соціальних зв'язків та комунікації [331]. Крім того, виконання спільних проєктів у імерсивному середовищі сприяє розвитку соціальної співпраці та командної роботи [77].

Хоча імерсивні технології відкривають нові можливості для соціальної взаємодії та навчання, їхній прогрес може водночас підвищувати ризики соціальної ізоляції підлітків, особливо якщо синтетичне середовище здається цікавішим за реальний навчальний процес. Це підкреслює важливість балансування віртуальних та реальних активностей, контролю вчителя та організації навчання, спрямованого на розвиток автономності та критичного мислення учнів.

6. *Ризики використання генеративного штучного інтелекту в імерсивному навчанні.* Сучасні генеративні застосунки штучного інтелекту дозволяють створювати тривимірні моделі та цілі віртуальні світи, що значно скорочує час і ресурси на підготовку навчальних матеріалів. Водночас об'єднання ШІ та імерсивних технологій створює потенційні ризики [51; 306]:

- створення шкідливих матеріалів: віртуальні світи можуть генеруватися без достатнього людського контролю, що підвищує ймовірність появи матеріалів, здатних викликати тривогу, страх або психологічні травми у дітей. Це підкреслює необхідність розробки спеціальних методів, стандартів і протоколів, які забезпечують безпеку користувачів в імерсивному середовищі;

- соціальна ізоляція: постійна взаємодія з ШІ може призводити до посилення соціальної ізоляції підлітків, оскільки ШІ виступає найнадійнішим другом, помічником і радником. Дослідження показують, що надмірне спілкування з інтелектуальними помічниками може зменшувати мотивацію дітей до взаємодії з людьми та негативно впливати на розвиток комунікативних навичок;

- формування неправильних моделей поведінки: спостерігається тенденція до зверхнього або нетактовного ставлення дітей до інтелектуальних помічників, що може закріплювати небажані поведінкові моделі у реальному житті, особливо у ситуаціях отримання послуг або допомоги від інших людей.

Одним із важливих напрямів формування безпечного імерсивного середовища навчання є розвиток імерсивної грамотності та компетентності вчителів і учнів як складників їхньої цифрової компетентності. Ці поняття є

взаємопов'язаними та відображають етапи професійно-особистісного розвитку: якщо цифрова та імерсивна грамотність визначають базовий (інструментальний) рівень володіння технологіями, то імерсивна компетентність забезпечує їхнє ефективне, безпечне та продуктивне застосування безпосередньо в навчальній діяльності [50].

Імерсивна грамотність визначається як здатність користувача усвідомлювати специфіку імерсивних матеріалів, розпізнавати їхні потенційні обмеження, розуміти загальний вплив на організм, орієнтуватися в імерсивних середовищах та зважати на первинні ризики взаємодії з ними [321]. Це базовий рівень підготовки, необхідний для розуміння принципів роботи імерсивних систем, їхніх дидактичних можливостей та технічних обмежень. До основних компонентів імерсивної грамотності належать:

1) розуміння основних понятійних відмінностей між віртуальною, доповненою та змішаною реальністю;

2) початкові знання про імерсивні застосунки, платформи та апаратні пристрої;

3) уміння орієнтуватися в побудованому імерсивному середовищі та враховувати потенційні ризики його використання на рівні індивідуального користувача.

Імерсивна компетентність охоплює ширший спектр системних знань та практичних навичок і передбачає здатність не тільки використовувати готові рішення, а й створювати, адаптувати та інтегрувати імерсивні технології у процес навчання для ефективного розв'язання педагогічних завдань [321]. Компоненти імерсивної компетентності можна структурувати так:

1) створення інтерактивних навчальних матеріалів, що передбачає розробку авторських мультимедійних ресурсів (відео 360°, 3D-моделей, симуляцій) та їх адаптацію до навчальних цілей;

2) інтеграція у навчальний процес – педагогічно доцільне використання VR/AR для досягнення освітніх цілей з урахуванням вікових, психологічних та пізнавальних потреб учнів; обґрунтований підбір технологій залежно від теми та

специфіки предмета;

3) збір та аналіз даних навчання – моніторинг результатів навчальної діяльності в імерсивному середовищі, оцінка ефективності технологій та внесення коректив у методичну систему на основі отриманих даних;

4) здатність аналізувати та адаптувати цифрові матеріали для імерсивного навчання – добір якісних навчальних матеріалів, що відповідають вимогам державних стандартів освіти, етичним та віковим нормам;

5) уміння забезпечити безпечне використання імерсивних технологій – системне розуміння технічних, санітарно-гігієнічних та психологічних аспектів роботи, а також здатність організовувати, дозувати та контролювати навчальну взаємодію, забезпечуючи комфорт та безпеку учнів;

6) уміння ефективно спілкуватися в імерсивному середовищі – організація взаємодії та спільної роботи з метою формування вмінь працювати в команді у процесі навчання та навичок презентації результатів своєї діяльності.

Варто зауважити, що важливим складником імерсивної компетентності є також сформоване вміння не потрапити в хибний стан власного професіоналізму, оскільки робота з імерсивними технологіями може створити ілюзію легкості та безпомилковості власної діяльності. Це може стосуватися як учнів, так і вчителів, які працюють в імерсивному середовищі навчання. На думку дослідників [153], формування процедурних навичок в імерсивному середовищі може лише підвищити кваліфікацію учнів саме в цьому середовищі, проте перенесення цих навичок у реальний світ не є автоматичним і потребує додаткових зусиль.

Важливим фактором використання імерсивних технологій у процесі навчання є також збереження конфіденційності кожного учня. В такому разі мова йде як про *інформаційну конфіденційність* – право на захист від небажаного втручання у персональні дані учасника процесу навчання, так і про *конфіденційність прийняття рішень* – свідомий та обґрунтований вибір технологій для організації процесу навчання [132].

Водночас забезпечення конфіденційності не обмежується лише технічними або організаційними заходами. Важливим складником підготовки учнів до роботи

в імерсивному середовищі є формування навичок безпечної цифрової поведінки. Учні повинні усвідомлювати ризики розголошення персональних відомостей, дотримуватися правил безпечної комунікації в середовищі, критично оцінювати взаємодію з іншими його учасниками та використовувати налаштування конфіденційності для захисту власних даних. Формування таких умінь є невіддільним складником цифрової грамотності та відповідального використання імерсивних технологій.

Використання імерсивних технологій у процесі навчання учнів академічних ліцеїв повинно здійснюватися відповідно до чинного законодавства та нормативних актів, що забезпечують захист учасників освітнього процесу від потенційно негативних наслідків їх застосування. Необхідною є розробка стандартів використання імерсивних технологій у навчанні, які сприятимуть збереженню автономії та конфіденційності учнів.

У педагогічній практиці доцільно поєднувати різні види імерсивних технологій та надавати учням можливість самостійно обирати найбільш зручні для них засоби навчання. Важливо, щоб застосування технологій було дозованим та відповідало навчальним цілям і доцільності їх використання. Імерсивні технології не повинні замінювати традиційні форми навчання, а мають їх доповнювати, щоб уникнути когнітивного перевантаження учасників освітнього процесу.

Застосунки доповненої реальності є доступнішими та менш шкідливими для психологічного здоров'я учнів, тому їх використання доцільніше порівняно з технологіями віртуальної реальності. Вчителів необхідно вміти збалансовувати процес навчання, інтегруючи технології таким чином, щоб вони доповнювали навчання, а не ставали його єдиним акцентом [368].

Для забезпечення збалансованого процесу навчання в імерсивному середовищі слід виокремити низку вимог та дотримуватися їх:

– *технічні вимоги*: у ЗЗСО слід використовувати сучасне сертифіковане обладнання, яке відповідає встановленим стандартам безпеки, мінімізує апаратні чинники кіберхвороби та підтримує інструменти візуальної стабілізації [116].

Програмне забезпечення повинно проходити регулярну діагностику та своєчасне оновлення. Необхідною є наявність стабільного та якісного інтернет-з'єднання, а також дотримання правил протипожежної безпеки;

– *педагогічні вимоги*: вчителі повинні володіти високим рівнем імерсивної компетентності, враховувати індивідуальні особливості учнів та контролювати тривалість роботи в імерсивному середовищі для запобігання когнітивному та психологічному перевантаженню;

– *психологічні вимоги*: під час використання імерсивних технологій обов'язковим є систематичний моніторинг емоційного стану учнів з метою запобігання можливим негативним наслідкам. Вчитель має надавати психолого-педагогічну підтримку, сприяти адаптації учнів до навчання в імерсивному середовищі та забезпечувати безпечну взаємодію з технологіями. Залучення батьків до цього процесу та їхня активна підтримка є важливим фактором успішної адаптації учнів, формування сприятливого середовища та підвищення мотивації до навчання;

– *дидактичні вимоги*: імерсивні технології слід застосовувати як інструмент досягнення конкретних результатів навчання. Процес взаємодії з ними має стимулювати розвиток критичного мислення учнів та забезпечувати практико-орієнтований характер пізнавальної діяльності, де освоєння самого інструментарію (наскрізне формування імерсивної грамотності та компетентності) відбувається безпосередньо у процесі засвоєння предметних знань;

– *етичні та юридичні вимоги*: ключовим аспектом є забезпечення конфіденційності кожного учасника освітнього процесу, що охоплює захист персональних даних та забезпечення правомірного використання технологій. Усі учні повинні бути рівноправно залучені до навчання незалежно від технічних можливостей їхніх особистих пристроїв, що гарантує дотримання принципів інклюзивності та справедливості в освітньому процесі.

За висновками дослідників [260], для ефективної інтеграції імерсивних технологій в освітню практику необхідно системно впроваджувати їх у процес підготовки та підвищення кваліфікації педагогічних кадрів, а також

стандартизувати правила їх використання. Інтеграція таких технологій у систему професійних кваліфікацій дасть змогу готувати педагогів, здатних ефективно проєктувати безпечне імерсивне середовище навчання. Це забезпечить унікальну можливість узгодити традиційну освітню практику з вимогами цифрової епохи, гарантуючи, що учні не лише здобувають фундаментальні знання, а й набувають практичних навичок життєдіяльності в сучасному високотехнологічному суспільстві.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було сформульовано основну та часткові гіпотези. Провідні ідеї дослідження розкриваються як теоретичний, методичний та технологічний концепти. Вони знайшли своє відображення в доборі методів дослідження, логіці та змісті проведення педагогічного експерименту.

На основі аналізу наукових джерел обґрунтовано інноваційно-трансформаційну концептуальну рамку організації імерсивного навчання. Встановлено, що її основу становить інтеграція системного, діяльнісного, особистісно орієнтованого, когнітивного, диференційованого та міждисциплінарного підходів, що забезпечує цілісне проєктування процесу навчання в імерсивному середовищі, узгодження цілей, змісту, методів і результатів навчання, а також створює теоретичні передумови для розвитку критичного мислення та індивідуалізації освітніх траєкторій учнів.

Визначено систему психолого-педагогічних умов організації ефективного використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. У структурі системи виокремлено три взаємопов'язані групи умов: організаційно-методичні, технологічно-когнітивні та особистісно-мотиваційні. Теоретично обґрунтовано, що комплексна реалізація зазначених умов може забезпечити технологічну підтримку навчальної діяльності, активізацію пізнавальних процесів, підтримку внутрішньої мотивації, психологічного комфорту та суб'єкт-суб'єктної взаємодії в імерсивному середовищі навчання.

Досліджено психологічні особливості взаємодії учнів з імерсивним

середовищем через тріаду взаємопов'язаних станів: занурення, присутність і стан потоку. На основі аналізу наукових підходів обґрунтовано їхній зв'язок із когнітивною, поведінковою та емоційною складниками академічного залучення учнів у контексті теорії самовизначення.

Уточнено зміст понять «технологічна інтеграція» та «інтеграція імерсивних технологій», яку обґрунтовано як інноваційний рівень педагогічно обґрунтованого включення засобів VR, AR і MR в процес навчання для забезпечення інтерактивної взаємодії, ефекту присутності та моделювання навчального змісту.

Здійснено аналіз сучасних моделей імерсивних середовищ навчання, визначено їхні переваги та обмеження щодо використання в освітньому процесі академічних ліцеїв. Встановлено, що наявні моделі відображають окремі аспекти організації навчання в імерсивному середовищі, проте не забезпечують цілісного представлення його структури та функціонування. На цій основі визначено вимоги до побудови імерсивного середовища навчання, згруповані за педагогічним, технологічним, психологічним і розвивальним аспектами.

У результаті узагальнення теоретичних підходів, принципів інтеграції імерсивних технологій, психолого-педагогічних умов та результатів аналізу наявних моделей теоретично обґрунтовано і розроблено структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів, яка на основі системного підходу забезпечує цілісне теоретичне представлення його структури та функціонування. Модель охоплює цільовий, змістово-методичний, комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти, що відображають взаємозв'язок і узгодженість цілей, змісту, способів взаємодії та результатів навчання в імерсивному середовищі. У моделі визначено чинники, мету й орієнтири функціонування середовища, систему загальнодидактичних і спеціальних принципів його проєктування, механізми організації взаємодії учасників освітнього процесу та систему оцінювання результативності навчальної діяльності учнів за мотиваційним, діяльнісним і рефлексивним критеріями.

Обґрунтовано доцільність інтеграції імерсивних технологій у змішане навчання та визначено особливості імерсивного змішаного навчання як форми організації освітнього процесу, що поєднує переваги змішаного навчання з можливостями імерсивного середовища щодо підвищення інтерактивності, персоналізації, мотивації та практико-орієнтованого засвоєння знань. Встановлено, що використання імерсивних технологій у структурі змішаного навчання сприяє подоланню навчальних втрат, забезпеченню неперервності освіти та формуванню індивідуальних освітніх траєкторій учнів академічних ліцеїв.

Визначено технічні, педагогічні, психологічні, дидактичні та етичні вимоги до організації безпечного імерсивного середовища навчання. Систематизовано потенційні ризики використання імерсивних технологій та обґрунтовано роль імерсивної грамотності й імерсивної компетентності як чинників безпечної та педагогічно доцільної інтеграції імерсивних технологій у навчальний процес.

Отримані у розділі теоретико-методологічні положення конкретизують гіпотезу дослідження в частині визначення умов ефективного використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв та становлять теоретичне підґрунтя для подальшого проєктування й експериментальної перевірки методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів.

Основні результати другого розділу опубліковано в роботах [194; 277; 377; 499; 503; 507; 509; 511; 272; 513; 521; 523; 526; 540].

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИЧНА СИСТЕМА ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ УЧНІВ АКАДЕМІЧНИХ ЛІЦЕЇВ

3.1. Модель методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв

3.1.1. Компоненти методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів. Процес навчання природничо-математичних дисциплін в академічних ліцях ґрунтується на методичній системі, яка забезпечує цілісність, узгодженість та результативність педагогічного процесу. Відомо, що методична система – це впорядкована сукупність взаємопов'язаних компонентів, що визначають цілі, зміст, методи, засоби та форми організації навчання, умови педагогічної взаємодії й способи оцінювання результатів. Її функціонування спрямоване на формування предметних, міжпредметних і ключових компетентностей учнів відповідно до вимог профільної середньої освіти [397].

Базою для побудови методичних систем навчання є традиційна модель [547], яка використовує системний підхід до опису компонентів навчання – їхньої цілісності, взаємозалежності та ієрархічної впорядкованості. У контексті сучасних викликів цифровізації освіти зазначена модель потребує адаптації з урахуванням можливостей імерсивних технологій, здатних змінювати не лише форми й засоби, а й саму логіку пізнавальної діяльності учнів (рис. 3.1).

На цій основі розроблено методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв, у структурі якої виокремлено такі компоненти:

– *цільовий компонент*, що визначає мету, завдання та очікувані результати навчання. Він орієнтований на формування предметних, ключових та міжпредметних компетентностей учнів, розвиток дослідницьких, просторових і

аналітичних умінь, а також елементів цифрової та імерсивної компетентностей. Цілі формулюються відповідно до Державного стандарту профільної середньої освіти та орієнтують на добір змісту і педагогічних технологій;

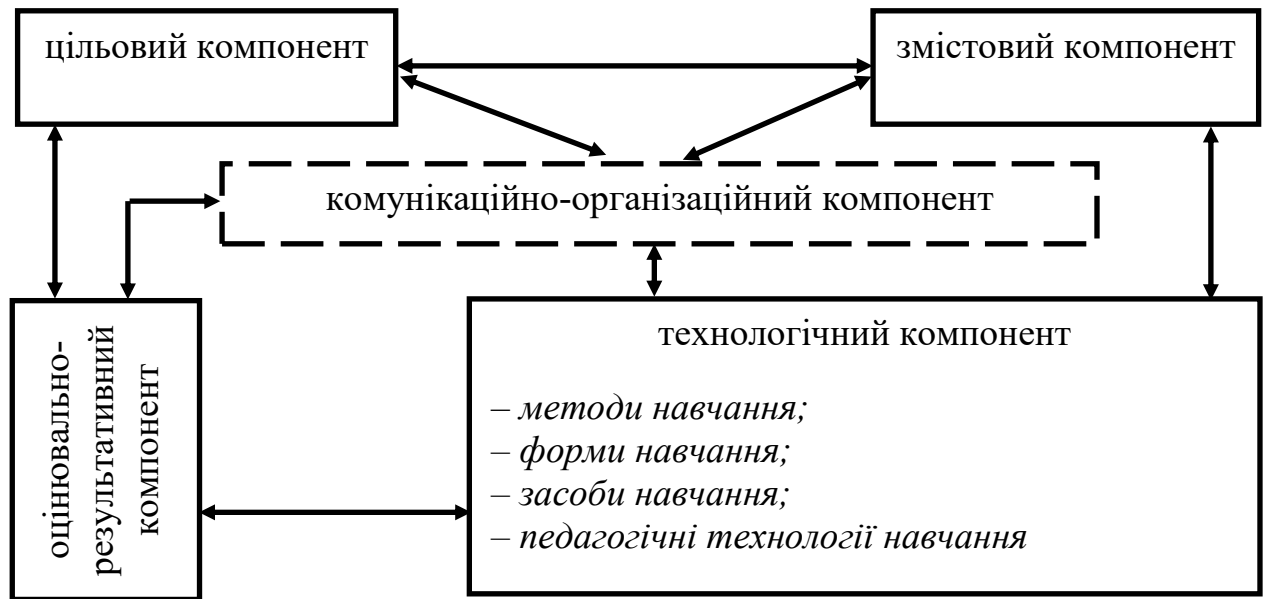


Рис. 3.1. Компонентна структура методичної системи (адаптована за [547])

– *змістовий компонент*, який охоплює систему навчального змісту природничо-математичних дисциплін, визначеного освітніми програмами та структурованого відповідно до логіки наукових понять і міжпредметних зв'язків. В умовах використання імерсивних технологій він забезпечує організацію взаємодії учнів із навчальним матеріалом через цифрові моделі, віртуальні об'єкти та симуляції природних процесів. Змістовий компонент поєднує теоретичні знання з практичною та дослідницькою діяльністю учнів, що реалізується через тривимірне моделювання, віртуальне експериментування та роботу з цифровими моделями;

– *технологічний компонент*, що охоплює методи, форми та засоби навчання, необхідні для реалізації змісту освіти. За умов використання імерсивних технологій він передбачає застосування засобів віртуальної та доповненої реальності, а також методичних прийомів їх використання для візуалізації, моделювання, проведення віртуальних експериментів та організації дослідницької діяльності учнів. Імерсивні освітні ресурси розширюють

можливості реалізації окремих змістових ліній і забезпечують більш інтенсивну взаємодію учнів із навчальним матеріалом;

– *комунікаційно-організаційний компонент*, який визначає способи взаємодії учасників освітнього процесу в умовах використання імерсивних технологій. Він передбачає поєднання індивідуальних та групових форматів навчальної діяльності, організацію педагогічної підтримки учнів під час взаємодії з імерсивними освітніми ресурсами, а також посилення консультативної та модераторської ролі вчителя. Компонент також охоплює організаційні вимоги щодо безпечної та етичної поведінки учасників освітнього процесу в імерсивному середовищі;

– *оцінювально-результативний компонент*, що регламентує процедури моніторингу навчальних досягнень учнів, а також форми формувального й підсумкового оцінювання. В умовах використання імерсивних технологій він доповнюється аналізом даних про виконання учнями навчальних дій в імерсивному середовищі, результатами їхньої роботи з віртуальними лабораторіями, симуляціями та інтерактивними завданнями.

Для виявлення особливостей реалізації методичної системи здійснено порівняльний аналіз характеристик її компонентів за умов використання і без використання імерсивних технологій (табл. 3.1). Метою порівняння є визначення відмінностей у способах реалізації компонентів методичної системи навчання, зумовлених застосуванням імерсивних технологій в освітньому процесі.

Наведене порівняння показує, що використання імерсивних технологій не змінює структуру методичної системи, а впливає на способи реалізації її компонентів. Імерсивні технології інтегруються передусім через технологічний компонент як складник засобів навчання, водночас опосередковано впливаючи на реалізацію інших компонентів методичної системи. Їх застосування розширює можливості представлення навчального змісту, трансформує організацію навчальної взаємодії в імерсивному середовищі та доповнює підходи до моніторингу й оцінювання результатів навчання.

Таблиця 3.1

Порівняння характеристик реалізації компонентів методичної системи навчання за умов використання і без використання імерсивних технологій

Компонент методичної системи	без використання імерсивних технологій	з використанням імерсивних технологій
<i>Цільовий компонент</i>	Формування предметних і ключових компетентностей відповідно до освітніх стандартів.	Формування предметних і ключових компетентностей відповідно до освітніх стандартів із посиленням розвитку просторового мислення, дослідницьких умінь та досвіду взаємодії з цифровими моделями.
<i>Змістовий компонент</i>	Навчальний зміст подається через текстові, графічні та матеріальні моделі навчальних об'єктів і процесів.	Навчальний зміст подається також через інтерактивні тривимірні моделі, симуляції та віртуальні середовища.
<i>Технологічний компонент</i>	Використовуються загальнодидактичні методи, форми та засоби навчання відповідно до вимог освітніх стандартів.	Використовуються імерсивні освітні ресурси, а методи й форми навчання адаптуються до їх застосування.
<i>Комунікаційно-організаційний компонент</i>	Навчальна взаємодія здійснюється в межах традиційних форм організації освітнього процесу та цифрової підтримки.	Навчальна взаємодія здійснюється також в імерсивному середовищі, у процесі спільної роботи з цифровими об'єктами та моделями.
<i>Оцінювально-</i>	Формувальне та підсумкове	Оцінювання доповнюється

Компонент методичної системи	без використання імерсивних технологій	з використанням імерсивних технологій
<i>результативний компонент</i>	оцінювання навчальних досягнень і сформованості компетентностей учнів.	аналізом результатів діяльності учнів в імерсивному середовищі та виконанням інтерактивних завдань.

Запропонована структура (рис. 3.1) відображає систему як сукупність п'яти взаємопов'язаних компонентів. Водночас вона не розкриває механізмів їх реалізації в умовах використання імерсивних технологій, зокрема особливостей інтеграції імерсивних освітніх ресурсів та організації діяльності учнів в імерсивному середовищі. Тому для конкретизації функціонально-процесуальних аспектів реалізації методичної системи розроблено відповідну модель методичної системи навчання.

3.1.2. Модель методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Сучасні вимоги до профільної освіти в академічних ліцеях зумовлюють потребу в цілісній організації освітнього процесу, здатній поєднати традиційні дидактичні підходи з можливостями цифрових технологій, зокрема імерсивних. З цією метою розроблено модель методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв (рис. 3.2), яка конкретизує способи реалізації компонентів методичної системи в умовах використання імерсивних технологій.

Модель ґрунтується на визначених теоретико-методологічних засадах, враховує психолого-педагогічні особливості навчання в імерсивному середовищі та забезпечує узгодження цілей, змісту, методів, форм, засобів і результатів навчання.

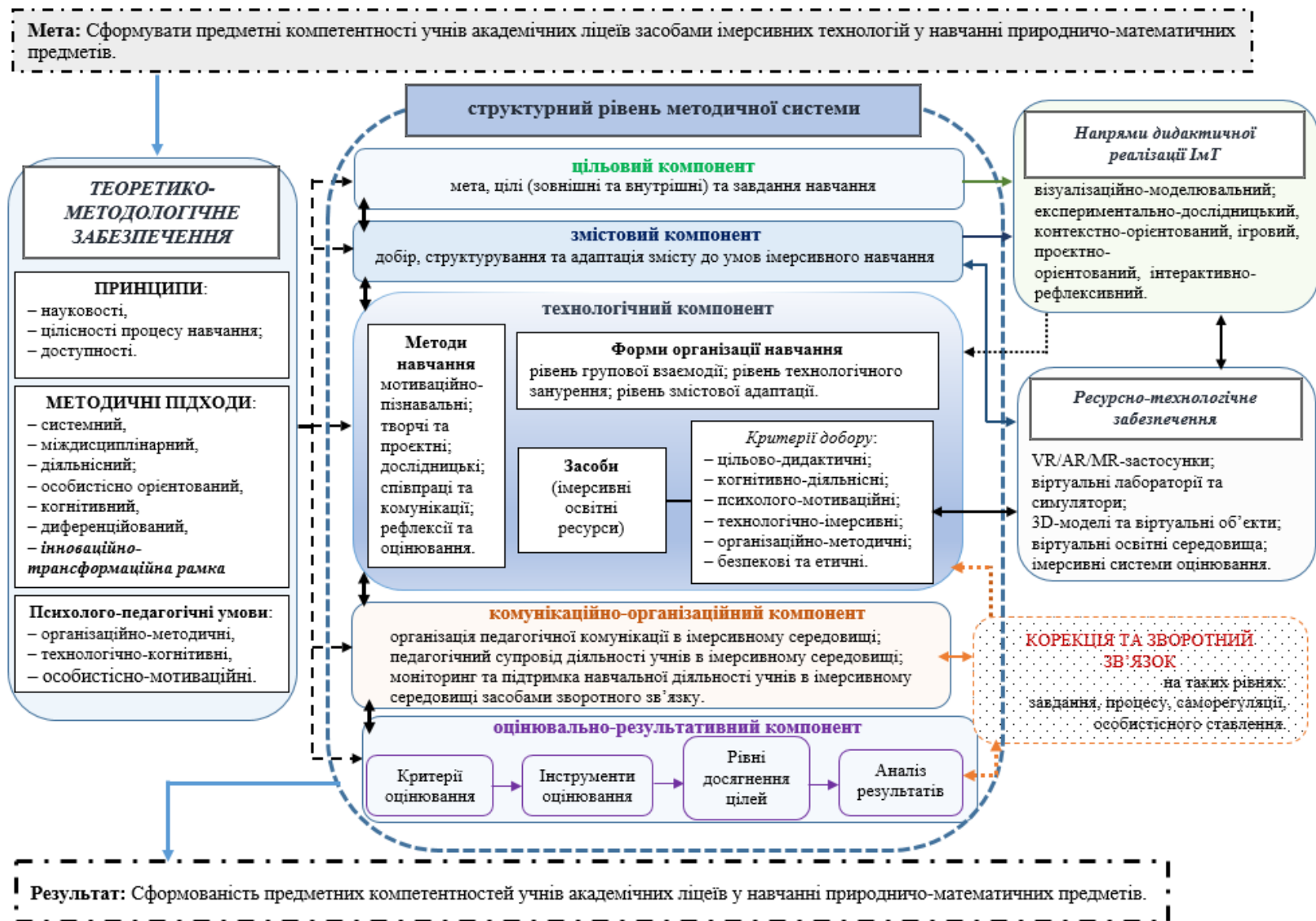


Рис. 3.2. Модель методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів

Запропонована модель відображає педагогічно обґрунтовану організацію, педагогічний супровід та оцінювання навчання з використанням імерсивних технологій і слугує науково обґрунтованою основою для їх упровадження у природничо-математичну підготовку. Відкритість, динамічність і варіативність моделі створюють можливість для врахування освітніх запитів учнів, специфіки профільної підготовки та особливостей імерсивних технологій під час її реалізації.

Модель зберігає п'ятикомпонентну структуру методичної системи (цільовий, змістовий, технологічний, комунікаційно-організаційний, оцінювально-результативний компоненти), конкретизуючи зміст кожного компонента відповідно до можливостей імерсивного середовища, яке в моделі не виокремлюється як окремий компонент, а виступає наскрізною умовою та інтеграційним простором реалізації всієї методичної системи. Поряд зі структурним рівнем модель відображає функціонально-процесуальний рівень реалізації методичної системи, який забезпечує педагогічно доцільну інтеграцію імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів та конкретизує способи реалізації її компонентів.

Цільовий компонент визначає мету та завдання навчання, спрямовані на формування компетентностей учнів. Мета полягає у формуванні предметних, міжпредметних та ключових компетентностей (зокрема дослідницьких та просторових умінь) засобами імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів. Цілі диференціюються на зовнішні (відповідність Державному стандарту профільної середньої освіти) та внутрішні (розвиток пізнавального інтересу, мотивації та дослідницьких умінь).

Змістовий компонент забезпечує добір і структурування навчального матеріалу з урахуванням міжпредметних зв'язків, профільної спрямованості та можливостей імерсивного середовища. Він охоплює теми, доцільні для візуалізації, моделювання чи віртуального експерименту засобами VR/AR, та передбачає поєднання теоретичної підготовки з практичною діяльністю.

Технологічний компонент визначає способи організації навчальної

діяльності та реалізується через сукупність розроблених методик використання імерсивних технологій у навчанні геометрії, алгебри, фізики, хімії, біології та географії. Методики охоплюють методи, форми організації навчання, імерсивні освітні ресурси та способи їх педагогічно доцільного використання. Добір ресурсів здійснюється за цільово-дидактичними, когнітивно-діяльнісними, психолого-мотиваційними, технологічно-імерсивними, організаційно-методичними, безпековими та етичними критеріями.

Комунікаційно-організаційний компонент забезпечує взаємодію учасників освітнього процесу, організацію навчальної діяльності та педагогічний супровід в імерсивному середовищі. Він передбачає поєднання очних і змішаних форм навчання, індивідуальних і групових форматів у межах навчальних сценаріїв, трансформацію ролі вчителя на модератора та наставника, а також інтеграцію різних видів дидактичної взаємодії, зокрема нової – «учень – імерсивне середовище» з дотриманням правил безпечної поведінки. Компонент охоплює організацію педагогічної комунікації в імерсивному середовищі, педагогічний супровід діяльності учнів, моніторинг і підтримку навчальної діяльності з використанням засобів зворотного зв'язку.

Оцінювально-результативний компонент визначає підходи до діагностики, аналізу та узагальнення результатів. Він поєднує традиційні й цифрові інструменти (автоматизовану реєстрацію дій у симуляціях, інтерактивні AR-тести тощо) та орієнтований на оцінювання ступеня досягнення навчальних цілей відповідно до визначених критеріїв. Очікуваним результатом є сформованість предметних, міжпредметних та ключових компетентностей.

Важливим функціональним механізмом реалізації методичної системи є корекція та зворотний зв'язок, які на чотирьох рівнях (завдання, процесу, саморегуляції та особистісного ставлення) забезпечують безперервне оперативне регулювання діяльності, підтримку внутрішньої мотивації учнів та вдосконалення всіх компонентів методичної системи.

Функціонування структурних компонентів методичної системи забезпечується сукупністю взаємопов'язаних умов реалізації, до яких належать

теоретико-методологічне забезпечення, напрями дидактичної реалізації імерсивних технологій та ресурсно-технічне забезпечення.

Теоретико-методологічне забезпечення визначає концептуальні засади функціонування методичної системи та охоплює принципи навчання, методичні підходи й психолого-педагогічні умови ефективного використання імерсивних технологій. Воно задає загальні орієнтири інтеграції імерсивних технологій у процес навчання.

Напрями дидактичної реалізації імерсивних технологій конкретизують способи педагогічно доцільного використання імерсивних технологій відповідно до дидактичних цілей навчання та забезпечують перехід від теоретико-методологічних засад до реалізації технологічного компонента методичної системи.

Ресурсно-технічне забезпечення імерсивного навчання охоплює сукупність імерсивних освітніх ресурсів і цифрових засобів, зокрема AR-застосунки, віртуальні лабораторії та симулятори, 3D-моделі та віртуальні об'єкти, віртуальні освітні середовища й імерсивні системи оцінювання. Воно конкретизує ресурсне наповнення змістового та технологічного компонентів методичної системи та створює ресурсну основу для педагогічно доцільного використання імерсивних освітніх ресурсів у процесі навчання.

Впровадження методичної системи супроводжується низкою обмежень, які необхідно враховувати під час її реалізації.

Технологічні обмеження пов'язані з рівнем забезпеченості академічних ліцеїв сучасними засобами імерсивного навчання. Серед таких факторів – обмежена кількість сертифікованих VR/AR/MR-пристроїв, варіативність стабільності інтернет-з'єднання, специфіка технічної підтримки, а також потреба в навчальних матеріалах високої якості, адаптованих до змісту природничо-математичних дисциплін. Додатково актуальним є питання стандартизації створення та оновлення імерсивних ресурсів відповідно до освітніх програм.

Дидактичні аспекти впровадження системи пов'язані з потребою розроблення методичних рекомендацій і сценаріїв уроків з інтеграцією

імерсивних технологій в освітній процес академічного ліцею. Це включає розроблення моделей уроків, сценаріїв використання VR/AR та інструментів оцінювання ефективності практик, а також підтримку педагогів у формуванні цифрових, проєктних та методичних компетентностей для ефективного використання технологій.

Психолого-методичні обмеження пов'язані з необхідністю дотримання балансу між інтенсивністю імерсивного впливу та когнітивними, віковими й індивідуальними особливостями учнів. Надмірне або, навпаки, епізодичне використання імерсивних технологій може спричиняти підвищене зорове навантаження, зниження концентрації уваги та втому.

З огляду на це під час створення методичної системи використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних дисциплін учнів академічних ліцеїв було враховано такі ключові положення:

– *різнопрофільна спрямованість навчання.* Учні академічних ліцеїв обирають різні профілі навчання, що потребує варіативності й диференціації змісту. Імерсивні технології забезпечують можливість створювати профільно орієнтовані віртуальні лабораторії, симуляції та моделі;

– *прогнозовані результати впровадження імерсивного навчання.* Використання VR/AR-технологій сприяє підвищенню рівня розуміння складних абстрактних понять, розвитку дослідницьких умінь, підвищенню мотивації, формуванню компетентностей через моделювання реальних ситуацій;

– *варіативність форм навчання.* Імерсивні технології підтримують широкий спектр навчальної діяльності: віртуальні лабораторії, екскурсії, симуляції, проєктування, ігрові дослідження, міжпредметні практикуми;

– *стимулювання активного та дослідницького навчання.* Імерсивні технології трансформують процес навчання з пасивного сприймання навчальних відомостей у діяльність, що передбачає активну взаємодію з навчальними об'єктами та явищами;

– *інтеграція імерсивних технологій в освітнє середовище ліцею.* Це потребує наявності методичного супроводу, електронних ресурсів, технічної

інфраструктури та підготовки вчителів;

– *формування імерсивної компетентності учнів і вчителів як частини цифрової компетентності, створення можливостей для ефективного використання імерсивних технологій у процесі навчання;*

– *розвиток рефлексивного й метакогнітивного мислення.* Імерсивні тренажери, симуляції та адаптивні цифрові тести сприяють розвитку навичок самооцінювання, планування власної діяльності та аналізу власних навчальних стратегій.

Для забезпечення ефективності методичної системи використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів в академічних ліцях необхідно дотримуватися таких методичних умов:

1) *відповідність державним освітнім стандартам та профільним програмам.* Зміст і цілі навчання в імерсивному середовищі мають відповідати Державному стандарту профільної середньої освіти, навчальним програмам і профілям академічного ліцею. Застосування імерсивних технологій має підсилювати досягнення визначених результатів навчання, зокрема компетентнісних, STEM-орієнтованих та дослідницьких навичок, забезпечуючи конкретні показники успішності;

2) *наукова достовірність і педагогічна валідність імерсивних навчальних матеріалів.* Імерсивні моделі, симуляції та віртуальні експерименти повинні ґрунтуватися на сучасних наукових даних, коректних алгоритмах і точних фізичних, хімічних чи біологічних закономірностях. Окрім наукової точності, навчальний матеріал має бути педагогічно валідним: відповідати віковим особливостям учнів, когнітивному навантаженню та рівню підготовки;

3) *практична та експериментальна спрямованість навчання.* Імерсивні технології мають забезпечувати можливість моделювання реальних і недоступних у традиційних умовах процесів, що сприяє застосуванню знань у практичних ситуаціях, проведенню безпечних експериментів, дослідженню взаємозалежностей та аналізу наслідків прийнятих рішень;

4) *міждисциплінарність та інтеграція знань.* Імерсивне середовище

повинно забезпечувати поєднання змісту різних природничо-математичних дисциплін. Імерсивні технології надають можливість створювати мультимодальні навчальні сценарії, що відображають комплексний характер природничих явищ та сприяють демонстрації взаємозв'язків між різними науками;

5) *персоналізація та індивідуалізація процесу навчання*. Імерсивні технології мають забезпечувати можливість індивідуалізації навчання шляхом добору темпу опрацювання матеріалу, рівня складності завдань, типу візуалізацій, підказок та навчальних сценаріїв відповідно до індивідуальних потреб, можливостей і рівня підготовки учнів. Реалізація цієї умови передбачає врахування психологічних, когнітивних та індивідуальних особливостей учнів, а також створення можливостей для вибору ними власної траєкторії навчальної діяльності;

6) *формування цифрової та імерсивної компетентностей*. Учні повинні опанувати не лише базові навички взаємодії з імерсивними технологіями, а й уміння критично оцінювати отримані відомості, розуміти особливості симуляцій, дотримуватися правил кібербезпеки та безпечної поведінки у віртуальному просторі. Важливо розвивати імерсивну грамотність – уміння працювати з моделями та аналізувати їхні обмеження;

7) *оптимізація навчального часу та ефективність навчання*. Використання імерсивних технологій має скорочувати час засвоєння складних понять внаслідок наочної візуалізації, можливості повторного виконання експериментів і роботи з абстрактними моделями. При цьому слід враховувати технічні обмеження, час на адаптацію до середовища та організаційні витрати. Ефективність забезпечується правильно спроектованими сценаріями та продуманим педагогічним дизайном;

8) *контроль та оцінювання навчальних результатів*. Оцінювання має враховувати специфіку взаємодії учня з імерсивним середовищем: аналіз дій та траєкторій, автоматизовану фіксацію помилок та успішних кроків, формувальне та підсумкове оцінювання у VR/AR-тренажерах. Оцінюється не лише кінцевий результат, а й процес дослідження, здобуття навичок та застосування знань, що відповідає принципам компетентнісного підходу.

Дотримання зазначених методичних умов забезпечує науково обґрунтоване

та технологічно узгоджене використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцєях, створюючи умови для формування предметних, дослідницьких і цифрових компетентностей та індивідуалізації навчальної діяльності учнів.

3.2. Цілі та зміст методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцєїв

3.2.1. Цільовий та змістовий компоненти методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцєїв визначаються з урахуванням вимог Державного стандарту профільної середньої освіти, який окреслює стратегічну мету освітнього процесу – всебічний розвиток особистості та формування компетентностей, необхідних для успішної самореалізації [406].

Глобальна мета профільної середньої освіти конкретизується через систему компетентностей, що відображені у Державному стандарті та деталізовані в освітніх галузях. У контексті природничо-математичної освіти компетентнісний підхід передбачає не лише засвоєння предметних знань, а й формування здатності застосовувати їх у навчальних і практичних ситуаціях. В основі такої підготовки – інтеграція знань, умінь, способів діяльності та ставлень, що забезпечують готовність учня до розв'язання реальних завдань.

Вимоги стандарту визначають очікувані результати навчання, серед яких: уміння аналізувати навчальні відомості та встановлювати причинно-наслідкові зв'язки; застосовувати знання для розв'язання практичних задач; здійснювати критичне оцінювання даних; ефективно взаємодіяти в команді; приймати обґрунтовані рішення та здійснювати саморегуляцію навчальної діяльності [406].

Наведені результати навчання відображають компетентнісну спрямованість Державного стандарту та є підґрунтям для визначення цілей і змісту методичної системи, оскільки імерсивні засоби надають можливість моделювати ситуації, що потребують інтеграції знань та їхнього практичного застосування, забезпечують умови для дослідницької діяльності, візуалізації складних понять та активної

взаємодії здобувачів освіти.

З урахуванням зазначеного цільовий компонент методичної системи набуває ієрархічної структури, що включає три взаємопов'язані рівні: державний, освітньо-галузовий та предметний. На державному рівні визначається загальна мета освіти відповідно до нормативних документів; на освітньо-галузовому – конкретизуються цілі природничо-математичної освітньої галузі; на предметному – формулюються цілі навчання з урахуванням змісту конкретного предмета та особливостей організації освітнього процесу. При цьому мета навчання тісно взаємопов'язана з оцінювально-результативним компонентом методичної системи, оскільки грамотно сформульована мета визначає спрямованість процесу навчання, характер діяльності вчителя та учнів і впливає на досягнуті результати.

На відміну від традиційного підходу, у межах розробленої методичної системи цілі навчання додатково орієнтуються на організацію діяльності учнів в імерсивному середовищі, що передбачає формування просторово-образного мислення, дослідницьких умінь та здатності до моделювання природничих явищ.

У цьому контексті додатковою ціллю методичної системи є формування *імерсивної компетентності учасників освітнього процесу*, що передбачає готовність до використання імерсивного середовища як інструменту пізнання, дослідження й навчальної комунікації. Зміни в цільовому компоненті методичної системи безпосередньо впливають на змістовий компонент, забезпечуючи його відповідність змісту навчання як складника змісту освіти, а також стандартам освіти в академічних ліцєях.

У дослідженні зміст освіти розглядається як динамічна система, визначена державними стандартами та освітніми програмами [427], однак у контексті використання імерсивних технологій він набуває додаткових характеристик, пов'язаних із можливістю його представлення у вигляді моделей, симуляцій та інтерактивних середовищ.

Зміст навчання у межах методичної системи конкретизує зміст освіти та реалізується через добір навчального матеріалу, передбаченого типовими та модельними програмами, підручниками й іншими освітніми ресурсами [415].

Водночас, на відміну від традиційного підходу, у запропонованій методичній системі зміст навчання розглядається як такий, що підлягає педагогічному проєктуванню з урахуванням можливостей імерсивного середовища, зокрема щодо візуалізації абстрактних понять, моделювання процесів та організації дослідницької діяльності учнів.

У програмах із природничо-математичних предметів зміст навчання визначається на рівні компетентнісного потенціалу, що зумовлено необхідністю підготовки учнів до застосування знань у змінних умовах та швидким розвитком сучасних технологій. У межах розробленої методичної системи це положення конкретизується через визначення змісту відповідно до рівня опанування освітньої галузі – основного або профільного, що забезпечує його адаптацію до освітніх потреб і пізнавальних можливостей учнів академічних ліцеїв. Зокрема, змістовий компонент збагачується використанням VR/AR-моделей, симуляцій, віртуальних лабораторій та багатовимірних даних, що забезпечує можливість інтерактивного опрацювання навчального матеріалу, візуалізації складних процесів і організації дослідницької діяльності.

Такий підхід дозволяє поєднати теоретичний та практичний складники навчання, забезпечуючи перехід від репродуктивного засвоєння знань до їх застосування у змодельованих ситуаціях. Приклад структурування змісту навчання з урахуванням можливостей імерсивного середовища наведено в додатку Г.

Відповідно до положень державних стандартів [397; 405; 406], до основних принципів формування змісту освіти належать науковість, гуманістична спрямованість, культуровідповідність, варіативність та неперервність. У межах розробленої методичної системи ці принципи набувають конкретизації через способи їх реалізації в імерсивному середовищі навчання, зокрема:

– забезпечення доступності та рівних можливостей у навчанні шляхом використання імерсивних ресурсів різного рівня складності, а також застосування альтернативних форматів навчальних матеріалів і технологічних рішень, що враховують відмінності в технічному забезпеченні та можливостях доступу учнів

до цифрових ресурсів;

- реалізація системності та цілісності шляхом поетапного ускладнення змісту та візуалізації міжпредметних зв'язків у цифрових моделях;

- забезпечення наступності навчання через інтеграцію навчальних матеріалів із різних тем і предметів в імерсивному середовищі;

- посилення практичної спрямованості навчання шляхом моделювання ситуацій, наближених до реальних;

- реалізація принципу демократичності та академічної свободи через забезпечення варіативності змісту навчання, можливості вибору вчителями методів, форм і технологій навчання, а також надання учням можливості обирати способи виконання навчальних завдань, тематику окремих навчальних проєктів та індивідуальну освітню траєкторію в межах чинних освітніх програм.

У такому випадку змістовий компонент методичної системи набуває ознак гнучкості, варіативності та інтерактивності, що забезпечує його відповідність сучасним вимогам профільної освіти.

Зміст навчання для учнів охоплює дидактично структуровану систему навчальних матеріалів, представлених у різних формах і з різних джерел, які інтегруються навколо спільних навчальних цілей та очікуваних результатів навчання. Така організація змісту забезпечує узгоджене використання традиційних та імерсивних освітніх ресурсів і створює цілісне навчальне середовище. У межах запропонованої методичної системи особлива увага приділяється такій організації змісту, яка забезпечує підтримку пізнавального інтересу, стимулює емоційне залучення та сприяє активізації пізнавальної діяльності учнів [587]. Використання імерсивних технологій у цьому контексті розглядається як засіб підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу завдяки інтеграції візуального, діяльнісного та дослідницького компонентів.

Реалізація цільового та змістового компонентів методичної системи здійснюється на основі модельних навчальних програм, затверджених Міністерством освіти і науки України, однак їх впровадження в умовах імерсивного середовища потребує цілеспрямованої методичної адаптації. Це

передбачає добір і проєктування навчальних ситуацій з урахуванням рівня підготовки учнів, профілю навчання та можливостей імерсивних технологій. Ефективність реалізації методичної системи оцінюється через досягнення визначених навчальних цілей та сформованість відповідних компетентностей.

3.2.2. Дидактичні можливості навчальних програм природничо-математичних предметів щодо інтеграції імерсивних технологій. Відповідно до Державного стандарту профільної середньої освіти виокремлюють дев'ять основних освітніх галузей [406]: мовно-літературну, математичну, природничу, технологічну, інформатичну, соціальну та здоров'язбережувальну, громадянську та історичну, мистецьку та фізичну культуру. У межах теми дослідження особлива увага приділяється математичній та природничій галузям, оскільки вони формують базу для розвитку компетентностей, що потребують інтеграції імерсивних технологій (табл. 3.2). Більш докладний аналіз характеристик компетентнісного потенціалу, вмінь та ставлень наведено у додатку Д.

Таблиця 3.2

Характеристики компетентнісного потенціалу за [406]

	Математична галузь	Природнича галузь
Мета	Формування математичної компетентності, розвиток логічного мислення, здатності застосовувати знання у навчанні та практичній діяльності.	Формування наукового світогляду, усвідомлення законів природи та сталого розвитку, здатність до професійного самовизначення.
Компетентнісний потенціал	Здатність розв'язувати проблеми, моделювати процеси, усвідомлювати роль математики.	Здатність пояснювати природні явища, проводити дослідження, робити доказові висновки.
Уміння	Застосовувати математичні методи у практичних та пізнавальних задачах; розв'язувати проблеми природничого змісту.	Будувати, досліджувати моделі природних явищ; робити висновки та обґрунтовувати рішення; працювати індивідуально та в групі.
Ставлення	Усвідомлення значущості математики; оцінювання доцільності методів.	Критичне оцінювання досягнень науки; емоційно-ціннісне сприйняття природи; відповідальність за дії.

Аналіз компетентнісного потенціалу демонструє, що сучасна профільна освіта спрямована на формування особистості, здатної адаптуватися до змін, критично мислити, працювати в команді та застосовувати знання у практичній діяльності. Засвоєння предметів природничо-математичного циклу вимагає розвитку просторового й аналітичного мислення, здатності здійснювати візуалізацію об'єктів, оперувати просторовими уявленнями та застосовувати ці навички для моделювання й дослідження природних і математичних процесів, що обґрунтовує необхідність інтеграції імерсивних технологій у навчальний процес.

Наукові дослідження підтверджують, що використання переважно двовимірних візуалізацій при традиційному навчанні часто є недостатнім для розвитку навичок, потрібних у дисциплінах, де важливими є просторові уявлення [128; 174; 363]. Традиційний підхід до організації навчання не завжди забезпечує достатні можливості для спільної та інтерактивної діяльності учнів, а також урахування їхніх індивідуальних освітніх потреб. Водночас аналіз організації навчання природничо-математичних предметів у межах такого підходу дає змогу виявити низку обмежень, що впливають на досягнення очікуваних результатів навчання. Зокрема, переважання репродуктивних форм діяльності, обмежені можливості інтерактивної взаємодії та недостатній рівень індивідуалізації навчання можуть ускладнювати формування дослідницьких умінь і розвиток просторового мислення учнів. Як зазначається у [258], навіть епізодичне використання імерсивних технологій у межах традиційного уроку не забезпечує очікуваного ефекту через обмеженість доступних візуалізацій, низький рівень інтерактивності та неповну реалізацію потенціалу таких технологій для дослідження й експериментування.

Встановлено, що чинна Типова освітня програма профільної середньої освіти та модельні навчальні програми природничо-математичних предметів в Україні визначають зміст, структуру та очікувані результати навчання, проте не містять прямих вимог або чітких методичних орієнтирів щодо використання імерсивних технологій в освітньому процесі. Це створює передумови для варіативності їх застосування на рівні освітніх програм академічних ліцеїв та

актуалізує потребу в розробленні відповідних дидактичних підходів. Навчальні програми містять очікувані результати та зміст навчання, що створюють можливості для інтеграції імерсивних технологій з метою підтримки засвоєння складних знань, розвитку дослідницьких умінь і просторового мислення учнів.

На основі аналізу компетентнісного потенціалу модельних навчальних програм із природничо-математичних предметів та нормативних вимог Типової освітньої програми виокремлено напрями дидактичної реалізації імерсивних технологій у навчанні учнів академічних ліцеїв (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Напрями дидактичної реалізації імерсивних технологій у навчанні
природничо-математичних предметів в академічних ліцеях**

Напрямок	Мета реалізації	Приклади використання
<i>Візуалізаційно-модельовальний</i> [154; 305]	Полегшення розуміння абстрактних понять та процесів.	3D-моделі молекул, графіки, симуляції електромагнітних полів, математичне моделювання об'єктів у просторі.
<i>Експериментально-дослідницький</i> [72; 136; 363]	Безпечне, інтерактивне та багаторазове проведення дослідів.	Віртуальні лабораторії, AR-досліди на смартфонах, моделювання змін параметрів експерименту.
<i>Контекстно-орієнтований</i> [197; 455]	Наближення навчання до реальних ситуацій.	AR-екскурсії, VR-моделювання екосистем, кейс-симуляції.
<i>Ігровий</i> [315]	Підвищення мотивації, інтересу й залучення.	VR-ігри, AR-квести, інтерактивні лабораторії у форматі гри.
<i>Проектно-орієнтований</i> [316]	Розвиток дослідницьких, творчих і командних навичок.	Створення AR/VR-проектів, STEM-проекти, інтерактивні презентації.
<i>Інтерактивно-рефлексивний</i> [72]	Формування критичного мислення та самоконтролю.	VR-сценарії з вибором дій, вправи з миттєвим зворотним зв'язком, візуалізація прогресу учня.

Виокремлені напрями дидактичної реалізації відображають різні аспекти дидактичного потенціалу імерсивних технологій. Зокрема, візуалізаційно-моделювальний напрям пов'язаний із забезпеченням наочності та можливістю дослідження абстрактних об'єктів; експериментально-дослідницький – із організацією безпечної та багаторазової дослідницької діяльності; контекстно-орієнтований – із наближенням навчання до реальних ситуацій; ігровий – із підвищенням мотивації; проєктно-орієнтований – із розвитком самостійності та командної роботи; інтерактивно-рефлексивний – із забезпеченням зворотного зв'язку та самоконтролю.

Узагальнення виокремлених напрямів дає змогу визначити основні способи інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів, що забезпечують підтримку формування предметних, міжпредметних та ключових компетентностей учнів. Зокрема, йдеться про розширення можливостей візуалізації, активізацію пізнавальної діяльності, організацію дослідницького навчання та забезпечення індивідуалізації освітнього процесу.

Проведений аналіз компетентнісного потенціалу природничо-математичних дисциплін та виокремлених напрямів дидактичної реалізації імерсивних технологій засвідчує необхідність чіткого структурування навчальних цілей.

3.2.3. Цілі навчання та критерії їх досягнення. Ефективність організації процесу навчання безпосередньо пов'язана з чіткістю визначення навчальних цілей, що підтверджується результатами наукових досліджень [199]. Водночас у контексті використання імерсивних технологій традиційні підходи до формулювання цілей навчання, орієнтовані переважно на відтворення знань і виконання стандартних навчальних дій, виявляються недостатніми. Це зумовлено тим, що імерсивне середовище передбачає активну взаємодію учня з навчальними об'єктами, варіативність навчальних сценаріїв і можливість дослідження динамічних процесів, що потребує уточнення як самих цілей, так і критеріїв їх досягнення.

Процес цілевизначення у такому середовищі набуває поетапного характеру та охоплює визначення стратегічних і тактичних цілей, їх конкретизацію у вигляді

навчальних завдань, моніторинг досягнень і коригування освітньої діяльності, що створює передумови для розвитку саморегульованого навчання [125; 253]. У межах методичної системи цілі навчання розглядаються не лише як орієнтири засвоєння змісту, а й як інструмент проєктування діяльності учнів у середовищі, що забезпечує дослідження, моделювання та прийняття рішень.

У зв'язку з цим у дослідженні запропоновано підхід до формування цілей навчання, що ґрунтується на інтеграції таксономії цілей і результатів навчання Б. Блума (B. Bloom) та її переглянутої версії Л. Андерсона (L. Anderson) і Д. Кратвола (D. Krathwohl) із підходом SMART як інструментом їх операціоналізації. Така інтеграція розглядається як спосіб узгодження рівнів когнітивної діяльності з вимогами до вимірюваності та досяжності результатів навчання в умовах імерсивного середовища.

Відповідно до таксономії знання класифікуються на фактичні, процедурні, концептуальні та метакогнітивні [17; 291; 408; 429], що дає змогу диференціювати навчальні цілі за рівнями когнітивної складності та типами пізнавальної діяльності. У контексті імерсивного навчання це набуває практичного значення, оскільки дозволяє співвіднести тип навчальних матеріалів із можливостями середовища: зокрема, концептуальні та процедурні знання можуть формуватися через моделювання процесів і маніпулювання об'єктами, а метакогнітивні – через рефлексію власних дій у змодельованих ситуаціях.

Таксономія цілей надає можливість визначити рівень складності когнітивних процесів, необхідних для засвоєння навчального матеріалу, розвитку критичного мислення та формування предметних і ключових компетентностей учнів [488; 489]. У контексті використання імерсивних технологій її значущість посилюється, оскільки імерсивне середовище надає можливість організувати навчальну діяльність на рівнях аналізу, оцінювання та створення, зокрема через моделювання процесів, маніпулювання об'єктами, дослідження змінних параметрів і прийняття рішень у змодельованих ситуаціях.

Отже, таксономія цілей та результатів навчання формує ієрархічну структуру досягнення навчальних цілей, яка може бути адаптована до змісту

конкретного навчального предмета та індивідуальних освітніх потреб учнів. Як зазначають дослідники [266], саме така таксономія є ефективною під час планування та оцінювання навчальної діяльності в імерсивному середовищі, оскільки вона забезпечує узгодженість між характером пізнавальної діяльності учнів і можливостями цифрових технологій.

Разом із тим таксономія визначає ієрархію когнітивних процесів, але не забезпечує їхнього переходу у вимірювані результати навчання. Для подолання цієї обмеженості у дослідженні використано підхід SMART [181], який дозволяє конкретизувати цілі відповідно до критеріїв їхньої досяжності, вимірюваності та часової визначеності. Це є принципово важливим у контексті імерсивного навчання, де результат навчальної діяльності проявляється не лише у підсумковому продукті, а й у процесі взаємодії учня з середовищем навчання.

З урахуванням результатів досліджень [125] встановлено, що ефективність навчальної діяльності підвищується за умови формулювання цілей, які потребують пізнавальних зусиль, але залишаються досяжними. У межах імерсивного середовища це означає необхідність узгодження складності навчальних завдань із можливостями середовища щодо варіювання умов діяльності, надання зворотного зв'язку та підтримки індивідуальних освітніх траєкторій.

Дослідники [181] поділяють SMART-критерії досягнення цілей на такі категорії:

- *цілі процесу навчання* – дії та методи, які учні застосовують для засвоєння матеріалу;
- *цілі впливу на навчання* – довгострокові наслідки навчальної діяльності для розвитку учня;
- *очікувані результати навчання* – конкретні зміни в знаннях, уміннях та навичках після завершення періоду навчання;
- *особисті цілі учня* – спрямовані на індивідуальний розвиток у контексті навчання.

SMART-підхід у дослідженні використовується як інструмент

трансформації узагальнених цілей у систему навчальних завдань, що структуровані за такими ознаками [181]: конкретність, вимірюваність, досяжність, релевантність та обмеженість у часі. При цьому навчальні завдання виступають засобом деталізації SMART-цілей: вони структурують процес досягнення мети на послідовні, вимірювані етапи. На кожному з них критично важливим є зворотний зв'язок, що надає можливість оцінити прогрес та скоригувати навчальну діяльність. Завдання, сформульовані за SMART-критеріями, створюють основу для визначення критеріїв оцінювання та розроблення успішності навчальних результатів.

Критерії досягнення навчальних цілей у межах методичної системи інтерпретуються як засіб їх операціоналізації, що забезпечує перехід від узагальнених формулювань до спостережуваних і оцінюваних характеристик навчальної діяльності. На відміну від традиційного підходу, де критерії часто фіксують лише кінцевий результат, у дослідженні вони розглядаються як такі, що відображають і результат, і процес діяльності учня в імерсивному середовищі.

У цьому контексті критерії не ототожнюються з результатами навчання, а визначають спосіб їх фіксації та оцінювання, що узгоджується з положеннями таксономії цілей і підходом SMART [17; 181]. Такий підхід забезпечує логічний перехід від етапу цілевизначення до етапів діагностики та оцінювання результатів навчання.

На основі інтеграції таксономії цілей і SMART-підходу визначено характеристики критеріїв досягнення навчальних цілей:

- об'єктивність, що забезпечується однозначністю інтерпретації результатів діяльності;
- конкретність, яка передбачає відповідність критерію певному рівню когнітивної діяльності;
- доступність для оцінювання, що дозволяє фіксувати результати як учителю, так і учню;
- узгодженість із цілями навчання, що забезпечує відповідність критеріїв рівням когнітивної діяльності.

Формування критеріїв відбувається поетапно: від визначення рівнів когнітивної діяльності відповідно до таксономії – через конкретизацію цілей за SMART-підходом – до адаптації критеріїв до умов імерсивного середовища. Така послідовність дозволяє забезпечити узгодженість між цілями, змістом і результатами навчання.

У межах методичної системи визначено систему критеріїв, яка забезпечує комплексну оцінку досягнення навчальних цілей:

1) *рівень засвоєння знань*, що характеризує глибину розуміння основних понять, закономірностей і теорій та здатність застосовувати їх у нових міжпредметних, практичних і дослідницьких контекстах відповідно до рівнів таксономії Блума (розуміння, застосування, аналіз, синтез);

2) *рівень сформованості предметних компетентностей*, який виявляється у здатності учнів використовувати знання та вміння для розв'язання типових і нестандартних навчальних завдань, інтерпретації результатів та аргументації висновків відповідно до вимог Державного стандарту профільної середньої освіти;

3) *рівень розвитку ключових компетентностей*, що реалізуються через навчальний зміст і виявляються, зокрема, у сформованості мовленнєво-комунікативної, інформаційно-комунікаційної та інноваційної компетентностей;

4) *рівень навчальної самостійності*, який відображає здатність учня планувати власну навчальну діяльність, формулювати навчальні запитання, здійснювати пошук і перевірку навчальних відомостей та регулювати процес навчання;

5) *рівень практичної спрямованості знань*, що характеризує здатність застосовувати теоретичні знання для аналізу та розв'язання завдань, наближених до реальних ситуацій, що є принципово важливим для природничо-математичної освіти;

6) *рівень мотивації та навчальної активності*, який виявляється в інтересі до навчального матеріалу, ініціативності у виконанні дослідницьких і проєктних завдань, готовності до співпраці та пізнавальної взаємодії;

7) *якість навчальних результатів*, що відображає повноту, логічність і аргументованість виконання навчальних завдань та відповідність отриманих результатів сформульованим навчальним цілям.

Поєднання таксономії цілей, SMART-підходу та системи критеріїв формує методичну основу для планування, реалізації та оцінювання результатів навчання (рис. 3.3), забезпечуючи узгодженість між рівнями когнітивної діяльності, навчальними завданнями та способами оцінювання.



Рис. 3.3. Схема циклічного формування та оцінювання навчальних цілей у методичній системі використання імерсивних технологій

Отже, інтеграція таксономії цілей і SMART-підходу забезпечує структурування навчальних цілей та їх переведення у вимірювані результати, а система критеріїв – можливість їх оцінювання з урахуванням специфіки імерсивного середовища. Це створює методичне підґрунтя для побудови цілісної системи планування та моніторингу результатів навчання.

Реалізація визначених цілей і змісту навчання потребує відповідного добору засобів навчання, що забезпечують діяльнісний характер освітнього процесу, варіативність навчальних сценаріїв та індивідуалізацію навчання, що зумовлює необхідність розгляду технологічного компонента методичної системи в наступному підрозділі.

3.3. Імерсивні технології навчання природничо-математичних предметів

У методичній системі використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв імерсивні технології становлять технологічний компонент, що забезпечує реалізацію цільового та змістового компонентів шляхом створення імерсивного середовища навчання. На відміну від фрагментарного використання окремих цифрових засобів, у межах розробленої методичної системи імерсивні технології розглядаються як системотворчий інструментарій, що визначає характер навчальної діяльності, типи взаємодії і рівень залучення учнів до активної пізнавальної діяльності.

Інтеграція імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів забезпечує організацію навчальної діяльності на різних рівнях когнітивної складності – від репродуктивного до дослідницько-рефлексивного, – що відповідає логіці компетентнісного та діяльнісного підходів. У межах методичної системи імерсивне середовище виступає засобом реалізації дослідницьких, проєктних і симуляційних методів навчання, які набувають системного характеру і визначають провідні форми організації процесу навчання.

3.3.1. Імерсивні освітні ресурси. Основним дидактичним засобом використання імерсивних технологій у межах методичної системи є імерсивні освітні ресурси (ІОР). У межах дослідження під ІОР розуміємо педагогічно орієнтовані цифрові продукти, спеціально спроектовані для використання в імерсивному середовищі та спрямовані на досягнення визначених освітніх цілей [582]. Імерсивні освітні ресурси не ототожнюються з імерсивними технологіями, а розглядаються як засоби навчання, створені на їх основі. На відміну від загальних цифрових ресурсів, вони поєднують технологічні можливості віртуальної, доповненої та змішаної реальностей із дидактично структурованим навчальним змістом, що забезпечує інтерактивну взаємодію учнів із навчальними об'єктами та процесами.

У дослідженні враховано підхід [295], відповідно до якого ІОР інтегрують

програмний складник (VR, AR, MR, симуляційні системи) та навчально-методичний складник (інтерактивні тексти, 3D-моделі, 360°-відео, аудіосупровід). При цьому ІОР аналізуються не лише з позицій технологічних характеристик, а насамперед через їх педагогічні функції та способи використання в освітньому процесі.

Для їх систематизації використано підхід Д. Шепелєва [582], який передбачає розмежування програмно-методичних і навчально-методичних матеріалів. Основний акцент у роботі зроблено на навчально-методичних матеріалах, оскільки саме вони безпосередньо забезпечують реалізацію методів навчання та організацію навчальної діяльності учнів.

Аналіз нормативних положень [490] та класифікацій цифрових освітніх ресурсів [424; 477] засвідчує, що вони переважно описують імерсивні ресурси або з позицій технологій, або як окремі дидактичні засоби, без урахування їхньої ролі в цілісній організації процесу навчання. Це зумовило необхідність розроблення авторської багаторівневої схеми формування та систематизації ІОР як елементів методичної системи навчання (рис. 3.4). Запропонована схема відображає послідовний перехід від технологічних характеристик імерсивних засобів до їх педагогічного використання в процесі навчання.

У верхній частині схеми імерсивні технології характеризуються за *типом* (VR, AR, MR, 360°-відео, інтерактивні 2D/3D-симуляції), *рівнем імерсивності* (низький, середній, високий) та *рівнем взаємодії* (пасивний, активний, інтерактивний з адаптацією). Таке поєднання параметрів надає можливість встановити відповідність між технологічними характеристиками та педагогічними можливостями ресурсу.

На наступному рівні технології трансформуються в імерсивні технології навчання – тобто такі, що спрямовані на реалізацію *освітніх цілей*:

- пізнавальних (формування нових знань),
- практичних (відпрацювання навичок),
- дослідницько-рефлексивних (аналіз, дослідження, самоосмислення).



Рис. 3.4. Багаторівнева схема формування та систематизації ІОР

Ключовим етапом є визначення педагогічних функцій імерсивних технологій (мотиваційної, інформаційної, комунікативної, розвивальної, практичної, діагностичної), які забезпечують педагогічну доцільність використання технологій та їх перетворення на освітні ресурси.

ІОР класифіковано за *педагогічним потенціалом*:

- візуалізаційно-інтерактивні (3D-моделі, AR-застосунки);
- експериментально-дослідницькі (віртуальні лабораторії, симулятори);
- сюжетно-ігрові (VR-квести, ігрові середовища);
- інтерактивно-комунікативні (віртуальні простори для спільної роботи);
- адаптивно-індивідуалізовані (персоналізовані симуляції, інтелектуальні навчальні системи).

Завершальний рівень – *практичне застосування* ІОР у навчальному процесі, що охоплює різні організаційні форми: інтегровані уроки, проєктну діяльність, лабораторні роботи, самостійну роботу, позакласну й інклюзивну освіту.

Схема відображає перехід від технологічних характеристик імерсивних засобів до їх педагогічного використання, що забезпечує обґрунтований дидактичний добір і застосування у навчанні природничо-математичних предметів в академічному ліцеї.

У структурі методичної системи ІОР:

- класифікуються за педагогічним потенціалом, що дозволяє визначити їхні дидактичні можливості (табл. 3.4);
- систематизуються за функціональним призначенням, що дозволяє визначити їхню роль у реалізації компонентів методичної системи та організації навчальної діяльності учнів (табл. 3.5).

Добір імерсивних ресурсів здійснюється на основі системи критеріїв (табл. 3.6), що забезпечує узгодження цілей, змісту та організації навчальної діяльності учнів з урахуванням специфіки імерсивного середовища.

Таблиця 3.4

Класифікація імерсивних освітніх ресурсів за педагогічним потенціалом

Група ІОР	Типи ресурсів	Педагогічний потенціал	Форми практичного застосування
Візуалізаційно-інтерактивні	3D-моделі, AR-застосунки, симуляції.	Візуалізація абстрактних понять; формування просторових уявлень; стимулювання пізнавального інтересу.	Пояснення нового матеріалу; демонстрація складних або невидимих процесів; самостійна робота.
Експериментально-дослідницькі	Віртуальні лабораторії, VR-досліди, симулятори.	Формування дослідницьких умінь; аналіз та інтерпретація результатів; моделювання ситуацій.	Лабораторні роботи; STEM-проєкти; навчальні експерименти; дослідницькі заняття.
Сюжетно-ігрові	VR-квести, ігрові середовища, освітні ігри.	Підвищення залученості; розвиток логічного та творчого мислення; організація спільної діяльності.	Мотиваційні етапи уроків; ігрове закріплення знань; позакласна діяльність; освітні квести.
Інтерактивно-комунікативні	Віртуальні простори для спільної роботи, соціальні освітні простори з VR.	Формування навичок командної роботи; організація спільної діяльності; міжпредметна взаємодія.	Групові заняття; інтегровані уроки; дистанційні спільні проєкти.
Адаптивно-індивідуалізовані	Інтелектуальні навчальні системи, персоналізовані симуляції.	Індивідуалізація навчання; зворотний зв'язок; диференціація складності завдань.	Персоналізоване навчання; самостійна робота учнів; інклюзивна освіта; формувальне оцінювання.

Класифікація за педагогічним потенціалом не відображає ролі імерсивних ресурсів у структурі методичної системи, що зумовлює необхідність їх функціональної систематизації. На основі класифікації цифрових освітніх ресурсів, запропонованої А. Дробіним [411], та з урахуванням специфіки імерсивного середовища виокремлено функціональні групи ІОР відповідно до їхньої ролі в процесі навчання.

Таблиця 3.5

Функціональна систематизація ІОР (розроблено автором на основі [411])

Група цифрових ресурсів	Тип імерсивного ресурсу	Ознаки імерсивності та функціональної активності учнів	Роль у методичній системі
<i>Організаційно-інтеграційні імерсивні середовища</i>	Імерсивні освітні платформи; LMS з імерсивною інтеграцією.	Багатокористувацька взаємодія; управління індивідуальними та груповими навчальними траєкторіями.	Реалізація комунікаційно-організаційного компонента; підтримка проєктної діяльності.
<i>Інформаційно-візуалізаційні імерсивні ресурси</i>	Електронні посібники з 360°-навчальними матеріалами, панорамні тури, VR-відео, інтерактивні енциклопедії.	Візуалізація навчального матеріалу; переважно пасивна імерсія; розширення сприйняття.	Реалізація змістового компонента; актуалізація навчального матеріалу; підвищення наочності та навчальної мотивації.
<i>Дослідницько-симуляційні імерсивні середовища</i>	Віртуальні світи, симулятори, віртуальні та доповнені лабораторії.	Активна взаємодія; автономність учня; моделювання навчальних і професійних ситуацій.	Реалізація дослідницького підходу; формування практичних умінь у межах технологічного компонента.
<i>Операційно-практичні імерсивні інструменти</i>	ПЗ для AR/VR, мобільні AR-застосунки, тренажери, 3D-	Виконання операційних дій; експериментування; конструювання.	Формування практичних умінь; реалізація практико-орієнтованого

Група цифрових ресурсів	Тип імерсивного ресурсу	Ознаки імерсивності та функціональної активності учнів	Роль у методичній системі
	практикуми.		навчання.
<i>Мультисенсорні імерсивні засоби взаємодії</i>	Смартдошки, інтерактивні столи, MERGE Cube, AR-окуляри, тактильні інтерфейси.	Сенсорно-моторна взаємодія; залучення різних каналів сприйняття.	Активізація пізнавальної діяльності; підтримка інклюзивного навчання.
<i>Адаптивно-оцінювальні імерсивні системи</i>	Імерсивні тестові системи, трекери прогресу, адаптивні системи автоматизованого оцінювання.	Персоналізований зворотний зв'язок; адаптація складності; рефлексія результатів.	Реалізація оцінювально-результативного компонента; розвиток самоконтролю.

Класифікація за педагогічним потенціалом відображає дидактичні можливості ІОР, а їхня функціональна систематизація визначає способи реалізації цих можливостей у процесі навчання. Поєднання зазначених підходів забезпечує перехід від опису ресурсів до їх практичного використання. Запропонована функціональна систематизація дозволяє визначити роль ІОР у реалізації компонентів методичної системи навчання та обґрунтувати їх використання відповідно до цілей, змісту й організації навчальної діяльності учнів.

Добір ІОР для використання в освітньому процесі академічного ліцею здійснюється на основі системи критеріїв та показників оцінювання, які дають змогу визначити їхню відповідність навчальним цілям, змісту навчання, особливостям навчальної діяльності учнів та умовами організації освітнього процесу в академічному ліцеї. З урахуванням загальних підходів до добору цифрових технологій [374; 464; 573] і специфіки імерсивного середовища навчання розроблено систему критеріїв добору ІОР та показників їхнього оцінювання (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Система критеріїв та показників добору імерсивних освітніх ресурсів

Критерій	Показник
Цільово-дидактичні	відповідність навчальним цілям та очікуваним результатам;
	відповідність етапу уроку та логіці організації навчальної діяльності;
	наукова коректність і відповідність освітнім стандартам;
	узгодженість із видами навчальної діяльності;
	можливість моделювання складних або недоступних для безпосереднього спостереження процесів.
Когнітивно-діяльнісні	забезпечення активної взаємодії учня з об'єктами імерсивного середовища;
	можливість самостійного дослідження та експериментування в умовах варіативності результатів;
	регулювання рівня складності та когнітивного навантаження відповідно до рівня підготовки учнів;
	підтримка аналізу, узагальнення та рефлексії результатів діяльності.
Психолого-мотиваційні	досягнення педагогічно доцільного ефекту занурення (баланс когнітивних, емоційних і візуальних компонентів);
	сприяння внутрішній навчальній мотивації через інтерактивність і варіативність досвіду;
	відповідність віковим і когнітивним особливостям учнів;
	підтримка автономності учня та формування позитивного досвіду навчальної взаємодії.
Технологічно-імерсивні	тип імерсивної технології та рівень імерсивності з урахуванням дидактичної доцільності;
	ступінь ефекту присутності (залучення учня до середовища) та його відповідність навчальним цілям;

Критерій	Показник
	ризик когнітивного та сенсорного перевантаження і можливість його регулювання;
	відповідність технічним можливостям закладу освіти;
	зручність і стабільність використання;
	доступність інтерфейсу, зокрема для учнів з ООП;
	можливість організації синхронної та асинхронної взаємодії.
Організаційно-методичні	доцільність і тривалість використання в межах уроку;
	інтегрованість у навчальну програму та структуру уроку;
	підтримка індивідуальних і групових форм роботи;
	можливість фіксації та оцінювання результатів навчання;
	сумісність із цифровим освітнім середовищем закладу;
	наявність інструктивно-методичного супроводу.
Безпеково-етичні та правові	безпечність для фізичного та психоемоційного стану учнів з урахуванням тривалості занурення;
	дотримання етичних принципів використання цифрових та імерсивних технологій;
	захист персональних даних;
	відповідність принципам цифрової безпеки та академічної доброчесності.

Застосування запропонованої системи критеріїв та показників передбачає реалізацію процедури педагогічно обґрунтованого добору імерсивних освітніх ресурсів для навчання природничо-математичних предметів в академічному ліцеї. Процедура спрямована на узгодження дидактичних можливостей імерсивних технологій із цілями навчання, змістом навчального матеріалу, особливостями навчальної діяльності учнів та умовами функціонування цифрового освітнього середовища закладу освіти (рис. 3.5).

На першому етапі здійснюється аналіз педагогічних умов використання ІОР. Учитель визначає навчальні цілі та очікувані результати навчання, аналізує зміст

теми, встановлює характер навчального матеріалу (абстрактний, просторовий, динамічний, експериментальний), а також особливості навчальної діяльності учнів. Особлива увага приділяється виявленню об'єктів, процесів і явищ, засвоєння яких ускладнюється через неможливість безпосереднього спостереження, недостатню наочність або потребу в багаторазовому відтворенні навчальних ситуацій.



Рис. 3.5. Процедура педагогічно обґрунтованого добору ІОР

Другий етап передбачає визначення педагогічної мети використання ІОР. На цьому етапі встановлюється дидактична функція, яку має виконувати ресурс: візуалізація абстрактних понять, моделювання процесів і явищ, організація віртуального експерименту, підтримка дослідницької діяльності, формування просторових уявлень, підвищення навчальної мотивації або розвиток рефлексивної діяльності учнів.

На третьому етапі здійснюється попередній добір ІОР. Відповідно до визначених педагогічних цілей аналізуються можливості використання засобів доповненої, віртуальної та змішаної реальності, віртуальних лабораторій,

симуляційних середовищ, панорамних 360°-середовищ та інших імерсивних рішень. Для кожного ресурсу визначаються рівень імерсивності, характер взаємодії користувача із середовищем та потенціал щодо досягнення запланованих результатів навчання.

На четвертому етапі проводиться оцінювання дібраних ресурсів за системою критеріїв та показників, наведених у табл. 3.6. Оцінювання здійснюється за цільово-дидактичним, когнітивно-діяльнісним, психолого-мотиваційним, технологічно-імерсивним, організаційно-методичним, безпеково-етичним та правовим критеріями. Для кожного критерію аналізуються відповідні показники, що дає змогу комплексно оцінити педагогічну доцільність використання ресурсу, визначити його переваги, обмеження та відповідність конкретним умовам навчання.

П'ятий етап передбачає прийняття рішення щодо доцільності використання обраного ресурсу та проєктування його інтеграції в процес навчання. Учитель визначає форму організації навчання, методи діяльності учнів, тривалість використання ресурсу, способи фіксації результатів навчання та механізми педагогічного супроводу взаємодії учнів з імерсивним середовищем.

Завершальний етап передбачає аналіз результативності використання дібраного ресурсу та коригування прийнятих рішень. Оцінюються рівень досягнення навчальних результатів, активність учнів, особливості їхньої взаємодії з імерсивним середовищем і доцільність подальшого використання ресурсу. Результати аналізу можуть бути підставою для уточнення параметрів добору, удосконалення методики використання ресурсу або добору альтернативних імерсивних рішень для подальшого навчання.

Результати дослідження [301] засвідчують, що вибір ІОР учителями певною мірою узгоджується з поширеністю відповідних технологій у цифровому просторі (зокрема за даними Google Trends), що може розглядатися як опосередкований показник їхньої доступності та зрозумілості для педагогів. Водночас така залежність не визначає дидактичної ефективності імерсивних засобів, яка має оцінюватися на основі запропонованих критеріїв, зокрема з урахуванням

характеру навчальної діяльності, рівня інтерактивності та можливих ризиків когнітивного перевантаження.

Аналіз дослідження [265] свідчить, що засоби доповненої реальності демонструють високий потенціал щодо підвищення мотивації та результативності навчання за умови їх методично доцільного використання. Це зумовлено поєднанням наочності, інтерактивності та когнітивної доступності, а також можливістю їх поетапного інтегрування у структуру уроку без істотних змін в організації процесу навчання.

Практична реалізація засобів доповненої реальності в навчанні природничо-математичних предметів може здійснюватися через такі типові способи організації діяльності учнів [584]:

- інтерактивну візуалізацію абстрактних і теоретичних понять за допомогою мобільних AR-застосунків, що забезпечує деталізацію навчального змісту та підтримує пізнавальну діяльність;

- маніпулювання тривимірними об'єктами з використанням інтерактивних пристроїв (зокрема типу Merge Cube), що створює умови для дослідницької діяльності та конструювання власних моделей;

- інтеграцію імерсивних матеріалів через QR-коди в навчальних посібниках, що забезпечує оперативний доступ до розширених навчальних матеріалів та стимулює самостійну діяльність учнів;

- використання маркерних AR-технологій для демонстрації динамічних процесів і причинно-наслідкових зв'язків, що сприяє формуванню аналітичних і практичних умінь.

За результатами досліджень [304], у попередні роки в освітній практиці переважали AR- та 360°-технології, тоді як сучасні тенденції засвідчують зростання інтересу до VR-технологій, що забезпечують глибший рівень імерсивності та розширюють можливості організації рефлексивної й дослідницької діяльності учнів [332]. Водночас з позицій критеріїв технологічної доступності, організаційно-методичної доцільності та можливості реалізації індивідуальних і групових форм навчальної діяльності, визначених у межах

запропонованої методичної системи, саме технології доповненої реальності залишаються найбільш придатними для широкого використання у ЗЗСО, що зумовлено їх сумісністю з мобільними пристроями та можливістю організації колективної навчальної діяльності.

Дослідження [18] підтверджують, що віртуальне моделювання сприяє глибшому осмисленню навчального матеріалу, особливо за умови його реалізації у мобільних віртуальних середовищах [45], тоді як для ефективної організації групової та проблемно-орієнтованої діяльності учнів доцільним є використання віртуальних квест-кімнат, які створюють умови для активної взаємодії, прийняття рішень та рефлексії [226].

Попри доведену ефективність окремих імерсивних технологій, подальший розвиток методичної системи передбачає орієнтацію на комплексні імерсивні рішення – спеціалізовані платформи, віртуальні лабораторії, симуляційні середовища та багатофункціональні застосунки, що поєднують різні типи імерсивних технологій. Їхнє використання забезпечує цілісну реалізацію всіх компонентів методичної системи та сприяє комплексному розвитку предметних і ключових компетентностей учнів.

3.3.2. Платформи та застосунки імерсивного навчання. Аналіз сучасних застосунків віртуальної та доповненої реальності засвідчує, що переважна більшість із них розроблена як допоміжні цифрові інструменти, орієнтовані на підтримку традиційно організованого процесу навчання, а не як автономні імерсивні середовища навчання [313]. Такі ресурси, як правило, реалізують окремі елементи імерсивності – візуалізацію, інтерактивність, сенсорне залучення, – проте не забезпечують цілісного педагогічного занурення учня в навчальну діяльність. Водночас їхньою істотною перевагою є гнучкість дидактичного використання, що створює можливості для конструювання різних моделей навчання з інтеграцією імерсивних компонентів відповідно до поставлених навчальних цілей і технічних умов закладу освіти.

Практика використання імерсивних технологій у ЗЗСО, зокрема в академічних ліцеях, свідчить про те, що їх інтеграція можлива навіть за

обмеженого рівня матеріально-технічного забезпечення. За таких умов визначальним чинником ефективності виступає не рівень технологічної складності застосунків, а педагогічно доцільна організація індивідуальної та групової навчальної діяльності, яка забезпечує активізацію пізнавальної взаємодії учнів і динаміку процесу навчання.

Результати узагальнення наукових досліджень, присвячених впливу імерсивних технологій на навчання природничо-математичних дисциплін, підтверджують їх позитивний вплив на навчальні досягнення, глибину розуміння навчального матеріалу, мотивацію до навчання та довготривале збереження знань [54]. Водночас у працях наголошується, що цей ефект не є автоматичним і значною мірою залежить від методики педагогічного використання цифрових ресурсів, а також від їх відповідності когнітивним можливостям учнів [119]. Таким чином, імерсивні технології доцільно розглядати не як самодостатній засіб підвищення результативності навчання, а як інструмент, ефективність якого визначається умовами його дидактичної реалізації.

Окрему групу цифрових ресурсів, що можуть залучатися до імерсивного середовища навчання, становлять віртуальні класні кімнати. Хоча у вузькому технічному розумінні вони не належать до імерсивних технологій, у межах цього дослідження їх використання є доцільним як мультимедійних освітніх ресурсів із нижчим рівнем технологічного занурення (додаток Е). Такі платформи розширюють можливості організації навчальної взаємодії завдяки гнучкості, елементам персоналізації освітнього досвіду та підтримці групової комунікації, однак не формують вираженого ефекту імерсивної присутності.

Інтеграція віртуальних класних кімнат із системами підтримки навчання на основі штучного інтелекту створює передумови для автоматизованої перевірки завдань і формування адаптивного зворотного зв'язку. У цьому контексті доцільно говорити про перспективну концепцію *інтелектуальної імерсії* – навчального середовища, здатного адаптувати навчальні матеріали та рівень складності завдань до індивідуальних когнітивних потреб учня в реальному часі [145]. Водночас на сучасному етапі такі підходи перебувають переважно на

стадії експериментального або часткового впровадження й потребують подальшого педагогічного осмислення.

Таким чином, віртуальна класна кімната поступово трансформується з платформи для синхронної комунікації в інтегрований цифровий освітній простір, який за умови методично обґрунтованого використання може виконувати функції діагностики навчальних труднощів, підтримки індивідуальної освітньої траєкторії та надання цілеспрямованого зворотного зв'язку. Проте досягнення такого рівня ефективності можливе лише за умови поєднання технологічних можливостей із продуманими дидактичними сценаріями [381].

З метою систематизованого аналізу платформ і застосунків імерсивного навчання в дослідженні використано континуум імерсивності Мілграма-Кісіно [218], адаптований до потреб процесу навчання. На відміну від суто технічних інтерпретацій, запропонована адаптація орієнтована на педагогічні характеристики занурення, зокрема на характер навчальної діяльності, рівень когнітивної та емоційної залученості учнів і контекст виконання навчальних завдань. У таблиці 3.7 на основі праць [212; 323; 342] подано інтерпретацію педагогічних рівнів імерсивності, що враховує специфіку навчання природничо-математичних дисциплін.

Таблиця 3.7

Педагогічна інтерпретація рівнів імерсивності в навчальній діяльності

Рівень імерсії	Ознаки	Характер навчальної діяльності учнів
<i>Неімерсивне середовище</i>	Мінімальна візуалізація, відсутність інтерактивності.	Навчальна діяльність має переважно репродуктивний характер. Учень сприймає навчальні відомості пасивно, виконує завдання на відтворення та розпізнавання, взаємодія із середовищем навчання є мінімальною.
<i>Візуально-інформаційне занурення</i>	3D-візуалізація, обмежена інтерактивність.	Учень здійснює спостереження за моделями та візуальними об'єктами без суттєвого впливу на їхні параметри. Активізується наочно-образне та просторове мислення, однак навчальна діяльність залишається

Рівень імерсії	Ознаки	Характер навчальної діяльності учнів
		переважно споглядальною.
Інтерактивно-маніпулятивне занурення	Активна взаємодія з цифровими об'єктами, керування параметрами.	Учень безпосередньо впливає на властивості об'єктів, змінює параметри, проводить віртуальні експерименти. Формуються елементи дослідницької діяльності, уміння висувати гіпотези та перевіряти їх у змодельованому середовищі.
Сенсорне занурення	Залучення візуальних та аудіальних каналів, ефект часткової присутності.	Використання AR/VR-застосунків і спеціалізованих пристроїв забезпечує посилене сприйняття навчального матеріалу та емоційне залучення учнів. Навчання стає наочнішим, проте без відповідного дидактичного супроводу може мати фрагментарний характер.
Контекстно-діяльнісне занурення	Реалізація навчальної діяльності в імерсивному середовищі.	Учень діє як активний суб'єкт навчальної діяльності, застосовуючи знання для розв'язання практичних, проблемних або дослідницьких завдань. Навчання набуває діяльнісного та практико-орієнтованого характеру.
Символічне (нарративне) занурення	Включеність у сюжет, роль або проблемний контекст; смислова цілісність.	Навчальний матеріал подається через інтерактивні історії, кейси або рольові сценарії. Підвищується мотивація, емоційна залученість та смислова цілісність навчальної діяльності.
Психологічне занурення (ефект повної присутності)	Високий рівень когнітивної та емоційної залученості; стійка концентрація уваги.	Досягається за умов інтеграції сенсорного, діяльнісного та нарративного компонентів. Учень демонструє глибоке розуміння навчального матеріалу, високу мотивацію та залученість, що створює умови для стійкого навчального результату.

Запропонована в таблиці 3.7 систематизація відображає педагогічні рівні

залучення учня до навчальної діяльності, які визначаються характером навчальної взаємодії, рівнем когнітивної та емоційної активності й смисловим контекстом виконання навчальних завдань. Виокремлені рівні не є ієрархічно впорядкованими, а можуть поєднуватися в межах одного навчального сценарію, що дає змогу використовувати цю систематизацію як аналітичний інструмент для подальшого обґрунтування методик використання імерсивних технологій.

Для конкретизації визначених педагогічних рівнів імерсивності доцільно розглянути платформи та цифрові застосунки, які можуть використовуватися в закладах загальної середньої освіти для організації навчання в імерсивному середовищі. Порівняльний аналіз виконано на основі опрацювання наукових джерел [121; 425; 430; 442; 458; 462; 467; 487] та власного досвіду роботи з відповідними цифровими ресурсами. Детальні технічні характеристики та функціональні можливості окремих платформ подано в додатку Ж.

Результати аналізу свідчать, що більшість освітніх платформ і цифрових застосунків не забезпечують технологічної імерсії в повному обсязі, однак реалізують різні рівні педагогічного занурення, зумовлені характером навчальної взаємодії, рівнем інтерактивності діяльності учнів та контекстом виконання навчальних завдань. У зв'язку з цим такі платформи доцільно розглядати не як самостійні імерсивні середовища, а як складники імерсивного середовища, що інтегруються в межах цілісного навчального сценарію.

Платформи і застосунки, наведені в таблиці 3.8, не становлять вичерпного переліку імерсивних освітніх ресурсів, а ілюструють реалізацію різних педагогічних рівнів імерсивності, визначених у таблиці 3.7. Їх аналіз засвідчує, що рівнева класифікація імерсивних технологій може бути використана як методологічна основа для системного добору цифрових ресурсів у межах методичної системи. Важливо зазначити, що запропонований добір має відкритий характер і може бути розширений та уточнений у подальших дослідженнях і практиці використання імерсивних технологій, зокрема з урахуванням появи нових цифрових інструментів.

Таблиця 3.8

**Платформи і застосунки як приклади реалізації
педагогічних рівнів імерсивності**

Платформа	Тип технології	Предмет	Педагогічна характеристика
<i>Візуально-інформаційне занурення</i>			
<i>Google Arts & Culture</i>	3D, 360 ⁰ -відео, інтерактивні тури	географія, історія, мистецтво	Просторова візуалізація об'єктів, формування цілісних уявлень без активної маніпуляції.
<i>National Geographic Education</i>	360°, мультимедіа	географія, біологія	Візуалізація природних процесів, підтримка пізнавального інтересу.
<i>Stellarium Web</i>	3D-моделювання	астрономія	Просторове моделювання небесних тіл, формування астрономічних уявлень.
<i>NASA Eyes on the Solar System</i>	віртуальні подорожі, 3D	астрономія	Дослідження астрономічних об'єктів у динамічному просторі з опорою на наукові дані.
<i>Google Earth</i> <i>Google Earth AR</i>	3D-візуалізація, інтерактивність	географія, екологія	Просторова візуалізація географічних об'єктів; за певних умов можливий перехід до інтерактивного рівня.
<i>Mozaweb</i>	AR/VR	міжпредметна	Пояснювально-ілюстративне подання навчального матеріалу з елементами інтерактивності.
<i>Інтерактивно-маніпулятивне занурення</i>			
<i>PhET Interactive Simulations</i>	інтерактивні симуляції	фізика, хімія, біологія	Зміна параметрів моделей, перевірка гіпотез, формування дослідницьких умінь.
<i>Go-Labz</i>	інтерактивні лабораторії	фізика, хімія	Виконання дослідницьких завдань у змодельованому середовищі.
<i>Molecular Workbench</i>	симуляції	хімія, біологія	Моделювання молекулярних процесів, експериментування з параметрами моделей.
<i>GeoGebra 3D</i>	3D-інтерактивне середовище	математика	Дослідження математичних об'єктів у динамічному просторі, формування просторового мислення.
<i>Desmos 3D</i>	3D-інтерактивні	математика	Візуалізація та аналіз функцій, формування функціонального

Платформа	Тип технології	Предмет	Педагогічна характеристика
	графіки		мислення.
<i>Mathigon</i>	інтерактивний підручник	математика	Дослідницьке навчання з активною участю учня.
Сенсорне занурення			
<i>ClassVR</i>	VR, спеціалізовані окуляри	природничі науки, STEM	Забезпечення сенсорного ефекту присутності у віртуальному середовищі, підсилення емоційного сприйняття навчального матеріалу.
<i>Merge EDU Platform</i>	AR	природничі науки	Поєднання реального та цифрового середовищ, сенсорне підсилення сприйняття.
Контекстно-діяльнісне занурення			
<i>Labster</i>	VR, вебплатформа	фізика, хімія, біологія	Виконання віртуальних експериментів у наближених до реальності умовах.
<i>PraxiLabs</i>	3D-симуляції	фізика, хімія, біологія	Практико-орієнтовані лабораторні сценарії із поетапним виконанням дослідницьких дій.
<i>OLabs</i>	віртуальна лабораторія	фізика, хімія, біологія	Реалізація лабораторних робіт у навчальному контексті.
<i>Explore Learning Gizmos</i>	інтерактивні симуляції	природничі науки	Моделювання експериментів і процесів з акцентом на застосування у навчальних ситуаціях.
<i>Prisms VR</i>	VR-сценарії	математика	Розв'язання навчальних задач у змодельованих реальних ситуаціях, інтеграція математичних знань у практичну діяльність.
Символічне (нарративне) занурення			
<i>CoSpaces Edu</i>	VR/AR, веб/мобільні застосунки	міжпредметна	Створення власних навчальних сцен, проєктів і сюжетів, поєднання навчального змісту з елементами цифрового сторітелінгу.
<i>Assemblr</i>	AR, 3D	міжпредметна	Візуалізація навчального матеріалу через нарративні сценарії та історії.
<i>ThingLink</i>	інтерактивність /AR	міжпредметна	Побудова контекстних навчальних сцен з інтерактивними елементами.

Платформа	Тип технології	Предмет	Педагогічна характеристика
<i>Inspirit VR</i>	VR-нарлативи	природничі науки	Поєднання навчального матеріалу у форматі віртуальних історій та сценаріїв.
<i>Veative</i>	VR	міжпредметна	Сюжетно орієнтоване віртуальне середовище, у якому навчальний зміст інтегрується в наративні сценарії.
Психологічне занурення			
<i>CERN Science Gateway VR</i>	VR	фізика	Ефект присутності, емоційно-когнітивне залучення.
<i>ENGAGE XR</i>	VR-платформа	міжпредметна	Соціально-комунікативне та психологічне занурення у спільні навчальні дії та дискусії у віртуальному просторі.
<i>Axon Park з III</i>	VR, III	біологія	Психологічне занурення через активну взаємодію та персоналізований досвід.

Проведений аналіз засвідчує, що платформи візуально-інформаційного рівня забезпечують формування цілісних уявлень про об'єкти та процеси, однак за умови включення інтерактивних завдань можуть переходити до інтерактивно-маніпулятивного рівня. Водночас інтерактивні симулятори та віртуальні лабораторії створюють передумови для контекстно-діяльнісного занурення, у межах якого навчальна діяльність набуває ознак експериментальної та дослідницької.

Окрему групу становлять платформи, що забезпечують символічне (наративне) занурення, у яких ключову роль відіграють сюжетність, сценарна організація навчальних ситуацій та контекстуалізація навчального змісту. Їхнє використання сприяє підвищенню мотиваційної залученості учнів і створює умови для сенсового осмислення навчального досвіду. Водночас психологічне занурення доцільно розглядати як інтегральний результат поєднання сенсорного, діяльнісного та наративного компонентів, що забезпечують високий рівень когнітивної й емоційної залученості учнів.

Отримані результати свідчать, що одна й та сама цифрова платформа може

реалізовувати різні рівні імерсивності залежно від способу її педагогічного використання, організації навчальної діяльності та характеру навчальних завдань.

Водночас проведений аналіз свідчить, що використання імерсивних технологій не є самодостатнім чинником підвищення ефективності навчання [64; 367; 369]. Їх дидактичний потенціал реалізується лише за умови цілеспрямованої організації навчальної діяльності, тоді як за відсутності такої організації вони можуть обмежуватися ілюстративною або допоміжною функцією.

3.3.3. Педагогічні технології реалізації імерсивного навчання природничо-математичних предметів. Наявність імерсивних освітніх ресурсів і цифрових платформ сама по собі не забезпечує досягнення очікуваних результатів навчання. Визначальним чинником ефективності їх використання є педагогічні технології, які регламентують способи, прийоми та логіку інтеграції імерсивних ресурсів у процес навчання природничо-математичних предметів. Саме педагогічні технології забезпечують дидактично обґрунтоване поєднання змісту навчання, форм діяльності учнів та рівнів імерсивної взаємодії.

У сучасних наукових дослідженнях поняття «педагогічна технологія» трактується варіативно, що зумовлено різними підходами до осмислення освітньої діяльності, зокрема щодо визначення цілей, структури, критеріїв ефективності та очікуваних результатів навчання [409]. У межах дослідження педагогічна технологія розглядається як інтегративна сукупність методів, дій і процедур, спрямованих на організацію активної пізнавальної діяльності учнів в імерсивному середовищі, що забезпечує досягнення цілей навчання природничо-математичних предметів з урахуванням предметної специфіки, вікових особливостей учнів та рівнів імерсії [482].

Педагогічна технологія імерсивного навчання може бути охарактеризована такими узагальненими ознаками:

– створення умов для глибокого занурення учнів у навчальні ситуації на основі моделювання та симуляції об'єктів і процесів природничо-математичного змісту;

- забезпечення інтерактивної взаємодії з навчальними об'єктами, що сприяє активізації пізнавальної діяльності та усвідомленому засвоєнню матеріалу;
- персоналізація навчання шляхом адаптації змісту, темпу та рівня підтримки;
- практична спрямованість, орієнтована на формування предметних і міжпредметних компетентностей;
- мультисенсорність як чинник підвищення ефекту присутності та залученості;
- інтеграція елементів ігрової діяльності для підвищення мотивації та навчальної активності учнів.

Розширену характеристику ознак та етапів розвитку педагогічної технології імерсивного навчання подано в додатку А.

Ефективність педагогічної технології імерсивного навчання визначається її відповідністю таким методологічним критеріям [373]:

- *концептуальність*, що передбачає узгодженість використання імерсивних технологій із цілями та змістом навчання, а також їх відповідність загальній науковій концепції освітнього процесу;
- *системність*, яка забезпечує взаємозв'язок цілей, змісту, методів, форм організації та засобів навчання в межах цілісної методичної системи;
- *керованість*, що виявляється у можливості цілеспрямованого педагогічного впливу, моніторингу навчальної діяльності учнів, коригування освітнього процесу та використання аналітичних інструментів для оцінювання результатів;
- *ефективність*, яка проявляється у досягненні запланованих результатів навчання, підвищенні мотивації, розвитку практичних умінь, забезпеченні персоналізації навчання та оптимізації витрат часу й ресурсів.

Відповідно до розглянутих у п. 2.3.1 моделей імерсивних середовищ навчання, педагогічні технології визначаються характером пізнавальної діяльності учнів та типом навчальної взаємодії в імерсивному середовищі. Це дозволяє встановити таку відповідність:

- для когнітивно-афективної моделі доцільним є використання проєктних технологій та технологій розвитку критичного мислення;
- для дослідницької моделі – технологій проблемного навчання та навчання через дослідження;
- для імерсивної моделі навчання на основі еволюційних алгоритмів – технологій розвивального навчання. Ця ж педагогічна технологія може бути покладена в основу моделі потокового стану;
- для моделі ігрового навчання – ігрових педагогічних технологій.

Спільними для всіх моделей є технології інтерактивного та особистісно орієнтованого навчання, які забезпечують організацію суб'єкт-суб'єктної взаємодії, підтримку індивідуального темпу навчання та активізацію пізнавальної діяльності учнів. В умовах імерсивного середовища такі технології набувають специфічних ознак. Зокрема, вони реалізуються через інтерактивну взаємодію з цифровими об'єктами, адаптивні сценарії навчання та організацію спільної діяльності у віртуальному або доповненому просторі. Це сприяє підвищенню мотивації до навчання та досягненню успіху [438].

Педагогічні технології інтерактивного навчання в імерсивному середовищі забезпечують активну взаємодію учнів із навчальними матеріалами і між собою, сприяють розвитку комунікативних умінь, рефлексії та навичок співпраці, а також підвищують рівень залученості до навчальної діяльності [428; 559]. Водночас технології особистісно орієнтованого навчання дозволяють враховувати індивідуальні особливості учнів, їхній навчальний досвід, темп засвоєння матеріалу та рівень підготовки, що є особливо важливим для учнів академічного ліцею, які на момент вступу до ліцею характеризуються неоднорідністю навчальних досягнень.

Таким чином, у межах методичної системи імерсивні технології доцільно розглядати як дидактичний інструмент, що створює потенціал для організації різних рівнів педагогічного занурення. Реалізація цього потенціалу визначається не лише вибором цифрових засобів, а й педагогічними технологіями, які забезпечують цілеспрямовану організацію навчальної діяльності, інтеграцію форм

і методів навчання та ефективну комунікаційну взаємодію учасників освітнього процесу. Використання імерсивних технологій сприяє активізації пізнавальної діяльності учнів, розвитку їхньої самостійності, формуванню індивідуальних освітніх траєкторій та організації комунікативної взаємодії на основі співпраці та рефлексії [422].

3.4. Форми організації та методи методичної системи використання імерсивних технологій навчання

Використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів зумовлює варіативність форм і методів організації навчальної діяльності, що проявляється у розширенні способів взаємодії учнів із навчальним матеріалом через моделювання, симуляцію та віртуальне відтворення об'єктів і процесів [97]. Це забезпечує перехід до діяльнісно орієнтованих форм навчання та створює умови для набуття учнями досвіду, наближеного до реальних пізнавальних ситуацій.

Організація навчання в академічних ліцях визначається освітнім профілем і модельними програмами, що передбачають реалізацію змісту як у межах окремих предметів, так і інтегрованих курсів [565]. У цих умовах вибір форм організації навчання та методів їх реалізації залежить від цілей, змісту навчання, очікуваних результатів і дидактичних можливостей імерсивного середовища.

Базовою формою організації навчання залишається урок, який за умов використання імерсивних технологій набуває варіативної структури через поєднання фронтальної, групової та індивідуальної роботи й інтеграцію різних типів імерсивної взаємодії [423]. Це дозволяє забезпечити узгодженість цілісності процесу навчання з урахуванням індивідуальних освітніх траєкторій учнів.

3.4.1. Форми організації навчання в імерсивному середовищі. Використання імерсивних освітніх ресурсів, охарактеризованих у п. 3.3, зумовлює доцільність систематизації форм організації навчання в академічному ліцеї з урахуванням специфіки взаємодії учнів із віртуальним та доповненим середовищами. У межах дослідження форми організації навчання визначено як спосіб педагогічного впорядкування навчальної діяльності учнів в імерсивному

середовищі, що забезпечує досягнення запланованих результатів навчання та реалізацію цілей методичної системи.

У межах методичної системи доцільною є трирівнева структура форми організації навчання в імерсивному середовищі, яка інтегрує комунікаційно-організаційний, технологічний і змістовий аспекти процесу навчання та забезпечує їх узгоджене функціонування. Така структура дозволяє розглядати форму організації навчання як результат поєднання типу взаємодії учнів, рівня імерсії та характеру змістового наповнення.

1. Рівень групової взаємодії:

- фронтальне занурення передбачає організацію діяльності всього класу в імерсивному середовищі (дослідження, навчальні ігри, симуляції) та є доцільним для введення нового матеріалу й узагальнення результатів навчання;

- групове занурення реалізується у формі навчально-дослідницької взаємодії малих груп учнів у VR/AR-середовищі, сформованих з урахуванням рівня підготовки та особливостей навчальної діяльності, що забезпечує взаємне навчання та командну взаємодію;

- особистісно орієнтоване занурення передбачає індивідуалізацію навчальної діяльності через адаптацію змісту, темпу й траєкторії взаємодії з імерсивним середовищем відповідно до освітніх потреб учня.

2. Рівень технологічного занурення:

- повне імерсивне занурення (VR/AR) забезпечує максимальний рівень взаємодії з віртуальним середовищем і використовується для моделювання складних об'єктів, процесів і явищ;

- змішане імерсивне навчання поєднує традиційні та імерсивні форми роботи, забезпечуючи гнучкість організації навчання та варіативність освітніх траєкторій;

- часткова імерсія (симуляція та моделювання) використовується для виконання практичних завдань, експериментів і досліджень без повного занурення в середовище.

3. Рівень змістової адаптації:

- профільно-орієнтоване навчання, що реалізує зміст відповідно до обраного освітнього профілю;
- позапрофільне імерсивне навчання, яке здійснюється через курси за вибором і STEM-проекти та спрямоване на розширення освітнього досвіду учнів;
- дослідницька діяльність, що передбачає виконання індивідуальних або групових проєктів із використанням імерсивних технологій.

Комбінація зазначених рівнів формує багатовимірну систему організації навчання, яка забезпечує гнучкість, варіативність і персоналізацію навчального процесу. При цьому конкретна форма організації навчання визначається як результат інтеграції типу взаємодії учнів, рівня технологічного занурення та змістових характеристик навчального матеріалу. Конкретні типи уроків і моделі їх організації, що відповідають різним комбінаціям зазначених рівнів, деталізовано в додатку К, що забезпечує практичну реалізацію запропонованої структури в умовах академічного ліцею.

Виокремлені форми організації навчання забезпечують: фронтальне та групове занурення – узгоджене формування базових компетентностей і розвиток комунікативної взаємодії; особистісно орієнтовані та змішані форми – підвищення навчальної мотивації, розвиток самостійності й критичного мислення; дослідницькі та STEM-орієнтовані форми – інтеграцію знань і формування дослідницьких умінь.

У межах методичної системи трансформація традиційних форм уроку реалізується через цілеспрямоване поєднання фронтальної, групової та індивідуальної діяльності учнів у структурі імерсивного навчання. Така організація забезпечує послідовне залучення учнів до різних типів навчальної взаємодії з урахуванням їхніх індивідуальних освітніх траєкторій і рівня сформованості компетентностей, що підвищує ефективність як колективної, так і індивідуальної навчальної діяльності.

3.4.2. Інтерактивність та методи навчання в імерсивному середовищі.

В імерсивному середовищі навчання природничо-математичних предметів

інтерактивність виступає системоутворювальною характеристикою, що визначає специфіку навчальної діяльності учнів і зумовлює трансформацію методів навчання. На відміну від традиційного та мультимедійного навчання, імерсивні технології забезпечують безпосередню взаємодію учня з динамічними моделями об'єктів і процесів, що підсилює залучення, варіативність дій і оперативність зворотного зв'язку [101]. У додатку Е розглянуто порівняння мультимедійного та імерсивного середовищ навчання з різними ступенями імерсивності, а також наведено матрицю інтерактивності в імерсивному середовищі відповідно до форм занурення (додаток Л).

У межах дослідження інтерактивність розглядається як багатовимірне явище, що інтегрує технологічні, дидактичні та особистісні аспекти навчання. Це дозволило виокремити такі типи інтерактивності [399; 449; 549]:

- *технічна інтерактивність* полягає у можливості використання імерсивних інструментів для проведення експериментів, конструювання моделей задач та їх дослідження. Використання генеративного штучного інтелекту надає учням можливість отримувати рекомендації або відповіді на запитання під час дослідницької діяльності;

- *соціальна інтерактивність* реалізується через організацію проєктної діяльності, навчальних тренінгів, ігрових змагань у симуляціях, що надають учням можливість взаємодіяти в різноманітних ролях;

- *навчальна інтерактивність* полягає в організації симуляцій різноманітних досліджень, у можливості проводити моделювання різних явищ та процесів, створювати та досліджувати індивідуальні експерименти;

- *емоційна інтерактивність* сприяє залученню учнів у процес навчання на емоційному рівні, розвитку емоційного інтелекту та індивідуалізації навчання;

- *тактильна інтерактивність* реалізується через сенсорні засоби імерсивних технологій, що надають можливість взаємодіяти з навчальними об'єктами через тактильні відчуття.

Запропонована типологія конкретизує механізми взаємодії учня з імерсивним середовищем і слугує підґрунтям для добору методів навчання.

Ступінь реалізації інтерактивності в імерсивному середовищі визначається сукупністю взаємопов'язаних чинників, які в дослідженні систематизовано за п'ятьма групами:

1) *характеристики імерсивного середовища*: рівень реалістичності та функціональності середовища, що забезпечує можливість активної взаємодії учня з навчальними об'єктами; доступність і стабільність імерсивних засобів та інструментів; зручність і зрозумілість програмного забезпечення, що мінімізує бар'єри входження в імерсивне навчання;

2) *індивідуальні особливості учнів*: рівень сформованості пізнавальних інтересів і мотивації до навчання; індивідуальні особливості сприйняття та опрацювання навчальних відомостей; рівень цифрової компетентності, що визначає ефективність взаємодії з імерсивним середовищем;

3) *рівень залученості учнів*: інтенсивність і характер взаємодії з навчальним середовищем; ступінь автономності у прийнятті рішень і виконанні навчальних завдань; емоційна включеність у процес навчання;

4) *готовність педагога до організації імерсивного навчання*: рівень сформованості цифрової та імерсивної компетентностей; здатність проєктувати навчальну діяльність із використанням імерсивних технологій; уміння організовувати взаємодію, забезпечувати підтримку та зворотний зв'язок;

5) *педагогічний дизайн імерсивного навчання*: чіткість визначення цілей навчання та логіки їх досягнення; відповідність змісту навчальних завдань рівню підготовки учнів; організація системного оцінювання та рефлексії результатів навчання.

Системне поєднання цих чинників забезпечує досягнення високого рівня інтерактивності, що сприяє розвитку критичного мислення, дослідницьких умінь і навчальної мотивації учнів. У цьому контексті інтерактивність виступає визначальним чинником трансформації методів навчання. У межах методичної системи методи навчання розглядаються як універсальні дидактичні способи організації діяльності, які в імерсивному середовищі набувають специфічних механізмів реалізації, зумовлених ефектом занурення, сенсорною взаємодією та

можливістю моделювання навчальних ситуацій.

Методи навчання в імерсивному середовищі ґрунтуються на створенні дидактичних умов, що забезпечують глибоке занурення учнів у навчальну ситуацію, інтерактивну взаємодію з навчальними матеріалами і можливість швидкого зворотного зв'язку. Саме поєднання сенсорної залученості, контекстності навчальних завдань і активної діяльності учнів може зумовлювати підвищення навчальної мотивації та інтенсифікацію пізнавальної діяльності.

У межах класичної класифікації методів навчання імерсивні методи можуть бути віднесені передусім до методів стимулювання та мотивації навчально-пізнавальної діяльності, оскільки вони створюють ситуації значущості навчального завдання, емоційної включеності та внутрішньої зацікавленості учня в результаті діяльності. Водночас в імерсивному середовищі ці методи виходять за межі виключно мотиваційної функції, поєднуючи в собі пізнавальний, операційно-діяльнісний і рефлексивний компоненти, що свідчить про їхній інтегративний дидактичний потенціал [383].

Імерсивні методи навчання сприяють забезпеченню:

- занурення в навчальні ситуації, наближені до реальних або професійно орієнтованих;
- багатоканального сприйняття навчального матеріалу;
- інтерактивної взаємодії та можливості безпечного експериментування;
- практичної спрямованості й дослідницького характеру навчання;
- емоційної залученості як чинника внутрішньої мотивації.

У методичній системі імерсивні методи сприяють підвищенню навчальної мотивації та залученості учнів. У цьому контексті мотивація розглядається як внутрішній регулятор активності, що забезпечує усвідомлення значущості навчальної проблеми, готовність до її розв'язання та стійкий інтерес до навчання [324]. Імерсивні методи створюють умови для глибшого розуміння абстрактних понять завдяки візуалізації й інтерактивності, а також формують вміння аналізувати навчальні ситуації та робити обґрунтовані висновки на основі експериментальних досліджень.

З огляду на зазначені дидактичні можливості, виникає необхідність уточнення сутності та особливостей реалізації методів навчання в умовах імерсивного середовища. До методів, ефективність яких посилюється в імерсивному середовищі, належать:

- методи організації навчальної діяльності (експериментальне, проблемно-орієнтоване, проєктне навчання, симуляції), що забезпечують багаторазове відтворення експериментів, варіювання умов і безпечне дослідження складних процесів;

- ігрові методи, інтегровані у VR/AR-середовище, що сприяють формуванню стійкої пізнавальної активності та подоланню навчальних втрат;

- методи дискусії та дебатів, реалізовані у віртуальних кімнатах або імерсивних комунікативних просторах, які сприяють розвитку критичного мислення, мовно-комунікативних і соціальних компетентностей;

- методи практичної діяльності, що забезпечують застосування знань у змодельованих умовах і можливість маніпулювання тривимірними об'єктами;

- методи командної роботи, реалізовані в багатокористувацьких середовищах і спрямовані на розвиток співпраці та відповідальності.

Таким чином, інтерактивність у поєднанні з відповідними формами й методами навчання зумовлює системність як інтегральну умову ефективності використання імерсивних технологій, що проявляється в узгодженості технологічних, дидактичних і особистісних чинників. Рівень інтерактивності є динамічним і змінюється під впливом як зовнішніх (технологічних), так і внутрішніх (мотиваційних, когнітивних) чинників, що потребує адаптивності та гнучкості методичної системи. Забезпечення високого рівня інтерактивності сприяє не лише підвищенню ефективності навчання, а й формуванню ключових компетентностей учнів, необхідних для подальшої наукової та професійної діяльності.

З урахуванням зазначеного, у дослідженні систематизовано методи навчання за домінантними педагогічними функціями, які вони виконують в імерсивному середовищі (відповідно до напрямів, визначених у п. 3.2.2, та

результатів дослідження [375]):

- методи формування мотиваційно-пізнавального інтересу та позитивного емоційного ставлення до навчання;
- методи розвитку відповідальності та саморегуляції навчальної діяльності;
- методи компенсації навчальних втрат та подолання прогалин у знаннях;
- методи стимулювання творчості та самовираження учнів;
- методи розвитку співпраці та комунікативних умінь;
- методи розвитку емпатії, соціального та емоційного інтелекту;
- методи оцінювання та зворотного зв'язку в імерсивному середовищі.

Адаптацію зазначених методів до умов імерсивного середовища, особливості їх реалізації та очікувані результати подано в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Авторська система категорій методів використання імерсивних технологій у методичній системі та способів їх реалізації

Методи формування мотиваційно-пізнавального інтересу та позитивного емоційного ставлення до навчання	
Імерсивно-ігровий метод навчання.	Реалізується через включення ігрових елементів (рівні складності, сценарії досягнення результату, зворотний зв'язок, рейтинги) у VR/AR-симуляції, квести та середовище навчання, що забезпечує внутрішню мотивацію та емоційну залученість учнів.
Наративно-імерсивний метод навчання.	Передбачає подання навчального матеріалу у формі інтерактивних сюжетів у VR/AR-середовищі, де учень діє як активний суб'єкт подій, приймає рішення та спостерігає наслідки власних дій.
Метод імерсивного занурення у навчальний контекст.	Реалізується через віртуальні екскурсії, реконструкції середовищ, процесів або явищ, що створюють ефект присутності та забезпечують емоційно насичене сприйняття навчального матеріалу.
Методи розвитку відповідальності та саморегуляції навчальної діяльності	
Метод цілеспрямованого вибору імерсивних навчальних завдань.	Передбачає надання учням можливості обирати тип, рівень складності та формат імерсивних завдань, що сприяє формуванню відповідальності за власну навчальну діяльність та її результати.

Метод персоналізованого імерсивного проєктування.	Реалізується через індивідуальні або групові проєкти зі створення AR-об'єктів, моделей або сценаріїв, у межах яких учень планує діяльність, контролює її виконання та оцінює досягнутий результат.
Рефлексивно-імерсивний метод навчання.	Полягає в організації систематичної рефлексії після імерсивного досвіду з використанням цифрових щоденників, візуалізації емоцій та аналізу прийнятих рішень.
Методи компенсації навчальних втрат та подолання прогалин у знаннях	
Метод адаптивного імерсивного навчання.	Реалізується через VR/AR-системи, які автоматично змінюють складність завдань, темп навчання та характер зворотного зв'язку відповідно до індивідуальних освітніх потреб учнів.
Метод багаторазового імерсивного відпрацювання навчальних дій.	Передбачає використання симуляцій для неодноразового виконання експериментів, процедур або розв'язування задач у безпечному віртуальному середовищі.
Імерсивний метод навчання через помилки.	Реалізується шляхом створення ситуацій, у яких учні можуть експериментувати, допускати помилки та отримувати миттєвий зворотний зв'язок щодо причин і наслідків власних дій.
Методи стимулювання творчості та самовираження учнів	
Імерсивно-творчий метод навчання.	Передбачає створення учнями власних AR-моделей, віртуальних середовищ, об'єктів або інтерактивних сценаріїв, що сприяє розвитку творчого мислення та уяви.
Метод просторової візуалізації навчального змісту.	Реалізується через використання імерсивних інструментів для тривимірної візуалізації абстрактних понять, даних і процесів природничо-математичного циклу.
Методи розвитку співпраці та комунікаційних умінь	
Метод імерсивної командної взаємодії.	Реалізується через групову діяльність у багатокористувацьких VR/AR-середовищах, де учні спільно розв'язують навчальні завдання, координують дії та приймають колективні рішення.
Метод віртуальних дискусій та дебатів.	Передбачає організацію навчальних обговорень у віртуальних кімнатах із використанням візуальних матеріалів та ефекту присутності.

Метод взаємного імерсивного рецензування.	Полягає в оцінюванні результатів діяльності інших учнів в імерсивному середовищі з аргументацією власної позиції та аналізом отриманих зауважень.
Методи розвитку емпатії, соціального та емоційного інтелекту	
Імерсивний метод зміни перспективи.	Реалізується через VR-сценарії, що надають учням можливість пережити досвід інших суб'єктів та усвідомити різні соціальні ролі й точки зору.
Кейс-метод з емоційно-соціальним контекстом.	Передбачає аналіз складних соціальних ситуацій у VR із подальшим обговоренням дій, емоцій та наслідків прийнятих рішень.
Метод імерсивного соціального моделювання.	Реалізується через взаємодію з віртуальними персонажами, які демонструють емоційні реакції та соціальну поведінку.
Методи організації оцінювання та зворотного зв'язку	
Метод імерсивного оцінювання діяльності.	Передбачає оцінювання процесу та результатів діяльності учнів у симуляціях з урахуванням прийнятих рішень, точності дій і досягнутих результатів.
Метод адаптивного імерсивного зворотного зв'язку.	Реалізується через автоматизовані підказки, пояснення та корекцію дій учня безпосередньо в процесі виконання завдань.
Рефлексивно-аналітичний метод оцінювання імерсивного досвіду.	Полягає в самооцінюванні та аналізі навчальних досягнень на основі даних імерсивної аналітики та рефлексії власного досвіду.

Для візуалізації узгодженості форм організації навчання, методів навчання та типів інтерактивності в імерсивному середовищі розглянуто методичні матриці, які слугують інструментом проєктування навчальних сценаріїв у межах методичної системи використання імерсивних технологій в академічних ліцях (додаток М). Запропоновані матриці не є класифікацією методів навчання, а ілюструють можливі варіанти їх реалізації залежно від форми організації навчання та домінуючих типів інтерактивності.

Таким чином, інтерактивність імерсивного середовища у поєднанні з відповідними методами навчання забезпечує їхню орієнтацію на активне конструювання знань, розвиток дослідницької діяльності та формування стійкої навчальної мотивації учнів. Реалізація таких методів потребує узгодженої

організаційної та комунікаційної підтримки, що забезпечує ефективну взаємодію учнів і вчителя та адаптацію процесу навчання до індивідуальних освітніх потреб.

3.5. Комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти методичної системи використання імерсивних технологій навчання

3.5.1. Комунікаційно-організаційний компонент. Використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів зумовлює якісну трансформацію організації освітнього процесу та характер педагогічної комунікації в академічних ліцеях. Поєднання реального й віртуального навчального простору розширює можливості навчальної комунікації, урізноманітнює форми взаємодії між учасниками освітнього процесу та потребує спеціально організованих механізмів координації навчальної діяльності в імерсивному середовищі.

За таких умов комунікаційно-організаційний компонент методичної системи виконує інтегративну та регулятивну функцію, забезпечуючи [378]:

- узгоджену взаємодію між учителем, учнями та імерсивним середовищем;
- організацію навчальної діяльності в умовах різних форматів занурення;
- підтримку індивідуалізації навчання відповідно до освітніх потреб, рівня підготовки та особливостей навчальної діяльності учнів.

На відміну від цільового, змістового, технологічного та оцінювально-результативного компонентів, які визначають відповідно цілі, зміст, процес навчання та його результати, комунікаційно-організаційний компонент створює організаційні умови для їх узгодженого функціонування в межах цілісного освітнього процесу. Його призначення полягає в забезпеченні ефективної навчальної взаємодії, педагогічного супроводу та індивідуалізації навчання відповідно до освітніх потреб і особливостей учнів, а також в організації педагогічно доцільного використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних предметів

У межах цього компонента здійснюється організація комунікації між учасниками освітнього процесу, координація навчальної діяльності учнів в

імерсивному середовищі, організація доступу учнів до навчальних ресурсів відповідно до їхніх освітніх потреб та особливостей навчальної діяльності, а також підтримка зворотного зв'язку. Завдяки цьому забезпечується узгоджена реалізація дидактичних завдань, технологій навчання, засобів оцінювання та форм педагогічної взаємодії, що створює організаційні передумови для цілісного функціонування методичної системи.

Реалізація комунікаційно-організаційного компонента здійснюється за трьома взаємопов'язаними напрямками:

- організація педагогічної комунікації в імерсивному середовищі;
- педагогічний супровід діяльності учнів в імерсивному середовищі;
- моніторинг та підтримка навчальної діяльності учнів в імерсивному середовищі засобами зворотного зв'язку (рис. 3.6).

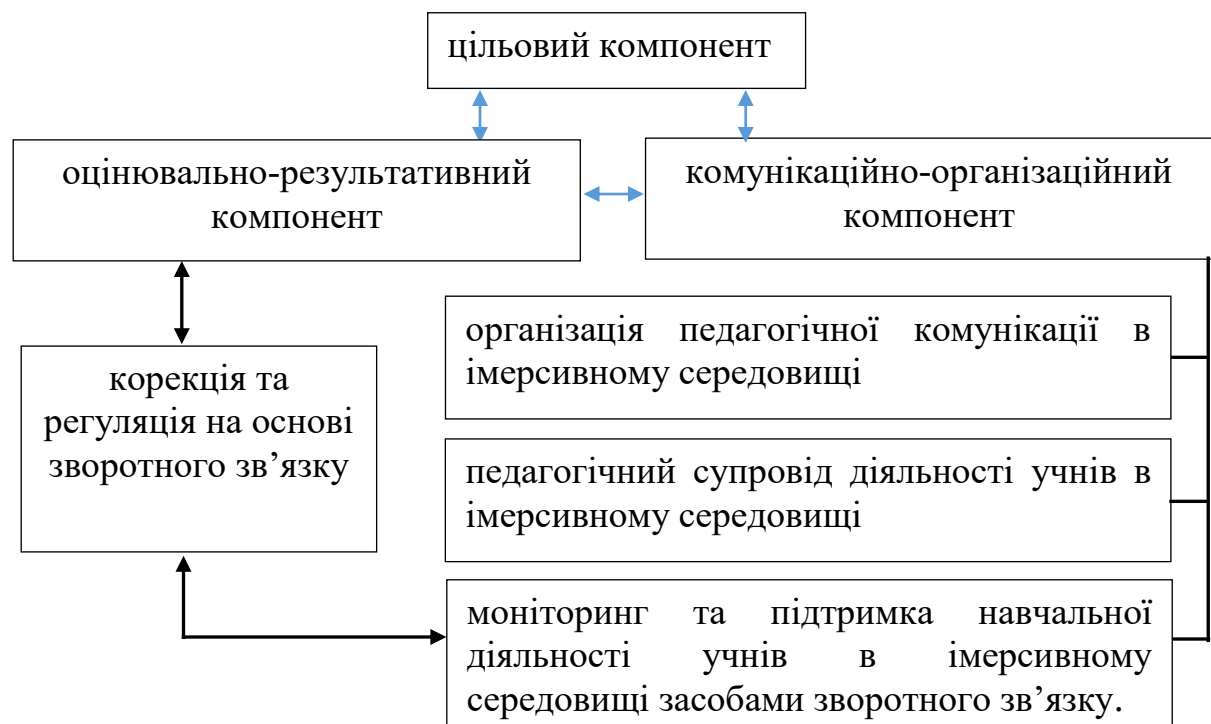


Рис. 3.6. Структура та взаємозв'язки комунікаційно-організаційного компонента методичної системи

Цільовий компонент визначає загальну спрямованість комунікаційно-організаційного компонента, задаючи орієнтири для організації педагогічної взаємодії та координації навчальної діяльності учнів відповідно до визначених освітніх цілей. Водночас результати оцінювання забезпечують зворотний зв'язок,

необхідний для коригування організаційних рішень, способів педагогічної взаємодії та управління навчальним процесом.

Розглянемо детальніше кожен із зазначених напрямів реалізації комунікаційно-організаційного компонента.

3.5.1.1. Організація педагогічної комунікації в імерсивному середовищі забезпечує узгоджену взаємодію учасників освітнього процесу та є важливою умовою реалізації методичної системи. Її призначення полягає у створенні цілеспрямованої, структурованої та керованої взаємодії між учасниками процесу навчання, що забезпечує досягнення навчальних цілей, активізацію пізнавальної діяльності учнів і підтримку їхньої суб'єктної позиції в навчанні [571]. Порівняно з навчальними моделями, у яких педагогічна комунікація реалізується переважно через мовні та текстово-візуальні канали взаємодії, імерсивне середовище зумовлює якісну трансформацію педагогічної взаємодії, доповнюючи її просторово-діяльнісним і об'єктно-маніпулятивним вимірами.

У межах імерсивного середовища педагогічна комунікація набуває опосередкованого характеру, оскільки значна частина взаємодії між учасниками освітнього процесу реалізується через цифрові засоби імерсивного середовища. Вони не лише забезпечують представлення навчального змісту, а й створюють умови для навчальної взаємодії, надають учасникам освітнього процесу оперативний зворотний зв'язок щодо результатів виконання завдань та підтримують різні сценарії організації навчальної діяльності. Таким чином, комунікація в імерсивному середовищі виходить за межі вербального обміну та реалізується через спільну діяльність із віртуальними об'єктами, моделями й процесами, що є особливо важливим для вивчення природничо-математичних дисциплін.

Особливістю педагогічної комунікації в імерсивному середовищі є те, що навчальна взаємодія відбувається не лише навколо навчального матеріалу, а й у процесі безпосередньої взаємодії з його візуалізованими моделями, процесами та симуляціями. Учні не лише сприймають навчальні відомості, а й здійснюють активну взаємодію з представленими в імерсивному середовищі моделями,

процесами та об'єктами, що актуалізує механізми пізнавальної активності, саморегуляції та рефлексії. За таких умов педагог виконує функції організатора комунікаційних сценаріїв, модератора спільної діяльності та наставника, який спрямовує взаємодію учнів із середовищем відповідно до навчальних цілей.

Організація педагогічної комунікації в імерсивному середовищі передбачає поєднання індивідуальних, групових і колективних форм взаємодії, що реалізуються в межах імерсивних навчальних сценаріїв. Комунікація розгортається через виконання спільних дослідницьких і проблемно-орієнтованих завдань, маніпуляцію віртуальними моделями, обговорення результатів діяльності та рефлексію навчального досвіду. Саме така організація комунікації забезпечує інтеграцію когнітивного, діяльнісного та метакогнітивного компонентів навчання, що є методично значущим для формування предметних і метапредметних компетентностей учнів [478].

Структуру організації педагогічної комунікації в імерсивному середовищі подано на рис. 3.7.

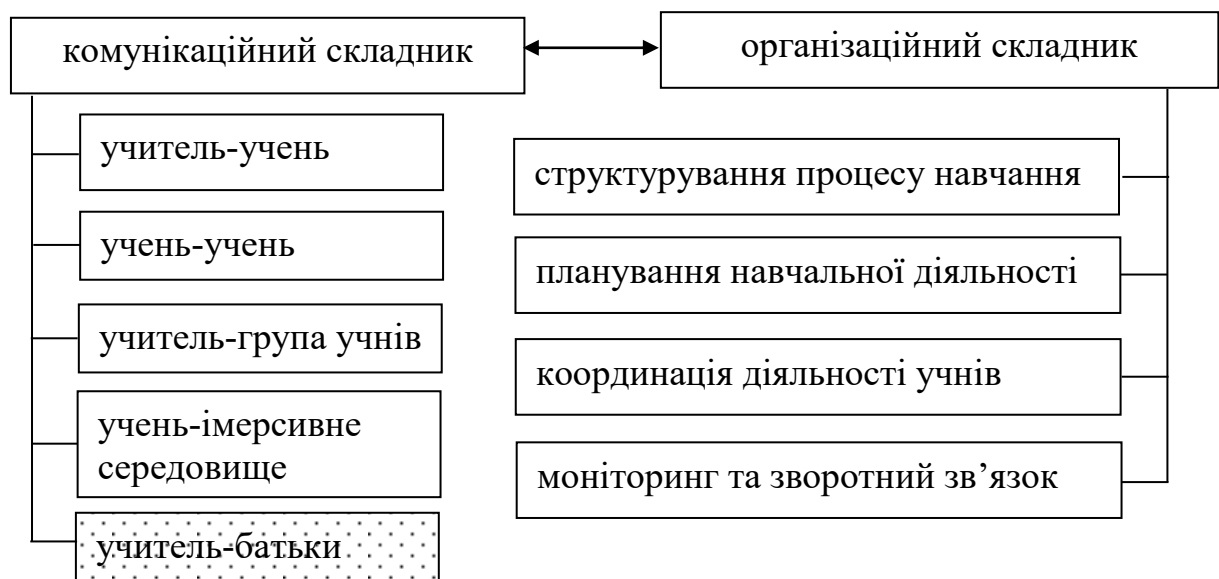


Рис. 3.7. Комунікаційний та організаційний складники

Комунікаційний складник репрезентує систему педагогічних взаємодій між учасниками процесу навчання, включно із взаємодією «учень – імерсивне середовище», тоді як організаційний складник забезпечує структурованість, узгодженість і цілеспрямованість цих взаємодій у межах навчальних сценаріїв.

Саме їх поєднання створює умови для ефективної організації навчальної діяльності в імерсивному середовищі.

Взаємодія «учитель – учень» трансформується з одnobічного процесу передавання навчальних відомостей у процес спільної орієнтації в навчальній ситуації. Учитель не лише пояснює навчальний матеріал, а й спрямовує діяльність учня в межах імерсивного простору, коментує результати його дій, коригує стратегії дослідження та інтерпретації результатів. Комунікація при цьому опосередковується імерсивним середовищем, яке виступає візуально-діяльнісним контекстом навчального діалогу.

Взаємодія «учень – учень» має колаборативно-діяльнісний характер і розгортається під час роботи в малих групах. Спільні маніпуляції віртуальними об'єктами, обговорення гіпотез та координація спільних дій сприяють розвитку аргументованого мислення та мовлення, умінь координації та розподілу ролей у процесі розв'язування навчальних завдань, навичок командної роботи.

Взаємодія «учитель – група учнів» спрямована на організацію колективного розв'язання проблемно-орієнтованих завдань, проведення віртуальних дебатів чи захисту дослідницьких проєктів у спільних віртуальних кімнатах, де вчитель виступає головним координатором і модератором процесу.

Взаємодія «учень – імерсивне середовище» є новим видом дидактичної взаємодії, характерним саме для імерсивного навчання. Вона реалізується через безпосередню реакцію середовища на дії учня, надання підказок, візуалізацію наслідків помилок і забезпечення негайного зворотного зв'язку. У цьому випадку імерсивне середовище виконує функцію активного комунікативного посередника, що підтримує пізнавальну діяльність та сприяє орієнтації учня в процесі виконання навчальних завдань. Це є критично важливим під час моделювання абстрактних математичних об'єктів чи проведення небезпечних хімічних симуляцій, де імерсивне середовище блокує помилкові або технологічно небезпечні дії учня, забезпечуючи попередження помилкових дій та оперативний зворотний зв'язок. Дослідження підтверджують, що в змодельованому середовищі учні реагують на автоматизовані дії технологій позитивно,

зіставляючи їх із діями вчителя [91].

Взаємодія «вчитель – батьки» має допоміжний характер і спрямована на інформування про особливості використання імерсивних технологій, умови їх безпечного застосування та організацію підтримки навчальної діяльності учнів поза межами навчальних занять.

Ефективність педагогічної комунікації в імерсивному середовищі значною мірою залежить від дотримання принципів педагогічної доцільності, регламентованості взаємодії та культури навчального спілкування. Важливим аспектом організації педагогічної комунікації в імерсивному середовищі є формування культури навчального спілкування, що передбачає дотримання етичних норм, правил взаємодії в цифровому просторі, відповідальне використання цифрових засобів і забезпечення психологічного комфорту учнів. У цьому контексті важливим є поєднання імерсивних форм комунікації з традиційними педагогічними практиками, що сприяє створенню цілісного та збалансованого освітнього середовища.

Таким чином, організація педагогічної комунікації в імерсивному середовищі забезпечує узгодженість взаємодії між учасниками освітнього процесу, підтримує активну участь учнів у навчальній діяльності та створює передумови для її подальшого організаційного супроводу.

3.5.1.2. Педагогічний супровід діяльності учнів в імерсивному середовищі в межах методичної системи виступає логічним продовженням педагогічної комунікації та забезпечує її перехід від взаємодії до цілеспрямованої спільної діяльності учасників процесу навчання. Якщо педагогічна комунікація визначає характер і напрями взаємодії в імерсивному середовищі, то організаційно-координаційний аспект забезпечує впорядкування, узгодження та керування навчальних дій учнів відповідно до поставлених навчальних цілей.

У процесі організації імерсивного навчання змінюється роль учителя, а діяльність учня набуває вищого рівня автономності, внаслідок чого координація навчальної діяльності здійснюється не лише через безпосередні педагогічні впливи, а й через внутрішню логіку навчальних сценаріїв, механізми

інтерактивного зворотного зв'язку та інструменти підтримки навчання, інтегровані в імерсивне середовище.

Першим елементом організаційного складника є *структурування процесу навчання*, яке передбачає цілеспрямоване проєктування навчальної діяльності з урахуванням дидактичного потенціалу імерсивних технологій. Завдання вчителя на цьому етапі полягає в:

- чіткому формулюванні цілей і завдань навчання, що враховують специфічні можливості імерсивного середовища, зокрема розвиток просторового мислення, візуалізацію абстрактних концепцій, організацію експериментальної та дослідницької діяльності в безпечному віртуальному просторі;

- структуруванні навчального матеріалу відповідно до методів навчання та типів взаємодії, які реалізуються в імерсивному середовищі, з гармонійним поєднанням реальних і віртуальних досліджень у межах однієї навчальної теми природничо-математичних предметів;

- розподілі функцій між учасниками процесу навчання, де в умовах підвищеної автономності учнів роль учителя трансформується в підтримувальну й координаційну, спрямовану на супровід індивідуальної навчальної діяльності;

- створенні варіативного середовища, що забезпечує індивідуалізацію та диференціацію навчання, підтримку самостійної роботи учнів і формування навичок самоконтролю.

Таким чином, структурування процесу навчання в імерсивному середовищі виконує не лише організаційну, а й регулятивну функцію, визначаючи допустимі траєкторії навчальної діяльності учнів.

Другим елементом є *планування навчальної діяльності*, яке в умовах використання імерсивних технологій розглядається як проєктування сценаріїв навчальної діяльності. Воно передбачає раціональне поєднання імерсивних технологій із традиційними формами пояснення навчального матеріалу, а також урахування потреби в індивідуалізації освітнього процесу. Індивідуалізація навчання в імерсивному середовищі реалізується через організацію варіативних способів подання навчального матеріалу, темпу виконання завдань, рівня

педагогічної підтримки та варіантів організації навчальної діяльності відповідно до освітніх потреб, можливостей і рівня підготовки учнів. Це забезпечує створення варіативного навчального середовища, у якому учні можуть здійснювати навчальну діяльність з урахуванням власних пізнавальних особливостей та індивідуальної траєкторії опрацювання навчального матеріалу.

Під час планування вчитель добирає імерсивні засоби, визначає дидактичну доцільність їх використання, розробляє інструкції та алгоритми взаємодії з імерсивним середовищем. При цьому імерсивні технології не замінюють традиційних форм навчання, а розширюють їхні можливості, забезпечуючи організацію дослідницької, проблемної та проєктної діяльності під час вивчення природничо-математичних дисциплін. Отже, планування занять у межах методичної системи виступає інструментом моделювання навчальної діяльності учнів, визначаючи послідовність, логіку та організацію їхніх дій в імерсивному середовищі.

Третім елементом організаційного складника є *координація навчальної діяльності* учнів, яка забезпечує узгодження їхніх дій у межах визначених сценаріїв навчальної діяльності. В умовах використання імерсивних технологій вона спрямована на організацію послідовності навчальних дій, регулювання темпу роботи, розподіл функцій між учасниками освітнього процесу та підтримку взаємодії під час виконання індивідуальних і групових завдань із віртуальними об'єктами, моделями та симуляціями. Реалізація координації передбачає визначення порядку виконання навчальних завдань, організацію взаємодії учасників освітнього процесу та підтримку діяльності учнів під час роботи з імерсивними об'єктами. Завдяки цьому впорядковуються спільні дії вчителя й учнів, підтримується керованість навчального процесу та створюються організаційні передумови для його оперативного регулювання [316].

Четвертим елементом є *моніторинг та зворотний зв'язок*, які забезпечують оперативне регулювання навчальної діяльності учасників освітнього процесу. У межах комунікаційно-організаційного компонента вони розглядаються не як засоби оцінювання навчальних результатів, а як механізм відстеження перебігу

навчальної діяльності учнів та своєчасного коригування їхніх дій під час взаємодії з імерсивним середовищем. Особливістю імерсивного середовища є можливість отримання даних про перебіг навчальної діяльності учнів, що забезпечує оперативний зворотний зв'язок із використанням можливостей цифрового середовища та педагогічної підтримки вчителя. Це створює умови для своєчасної консультаційної підтримки, виявлення труднощів учнів та коригування організації навчальної діяльності відповідно до поточної навчальної ситуації.

Отже, комунікаційно-організаційний компонент забезпечує узгодження педагогічної взаємодії, координацію навчальної діяльності та її оперативне регулювання в імерсивному середовищі, створюючи організаційні умови для реалізації інших компонентів методичної системи. У процесі його функціонування здійснюється моніторинг навчальної діяльності учнів, накопичуються дані про характер взаємодії з імерсивним середовищем, виконання навчальних завдань і динаміку навчального поступу. Отримані дані становлять інформаційну основу для подальшого аналітичного опрацювання в межах оцінювально-результативного компонента, де вони інтерпретуються з позицій досягнення цілей навчання та сформованості компетентностей учнів.

3.5.2. Оцінювально-результативний компонент у структурі методичної системи забезпечує визначення ступеня досягнення цілей навчання та рівня сформованості компетентностей учнів академічних ліцеїв у процесі імерсивного навчання природничо-математичних предметів. Його призначення полягає у зборі, аналізі та педагогічній інтерпретації результатів навчальної діяльності учнів для встановлення результативності функціонування методичної системи.

На відміну від комунікаційно-організаційного компонента, який забезпечує моніторинг перебігу навчальної діяльності та її оперативне регулювання, оцінювально-результативний компонент спрямований на педагогічну інтерпретацію, аналіз та узагальнення результатів навчання з метою визначення ступеня досягнення поставлених цілей і рівня сформованості компетентностей учнів.

Важливою особливістю компонента є використання діагностичних

можливостей імерсивного середовища. Засоби імерсивного середовища забезпечують фіксацію результатів навчальної діяльності учнів та формування даних, необхідних для оцінювання їхніх навчальних досягнень. У межах методичної системи ці дані підлягають педагогічній інтерпретації та використовуються для визначення результативності навчання.

У структурі методичної системи оцінювально-результативний компонент виконує дві основні функції:

- діагностичну, що передбачає визначення рівня сформованості компетентностей учнів відповідно до поставлених цілей навчання;
- аналітичну, спрямовану на інтерпретацію результатів навчання та виявлення тенденцій, труднощів і досягнень у процесі використання імерсивних технологій.

Реалізація компонента здійснюється через взаємопов'язані структурні блоки:

– *критерії оцінювання*. Їх визначення безпосередньо пов'язане з метою методичної системи та орієнтоване на оцінювання сформованості компетентностей, розвиток яких передбачено в процесі імерсивного навчання природничо-математичних предметів. У дослідженні виокремлено такі критерії:

- предметний, який характеризує рівень сформованості предметних компетентностей, засвоєння навчального змісту та здатність застосовувати набуті знання для розв'язання навчальних і практичних завдань;
- міжпредметний, що відображає здатність інтегрувати знання, способи діяльності та поняття з різних навчальних предметів для розв'язання комплексних завдань;
- дослідницький, який характеризує здатність формулювати проблему, висувати гіпотези, планувати й виконувати дослідження, аналізувати та інтерпретувати отримані результати;
- просторовий, що відображає здатність оперувати просторовими образами, моделями та об'єктами, здійснювати їх уявне або безпосереднє перетворення, а також використовувати просторові уявлення під час розв'язання навчальних

завдань.

– *інструменти оцінювання*. В умовах імерсивного навчання вони поєднують традиційні та цифрові засоби діагностики. До них належать тестові завдання, практичні та лабораторні роботи, проєктні й дослідницькі завдання, педагогічне спостереження, а також результати діяльності учнів, зафіксовані засобами імерсивного середовища. Використання цифрових інструментів дає змогу отримувати додаткові дані про виконання навчальних завдань і враховувати їх під час оцінювання сформованості компетентностей;

– *рівні досягнення цілей*. На основі зіставлення отриманих результатів із визначеними критеріями встановлюється рівень сформованості компетентностей і досягнення навчальних цілей. Особливістю цього блоку є врахування не лише кінцевого результату, а й динаміки навчального просування учня в імерсивному середовищі, рівня самостійності, здатності до перенесення знань у нові ситуації та використання набутого досвіду для розв’язання навчальних завдань;

– *аналіз результатів*. Він передбачає педагогічну інтерпретацію отриманих даних, визначення рівня досягнення цілей навчання, виявлення типових труднощів і досягнень учнів, а також оцінювання результативності використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів.

Таким чином, оцінювально-результативний компонент забезпечує визначення результатів навчання та ступеня досягнення цілей методичної системи на основі системи критеріїв, інструментів оцінювання, рівнів досягнення цілей і аналізу результатів. Дані, сформовані в процесі навчальної діяльності учнів та зафіксовані засобами імерсивного середовища, виступають інформаційною основою для педагогічної інтерпретації результатів і визначення ефективності використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів.

3.5.3. Корекція та зворотний зв’язок у розробленій методичній системі розглядаються як наскрізний функціональний механізм, що забезпечує використання результатів оцінювання для вдосконалення функціонування всіх компонентів методичної системи. На основі аналізу отриманих результатів

здійснюється коригування технологічних рішень, організації навчальної діяльності та педагогічної підтримки учнів, що забезпечує цілісність освітнього процесу в імерсивному середовищі [267].

У педагогічних дослідженнях зворотний зв'язок розглядається як один із ключових чинників підвищення результативності навчання, оскільки забезпечує учасників освітнього процесу відомостями про перебіг і результати навчальної діяльності та створює підстави для її корекції [75; 123; 164; 229]. Ефективність зворотного зв'язку визначається його своєчасністю, конкретністю, орієнтацією на поставлені цілі навчання та можливістю використання отриманих відомостей для подальшого вдосконалення навчальної діяльності [118; 229].

В умовах імерсивного навчання можливості зворотного зв'язку розширюються завдяки автоматизованому збору та аналізу даних про діяльність учнів в імерсивному середовищі. Це забезпечує отримання відомостей не лише про результати виконання навчальних завдань, а й про особливості навчальної діяльності, що створює додаткові можливості для її корекції та педагогічної підтримки [118].

Особливого значення зворотний зв'язок набуває під час виконання складних когнітивних і дослідницьких завдань, де він виступає засобом підтримки прийняття рішень, побудови гіпотез і розвитку рефлексивних умінь [124]. Його ефективність узгоджується з положеннями теорії самовизначення, що акцентує на ролі автономії, компетентності та залученості як чинників внутрішньої мотивації [202]. Специфіка зворотного зв'язку в імерсивному середовищі полягає в його орієнтації на застосування результатів навчання в практичних ситуаціях, що посилює рефлексію після завершення імерсивного досвіду та сприяє усвідомленню учнями власних досягнень [223].

Імерсивні технології розширюють можливості організації зворотного зв'язку за рахунок інтеграції інструментів аналітики та елементів ігрового навчання, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг навчального прогресу та забезпечувати миттєву реакцію на дії учня [56]. Використання систем штучного інтелекту підсилює цей процес через можливість автоматизованого

аналізу навчальної діяльності, формування індивідуалізованих рекомендацій і підтримку розвитку ефективних навчальних стратегій [75; 364].

З метою реалізації процесів корекції навчальної діяльності та підтримки саморегуляції учнів у межах розробленої методичної системи запропоновано схему організації зворотного зв'язку та корекції навчальної діяльності в методичній системі (рис. 3.8). Концептуальною основою схеми стали положення моделі продуктивного зворотного зв'язку Дж. Гетті (J. Hattie) та Г. Тімперлі (H. Timperley) [123], відповідно до якої ефективний зворотний зв'язок має допомагати учневі усвідомлювати навчальну мету, оцінювати власне просування до її досягнення та визначати подальші кроки навчальної діяльності.

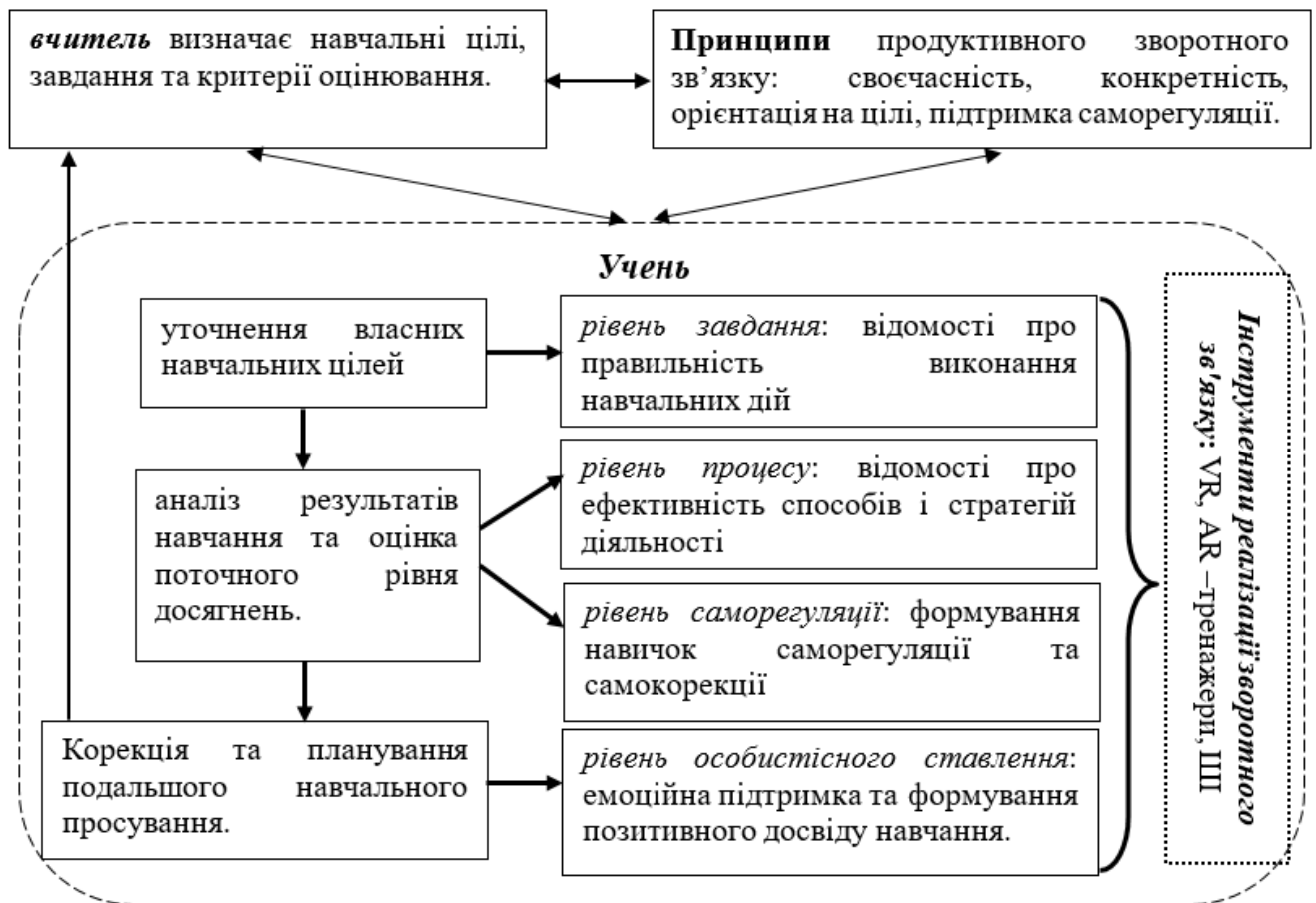


Рис. 3.8. Схема організації зворотного зв'язку та корекції навчальної діяльності в методичній системі

Вихідною умовою організації зворотного зв'язку є визначення вчителем навчальних цілей, завдань і критеріїв оцінювання. На їх основі учень уточнює власні навчальні цілі, здійснює аналіз результатів діяльності та оцінює поточний

рівень навчальних досягнень. Отримані відомості використовуються для планування подальших навчальних дій і корекції способів діяльності.

Зворотний зв'язок реалізується на чотирьох взаємопов'язаних рівнях: рівні завдання, рівні процесу, рівні саморегуляції та рівні особистісного ставлення. Таке структурування забезпечує послідовний перехід від виправлення помилок під час виконання окремих завдань до розвитку здатності учнів самостійно контролювати, оцінювати та коригувати власну навчальну діяльність.

На рівні завдання зворотний зв'язок надає відомості про правильність виконання навчальних дій та сприяє виправленню помилок під час розв'язування конкретних навчальних завдань. На рівні процесу він орієнтований на вдосконалення способів діяльності, вибір ефективних стратегій навчання та регуляцію послідовності виконання навчальних дій. Рівень саморегуляції спрямований на розвиток здатності учнів самостійно контролювати, оцінювати та коригувати власну навчальну діяльність. Рівень особистісного ставлення забезпечує емоційну підтримку учнів, формування позитивного ставлення до навчання та підтримку навчальної впевненості.

Реалізація зазначених рівнів підтримується цифровими засобами зворотного зв'язку та корекції, інтегрованими в імерсивне середовище навчання. До них належать VR- та AR-середовища, цифрові тренажери, аналітичні модулі й інструменти ШІ, які забезпечують збір і аналіз даних про навчальну діяльність учнів, формування рекомендацій та надання своєчасного зворотного зв'язку. На основі отриманих відомостей корекція навчальної діяльності може здійснюватися як учителем, так і самим учнем у процесі взаємодії з імерсивним середовищем.

Запропонована схема відображає організацію зворотного зв'язку між учителем та учнем, що реалізується за допомогою засобів імерсивного середовища. Поєднання педагогічного супроводу з функціональними можливостями імерсивного середовища забезпечує своєчасне отримання зворотного зв'язку, корекцію навчальних дій, підтримку саморегуляції та врахування індивідуальних освітніх потреб учнів. Схема орієнтована на розвиток рефлексії, самостійності та відповідальності учнів за результати власної

навчальної діяльності.

Таким чином, зворотний зв'язок і корекція в розробленій методичній системі утворюють єдиний механізм використання результатів оцінювання для вдосконалення навчальної діяльності. Зворотний зв'язок забезпечує отримання відомостей про перебіг і результати навчання, тоді як корекція передбачає внесення змін до навчальних дій, стратегій діяльності та педагогічної підтримки на основі цих відомостей.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі теоретично обґрунтовано та розроблено методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв, а також побудовано її модель. Методична система представлена сукупністю взаємопов'язаних цільового, змістового, технологічного, комунікаційно-організаційного та оцінювально-результативного компонентів. Розроблена модель конкретизує способи реалізації цих компонентів та відображає їхні взаємозв'язки в процесі навчання.

Уточнено цільовий компонент методичної системи відповідно до вимог Державного стандарту профільної середньої освіти та специфіки використання імерсивних технологій. Запропоновано підхід до формування навчальних цілей в умовах імерсивного навчання, що ґрунтується на інтеграції таксономії когнітивних процесів Б. Блума та SMART-підходу і забезпечує узгодження рівнів пізнавальної діяльності учнів із конкретними, вимірюваними та досяжними результатами навчання.

У межах змістового компонента обґрунтовано напрями дидактичної реалізації імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів: візуалізаційно-моделювальний, експериментально-дослідницький, контекстно-орієнтований, ігровий, проєктно-орієнтований та інтерактивно-рефлексивний. Визначено можливості їх реалізації відповідно до змісту навчальних програм академічного ліцею та особливостей організації навчальної діяльності учнів.

Розкрито технологічний компонент методичної системи використання

імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів. Здійснено систематизацію імерсивних освітніх ресурсів та запропоновано їх класифікацію за педагогічним потенціалом і функціональним призначенням у структурі методичної системи, що дає змогу обґрунтовано визначати дидактичні можливості їхнього використання. Розроблено систему критеріїв і показників оцінювання імерсивних освітніх ресурсів, яка охоплює цільово-дидактичний, когнітивно-діяльнісний, психолого-мотиваційний, технологічно-імерсивний, організаційно-методичний та безпеково-етичний аспекти їхнього добору. Запропоновано процедуру педагогічно обґрунтованого добору імерсивних освітніх ресурсів, що забезпечує узгодження їхніх можливостей із цілями навчання, змістом навчального матеріалу, особливостями навчальної діяльності учнів та умовами організації освітнього процесу в академічному ліцеї.

Обґрунтовано форми організації та систему методів навчання в умовах використання імерсивних технологій. Запропоновано трирівневу структуру форм організації навчання, що поєднує рівні групової взаємодії, технологічного занурення та змістової адаптації. Визначено типи інтерактивності імерсивного середовища та чинники, що впливають на рівень їх реалізації. Розроблено авторську систему категорій методів використання імерсивних технологій, систематизовану за домінантними педагогічними функціями, та окреслено особливості їх реалізації в навчанні природничо-математичних предметів.

У межах комунікаційно-організаційного компонента обґрунтовано особливості організації педагогічної комунікації та координації навчальної діяльності в умовах використання імерсивних технологій. Визначено комунікаційний та організаційний складники компонента, охарактеризовано взаємодію між учителем, учнями та імерсивним середовищем, зокрема взаємодію «учень – імерсивне середовище», а також розкрито механізми педагогічного супроводу, координації та підтримки навчальної діяльності учнів в імерсивному середовищі.

Обґрунтовано оцінювально-результативний компонент методичної системи та визначено критерії оцінювання досягнення навчальних цілей в умовах

використання імерсивних технологій. Показано роль корекції та зворотного зв'язку у використанні результатів оцінювання для вдосконалення організації навчання та підвищення ефективності функціонування методичної системи.

Таким чином, у розділі розроблено та обґрунтовано методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв, визначено зміст, функції, механізми взаємодії та умови реалізації її компонентів. Це створює методичне підґрунтя для організації імерсивного навчання і розроблення предметно-орієнтованих методик навчання.

Основні результати третього розділу опубліковано в роботах [167; 398; 454; 495; 497; 498; 510; 512; 515; 516; 518; 520; 524; 529; 537; 539; 542].

РОЗДІЛ 4

ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНІ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

4.1. Моделі організації навчання з залученням імерсивного середовища

Основним завданням процесу навчання є формування знань і компетентностей, необхідних для ефективного розв'язання як стандартних, так і нестандартних навчальних завдань. У цьому контексті доцільно розрізняти декларативні, процедурні та концептуальні знання, оскільки кожен їх тип потребує окремих умов організації навчання в імерсивному середовищі.

Декларативні знання охоплюють факти, події, правила та семантичні зв'язки між поняттями. Процедурні знання проявляються в умінні застосовувати їх на практиці через виконання цілеспрямованих дій і відтворення операцій, з часом автоматизуючись у навички. Декларативні та процедурні знання можуть формуватися як у межах окремих навчальних предметів, так і в міждисциплінарному контексті [69].

Формування різних типів знань залежить від умов організації середовища навчання. Результати досліджень свідчать, що використання імерсивного середовища має виражений вплив насамперед на формування процедурних знань [192; 367], що є особливо важливим у процесі навчання природничо-математичних предметів. Імерсивне середовище забезпечує можливість багаторазового, безпечного та інтерактивного відпрацювання дій, що сприяє їх автоматизації та розвитку відповідних компетентностей.

Концептуальні знання забезпечують розуміння принципів і узагальнених зв'язків, що дозволяє розв'язувати нестандартні задачі та гнучко переносити знання в нові ситуації. Такі знання реалізуються через два взаємопов'язані механізми [48]: онлайн-механізм, що передбачає їх безпосереднє залучення під час виконання завдання, та офлайн-механізм, що пов'язаний із попереднім осмисленням, узагальненням і поясненням навчального матеріалу.

Попри значну кількість досліджень, присвячених використанню імерсивних

технологій у навчанні, недостатньо розробленими залишаються підходи до їхньої системної інтеграції в організацію процесу навчання з урахуванням як типів знань, так і логіки розгортання навчальної діяльності. Це зумовлює необхідність побудови таких організаційних рішень, у яких імерсивне середовище виступає педагогічно керованим компонентом освітнього процесу.

У межах розробленої методичної системи імерсивне середовище розглядається як наскрізний елемент організації навчання, що може по-різному інтегруватися в освітній процес та виконувати різні педагогічні функції. Відмінності у способах його використання зумовлюють специфіку організації навчальної діяльності учнів, характер їхньої взаємодії з навчальним середовищем та особливості досягнення освітніх результатів.

Залежно від способу педагогічної інтеграції імерсивного середовища та характеру організації навчальної діяльності у дослідженні виокремлено три авторські взаємодоповнювальні моделі організації навчання:

- процедурну модель, у якій імерсивне середовище виступає засобом підсилення окремих етапів навчання та виконує інструментально-підтримувальну функцію;

- інструктивно-діяльнісну модель, у якій імерсивне середовище є середовищем розгортання навчальної діяльності та набуває структурно-утворювального статусу щодо організації навчальних дій, забезпечуючи їх поетапний перехід від відтворення до самостійного дослідження;

- функціонально-мотиваційну модель, у якій імерсивне середовище забезпечує реалізацію мотиваційних, діяльнісних і рефлексивних механізмів навчання та виконує концептуально-організаційну роль у поетапному розгортанні навчальної діяльності.

4.1.1. Процедурна модель організації навчання з використанням імерсивного середовища орієнтована на поетапне формування, відпрацювання та автоматизацію навчальних дій шляхом їх керованого виконання в умовах поєднання традиційних і цифрових засобів навчання. Її функціональне призначення полягає у забезпеченні переходу від первинного розуміння

навчального змісту до стабільного та варіативного застосування знань у типових і змінених навчальних ситуаціях. У межах цієї моделі імерсивне середовище виконує інструментально-підтримувальну функцію, підсилюючи окремі етапи навчання та сприяючи засвоєнню і закріпленню способів дій. Процедурна модель визначає логіку послідовності навчальної діяльності, характер використання імерсивних технологій та механізми формування процедурних знань і вмінь.

Структурно модель реалізується через три взаємопов'язані рівні організації навчальної діяльності, які відображають зміну характеру пізнавальної активності учнів і способів використання імерсивного середовища в процесі навчання [13; 205].

Перший рівень спрямований на формування первинного розуміння навчального змісту та засвоєння базових понять із використанням пояснювально-ілюстративних методів навчання. Основним завданням є зниження початкового когнітивного навантаження та забезпечення базового розуміння навчального матеріалу. На цьому рівні імерсивне середовище може використовуватися фрагментарно як допоміжний засіб візуалізації окремих об'єктів і процесів, проте не визначає організацію навчальної діяльності.

Другий рівень пов'язаний з інтеграцією нових знань у когнітивну структуру учня, встановленням міжпонятійних зв'язків і формуванням умінь застосовувати знання в типових ситуаціях. На цьому рівні імерсивне середовище використовується як засіб візуалізації, моделювання та підтримки усвідомлення навчального матеріалу. Керована взаємодія з імерсивними об'єктами сприяє поглибленню розуміння за умови попереднього засвоєння базових понять. Водночас пряме занурення в імерсивне середовище без засвоєння базових понять може призводити до когнітивного перевантаження і зниження результативності навчання [281], що обґрунтовує поетапний характер його використання.

Третій рівень передбачає відпрацювання навчальних дій, їх автоматизацію та перенесення у варіативні умови діяльності. На цьому рівні імерсивне середовище використовується як інструмент підтримки діяльності, що забезпечує багаторазове виконання процедур, самоконтроль і корекцію результатів.

Результатом є формування стійких умінь, алгоритмів дій та здатності до їх гнучкого застосування [13].

Запропоновані рівні не є жорстко прив'язаними до окремих етапів уроку, однак у практичній реалізації вони відображаються через відповідні етапи організації навчальної діяльності. Зокрема, перший рівень реалізується переважно на етапах актуалізації та первинного пояснення навчального матеріалу, другий – у процесі організації пізнавальної діяльності учнів із використанням імерсивного середовища, третій – на етапах виконання практичних завдань, формувального оцінювання та рефлексії. Така відповідність забезпечує узгодженість теоретичної структури моделі з її практичною реалізацією.

Процедурна модель передбачає залучення учнів до керованого практичного відпрацювання навчальних дій із елементами варіативності в межах заданих процедур. Дослідницькі та ігрові компоненти можуть використовуватися як допоміжні засоби, спрямовані на підвищення залученості учнів і розвиток пізнавальної активності, проте вони не змінюють процедурної спрямованості моделі.

Запропонована на рис. 4.1 процедурна модель відображає підхід до організації навчання з використанням імерсивного середовища і може бути використана для організації навчання як на етапі первинного засвоєння навчального матеріалу, так і на етапах його закріплення та подолання освітніх прогалин. Вона органічно імплементується в модель змішаного навчання і може бути адаптована до інших вікових категорій за умови спрощення процедур та зниження когнітивного навантаження.

У контексті змішаного навчання модель репрезентує цілісність і послідовність засвоєння навчального матеріалу завдяки:

– поєднанню очних і дистанційних форм роботи з урахуванням функцій кожного з рівнів моделі. Завдяки поетапній структурі процедурної моделі можлива чітка диференціація етапів навчання, що проводяться в очному форматі (наприклад, постановка проблеми, колективне обговорення) та дистанційному (наприклад, робота з імерсивними ресурсами, виконання практичних завдань);

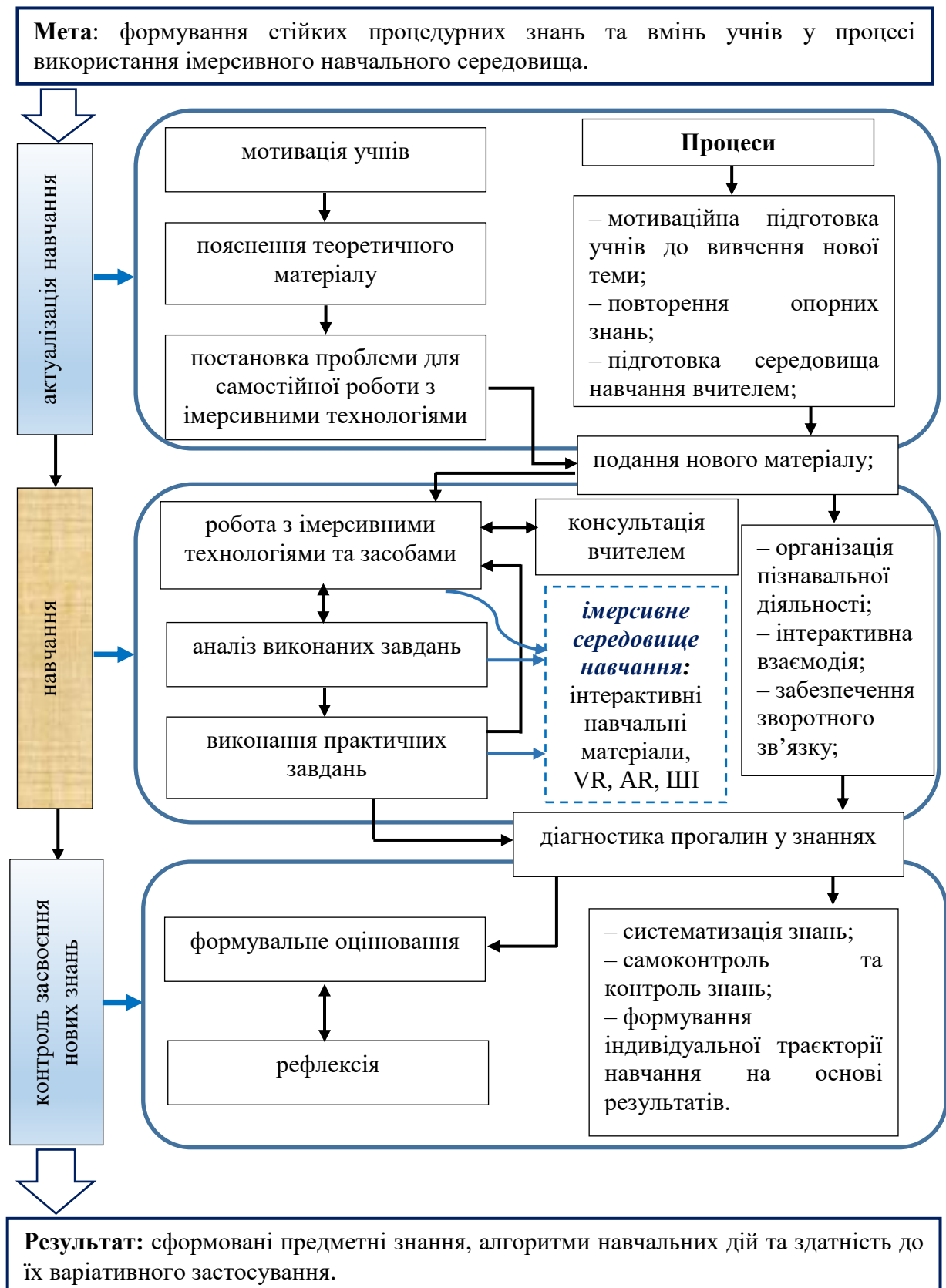


Рис. 4.1. Процедурна модель організації навчання з використанням ІмСН

– можливості диференціації та індивідуалізації навчальної діяльності

відповідно до рівня підготовки учнів;

- використанню алгоритмізованих послідовностей навчальних дій як основи організації діяльності;

- реалізації формувального оцінювання та рефлексії як механізмів регулювання процесу навчання.

До основних переваг процедурної моделі належать системність і послідовність використання імерсивних технологій, визначеність процедур взаємодії учнів з імерсивним середовищем, можливість виокремлення ключових точок контролю навчальних досягнень, орієнтація на досягнення конкретних навчальних результатів та ефективна інтеграція в змішане навчання.

До потенційних обмежень моделі належать складність реалізації в умовах великих класів, ризик когнітивного перевантаження у разі незбалансованого застосування імерсивних технологій, потреба в доступі до цифрових ресурсів і необхідність достатнього рівня цифрової компетентності педагогів.

У межах процедурної моделі імерсивне середовище виступає основним інструментом організації навчальної діяльності на етапах відпрацювання та застосування знань. Воно забезпечує поєднання змістового, діяльнісного і рефлексивного компонентів навчання. Завдяки цьому учні можуть не лише виконувати навчальні дії, а й варіювати способи їх реалізації, отримувати зворотний зв'язок, здійснювати самоконтроль і корекцію результатів.

Практична реалізація моделі може здійснюватися в різних організаційних формах навчання та передбачає варіативність конкретних методичних рішень залежно від навчального предмета, рівня підготовки учнів і умов освітнього середовища. Один із можливих варіантів використання процедурної моделі описано на прикладі вивчення стереометрії в 11 класі в додатку Н.

Таким чином, процедурна модель визначає структурно-логічну основу організації навчання в імерсивному середовищі, визначаючи послідовність формування навчальних дій, характер використання імерсивних технологій і механізми переходу від розуміння до застосування знань. Вона зберігає провідну роль учителя в організації та регуляції навчальної діяльності й може

використовуватися у поєднанні з інструктивно-діяльнісною моделлю залежно від дидактичних цілей навчання.

4.1.2. Інструктивно-діялісна модель організації навчання з використанням імерсивного середовища спрямована на кероване формування навчальних дій і способів їх виконання шляхом поетапного переходу від зовнішнього інструктивного супроводу до самостійної діяльності учнів. На відміну від процедурної моделі, яка задає послідовність відпрацювання навчальних процедур, запропонована модель визначає дидактичний механізм їх засвоєння через зміну характеру педагогічного керування та поступове зростання активності учня.

Модель ґрунтується на положенні про необхідність поетапної трансформації педагогічного керування навчальною діяльністю учнів із варіативним залученням імерсивного середовища. У цьому контексті імерсивне середовище виступає середовищем розгортання навчальної діяльності та виконує структурно-утворювальну функцію, забезпечуючи різні умови реалізації навчальних дій залежно від рівня самостійності учнів.

Концептуально модель ґрунтується на інтеграції положень педагогічної моделі імерсивної віртуальної реальності – iVRPM [39] та моделі інтеграції технологій розширеної реальності (XR ABC Framework) [302], а також корелює з логікою моделі 5E (залучення, дослідження, пояснення, розробка, оцінювання), що застосовується у STEM-освіті [262]. Водночас запропонована модель не є їхньою прямою адаптацією, оскільки визначається насамперед авторським підходом до регуляції навчальної діяльності та трансформації ролі імерсивного середовища.

При адаптації iVRPM [39] до українського контексту навчання природничо-математичних предметів збережено принципи поетапного занурення учня в імерсивне середовище та персоналізації пізнавального досвіду. Водночас модифіковано алгоритми інтерактивної взаємодії з 3D-моделями та симуляціями, зокрема через обмеження кількості одночасно доступних дій на початкових етапах та поетапне розширення варіативності діяльності відповідно до рівня

підготовки учнів академічних ліцеїв. Модель XR ABC Framework [302] використовується для організації навчальних завдань із чіткою структурою інструкцій, при цьому сценарії діяльності адаптовано до доступних цифрових ресурсів, що передбачає заміну складних дослідницьких сценаріїв на варіативні навчальні ситуації з керованим рівнем складності. Фази моделі 5E [262] зберігають свою педагогічну логіку, однак етапи «Дослідження» та «Розробка» конкретизуються через використання імерсивних завдань, спрямованих на поетапне формування способів дії та їх перенесення у змінені умови, що забезпечує розвиток критичного мислення та дослідницьких умінь учнів.

Реалізація інструктивно-діяльнісної моделі забезпечується наступними ключовими можливостями:

- структурування процесу навчання за допомогою чітких алгоритмів і інструкцій, що визначають послідовність дій учня. У межах імерсивного середовища це сприяє зрозумілості завдань, зменшенню когнітивного перевантаження та формуванню процедурних знань;

- поетапна організація діяльності учня, що передбачає поступове ускладнення дій відповідно до рівня засвоєння матеріалу. Учень спочатку виконує завдання за зразком (фази залучати та досліджувати), далі – з частковою підтримкою (пояснювати та розробляти), і лише згодом – самостійно (оцінювати), що відповідає логіці навчання «від дії до знання»;

- інтеграція зворотного зв'язку безпосередньо в процес навчання, що забезпечує своєчасну корекцію дій учня. Вбудовані механізми оцінювання та підказки в імерсивному середовищі дозволяють контролювати результати та підтримувати учнів у разі помилки;

- диференційоване використання імерсивного середовища залежно від рівня організації діяльності учнів.

У структурі моделі виокремлено три взаємопов'язані рівні організації діяльності: інструктивно-орієнтувальний, керовано-діяльнісний та самостійно-дослідницький. Кожен із них відрізняється ступенем інструктивної підтримки, характером навчальних дій та рівнем автономії учнів. Зазначені рівні можуть

реалізовуватися через відповідні етапи навчального процесу, однак не є жорстко прив'язаними до конкретної структури уроку.

Ключовим механізмом функціонування моделі є поступове зменшення зовнішньої інструктивної підтримки та відповідне зростання самостійності учнів у процесі виконання навчальних дій. Водночас змінюється і функціональна роль імерсивного середовища: від керованого середовища виконання дій до відкритого простору самостійного дослідження. Це забезпечує перехід від відтворювальної діяльності до продуктивної та дослідницької, а також від засвоєння декларативних знань до формування процедурних і концептуальних знань.

Імерсивне середовище в межах моделі виконує диференційовану функцію залежно від рівня організації діяльності: на інструктивно-орієнтувальному рівні воно забезпечує структурування та підтримку виконання дій; на керовано-діяльнісному – створює варіативні умови для застосування та комбінування способів дії; на самостійно-дослідницькому – виступає як відкрите середовище для експериментування, перевірки гіпотез і конструювання знань.

Запропонована логіка організації навчання узгоджується з фазами моделі 5Е [262] на рівні послідовності розгортання навчальної діяльності, проте не є їх прямим відтворенням, а передбачає їхню дидактичну інтерпретацію в межах авторського підходу до регуляції навчальної діяльності. Такий підхід ґрунтується на поетапному зменшенні зовнішнього педагогічного керування та диференційованому використанні імерсивного середовища залежно від рівня самостійності учнів (рис. 4.2). Запропонована послідовність допускає локальні повернення до попередніх рівнів у межах окремих навчальних завдань або циклів навчання.

Перший рівень (*інструктивно-орієнтувальний*) передбачає виконання навчальних дій за умов чітко заданої зовнішньої інструкції. На цьому етапі учні ознайомлюються з базовими теоретичними положеннями теми відповідно до заздалегідь підготовлених інструкцій. Вивчення матеріалу може здійснюватися в різних форматах: за друкованими або цифровими матеріалами, через інтерактивні презентації або в імерсивному середовищі, що містить 3D-моделі, просторово-

візуалізовані навчальні матеріали та симуляції. Використання таких ресурсів сприяє кращому засвоєнню абстрактних понять і формує первинне уявлення про об'єкти та явища, що вивчаються.



Рис. 4.2. Інструктивно-діялісна модель організації навчання з використанням імерсивного середовища

Діяльність учнів має переважно відтворювальний характер і спрямована на засвоєння способу виконання дії. Роль учителя полягає в інструктуванні та організації діяльності, зворотний зв'язок має переважно характер контролю. Результатом є формування декларативних знань і первинне опанування способів виконання навчальних дій.

Імерсивне середовище використовується як кероване середовище навчання,

у якому: задається чітка послідовність навчальних дій; обмежується варіативність їх виконання; надаються інструкції, підказки та зразки виконання.

Другий рівень (*керовано-діяльнісний*) характеризується частковим зменшенням зовнішньої інструктивної підтримки й розширенням самостійності учнів у виборі та реалізації способів дії. Діяльність учнів набуває продуктивного характеру і спрямована на застосування засвоєних способів дій у типових і змінених навчальних ситуаціях. Цей рівень узгоджується з фазами «пояснення» та «розроблення», у межах яких відбувається усвідомлення зв'язків і розширення способів застосування знань. Роль учителя трансформується в наставницьку та консультативну, а зворотний зв'язок набуває характеру допомоги та корекції. Результатом є формування процедурних знань, здатність до варіативного застосування навчальних дій і початок формування індивідуальних стратегій діяльності.

Імерсивне середовище виконує функції інтерактивної підтримки діяльності та забезпечує: варіативність навчальних ситуацій; можливість перевірки різних способів дії; оперативний інтерактивний зворотний зв'язок.

Третій рівень (*самостійно-дослідницький*) передбачає домінування самостійної діяльності учнів за мінімального зовнішнього втручання. Діяльність має творчий і дослідницький характер і спрямована на самостійне планування, виконання та корекцію навчальних дій, а також на перенесення їх у нові ситуації. Цей рівень узгоджується з фазою «оцінювання», що передбачає узагальнення, рефлексію та інтерпретацію результатів. Роль учителя полягає в консультуванні та підтримці індивідуальної освітньої траєкторії учня, а зворотний зв'язок набуває переважно рефлексивного характеру (самооцінка, взаємооцінювання).

Результатом самостійно-дослідницького рівня є сформованість концептуальних знань, розвиток навчальної автономії та здатність учнів самостійно планувати, виконувати та корегувати навчальні дії в нових ситуаціях. На цьому рівні імерсивне середовище функціонує як відкритий дослідницький простір, що створює умови для експериментування, перевірки гіпотез і самоконтролю. При цьому важливим елементом рівня є можливість виходу за

межі імерсивного середовища. Учні виконують творчі, проєктні або міждисциплінарні завдання, у яких набуті в імерсивному середовищі способи дій переносяться в реальні навчальні та життєві контексти.

Слід зазначити, що в умовах академічних ліцеїв інструктивно-діяльнісна модель є найбільш доцільною на профільно-адаптаційному рівні, коли учні ще визначаються з освітнім профілем. Використання чітко структурованих інструкцій учителя сприяє формуванню базових декларативних знань та початкових навичок їх застосування, що створює необхідну основу для подальшого навчання. Водночас ефективність переходу до більш автономних та дослідницьких форм навчання забезпечується поступовим зменшенням інструктивної ролі вчителя, зростанням самостійності учнів та інтеграцією імерсивного середовища, яке стимулює активну взаємодію, дослідження та конструювання знань.

До ключових переваг інструктивно-діялісної моделі за умови належної організації навчального процесу належать:

- сприяння поетапному формуванню навчальних дій завдяки використанню структурованих інструкцій, що полегшує розуміння алгоритмів виконання завдань;
- створення передумов для успішного старту профільного навчання через чітке педагогічне керування процесом навчання та оптимізацію когнітивного навантаження, що може сприяти формуванню базових декларативних і початкових процедурних знань;
- можливе зниження рівня навчальної тривожності завдяки прогнозованості дій і очікуваних результатів, що позитивно впливає на мотиваційну готовність учнів до подальшої навчальної діяльності;
- забезпечення ефективного використання імерсивного середовища на керовано-діялісному рівні, де воно виступає як інтерактивний засіб занурення у навчальну ситуацію та тренування процедурних дій із вбудованим зворотним зв'язком, що сприяє розвитку аналітичного осмислення навчальних дій;
- підтримка учнів на початкових етапах дослідницької діяльності через

використання імерсивного середовища для моделювання навчальних ситуацій, що створює передумови для розвитку навчальної автономії, елементів дослідницької ініціативи та співпраці.

До потенційних обмежень моделі належать:

- обмеження розвитку творчого та процедурного мислення на початкових етапах навчання, зумовлене виконанням учнями чітко регламентованих навчальних дій, що може звужувати простір для ініціативності, варіативності рішень і самостійного критичного аналізу;

- ризик недостатньої сформованості процедурних знань у разі нечітких або надмірно узагальнених інструкцій, що особливо проявляється на етапі переходу до самостійного застосування засвоєних способів дії;

- обмежена актуалізація внутрішньої мотивації на початкових етапах навчання, зумовлена переважанням зовнішньої регуляції навчальної діяльності та використанням імерсивного середовища передусім як засобу структурованої підтримки виконання навчальних дій;

- зниження ефективності опанування концептуальних знань у разі недостатньої стимуляції учнів до висування гіпотез, узагальнення та пошуку нестандартних рішень;

- ускладнення реалізації індивідуального підходу, зумовлене використанням уніфікованих інструктивних процедур без достатнього врахування індивідуальних освітніх потреб і темпу навчання.

З метою виявлення педагогічного потенціалу процедурної та інструктивно-діяльнісної моделей у таблиці 4.1 подано порівняльну характеристику умов їх доцільного застосування, функціональних можливостей і очікуваних освітніх результатів. Для зіставлення моделей використано систему критеріїв, визначених автором відповідно до їхньої структури, дидактичних функцій та особливостей організації навчальної діяльності.

Таблиця 4.1

**Порівняльна характеристика процедурної та інструктивно-діяльнісної
моделей організації навчання**

Критерій	Процедурна модель	Інструктивно-діяльнісна модель
<i>Педагогічне призначення моделі</i>	Поетапне відпрацювання, автоматизація та варіативне застосування навчальних дій після первинного розуміння матеріалу.	Поетапне формування навчальних дій через систему інструкцій із поступовим зменшенням зовнішньої підтримки.
<i>Оптимальні умови застосування</i>	Ситуації закріплення, корекції та адаптації вже сформованих способів дій.	Ситуації первинного опанування нових типів дій, коли потрібна чітка структура і зовнішнє керування.
<i>Дидактичні передумови застосування</i>	Наявність базових декларативних знань і первинного розуміння матеріалу.	Недостатня сформованість способів виконання дій, потреба в зовнішній інструктивній регуляції.
<i>Домінантний тип організації діяльності</i>	Кероване виконання процедур з елементами вибору та адаптації.	Виконання дій у межах чітко заданої інструктивної послідовності з поступовим зростанням автономії.
<i>Роль учителя</i>	Організатор і консультант процесу навчання, що забезпечує корекцію та аналіз навчальних дій.	Організатор і координатор навчальної діяльності, що задає логіку, темп і послідовність дій.
<i>Роль імерсивного середовища</i>	Інструментально-підтримувальна: засіб візуалізації, відпрацювання, корекції помилок і адаптації складності.	Структурно-утворювальна: інтерактивний простір організації, регуляції послідовності дій та поетапного ускладнення діяльності.
<i>Характер зворотного</i>	Інтегрований у виконання дій, спрямований на корекцію	Спрямований на підтримку виконання інструкцій і

Критерій	Процедурна модель	Інструктивно-діяльнісна модель
<i>зв'язку</i>	помилки і оптимізацію процедур.	поступовий перехід до самоконтролю.
<i>Очікувані освітні результати</i>	Сформованість стійких процедурних умінь і здатність до їхньої адаптації в нових умовах.	Сформованість базових навчальних дій і готовність до більш автономних форм навчальної діяльності.

Таким чином, процедурна та інструктивно-діяльнісна моделі взаємодоповнюють одна одну залежно від дидактичної мети й рівня сформованості навчальних дій учнів. Інструктивно-діяльнісна модель доцільна в умовах первинного опанування нових способів діяльності, коли необхідне зовнішнє педагогічне керування та поетапне формування навчальних дій. Процедурна модель орієнтована на їх подальше закріплення, удосконалення, варіативне застосування й розвиток часткової саморегуляції. Сукупне використання цих моделей забезпечує безперервність організації навчальної діяльності та створює передумови для поступового переходу учнів до більш самостійного виконання навчальних дій.

Водночас ефективність інструктивно-діялісної моделі значною мірою залежить від якості інструктивного супроводу та рівня зовнішньої регуляції діяльності, що зумовлює необхідність її поєднання з моделями, орієнтованими на розвиток внутрішньої мотивації, саморегуляції та дослідницької активності. Саме таку функцію в межах запропонованої методичної системи виконує функціонально-мотиваційна модель навчання.

4.1.3. Функціонально-мотиваційна модель організації навчання з використанням імерсивного середовища розглядається як концептуально-організаційна дидактична модель, у якій мотивація учнів формується вже на початковому етапі в умовах педагогічно організованого цілеспрямованого занурення в імерсивне середовище та підтримується впродовж усього процесу навчання. Це досягається шляхом організації процесу навчання як послідовності

функціональних етапів, спрямованих на активне залучення учнів до освітньої діяльності на основі внутрішньої мотивації, дослідницької активності, емоційно-когнітивного занурення та саморефлексії.

Функціональні етапи в межах цієї моделі визначаються домінантною педагогічною функцією, що реалізується в процесі навчальної діяльності. У такій моделі імерсивне середовище виступає активним педагогічно спроектованим простором конструювання навчального досвіду, інтегруючись у всі етапи навчальної діяльності та сприяючи підтримці внутрішньої мотивації й розвитку дослідницьких умінь учнів.

Слід зауважити, що імерсивне середовище саме по собі не забезпечує формування внутрішньої мотивації учнів, проте створює умови для її розвитку й підтримки за умови педагогічно доцільного проєктування навчальних завдань, організації навчальної взаємодії та цілеспрямованого педагогічного супроводу. Ефективність навчання в такому середовищі визначається глибиною когнітивної залученості учнів, що забезпечується поєднанням продуманих технологічних рішень, змістовних наративів і дидактично обґрунтованих навчальних викликів [31]. Важливим компонентом ефективної реалізації імерсивного середовища є мотивація, особливо внутрішня. Саме тому основою для розроблення функціонально-мотиваційної моделі стала мотиваційна модель навчання, запропонована та пізніше доповнена Дж. Келлером (J. Keller) [161].

Модель ARCS-V за Дж. Келлером охоплює такі ключові компоненти:

- увага (A – Attention): привернення уваги учнів через новизну, проблемність, інтерактивність та використання імерсивних технологій;
- значущість (R – Relevance): забезпечення актуальності навчального матеріалу для учня, його зв'язку з життєвим досвідом, майбутньою діяльністю чи інтересами, що узгоджується з особистісними цілями навчання;
- впевненість (C – Confidence): формування впевненості учня у власних силах, забезпечення досяжності цілей та контрольованості результатів;
- задоволення (S – Satisfaction): позитивне підкріплення навчальних досягнень та емоційне задоволення від процесу й результатів навчання;

– саморегуляція (V – Volition): розвиток самомотивації, внутрішньої цілеспрямованості та здатності підтримувати навчальну активність незалежно від зовнішніх чинників.

Поєднання цих п'яти компонентів моделі сприятиме формуванню стійкої мотивації учнів та її підтримці протягом усього процесу (рис. 4.3).

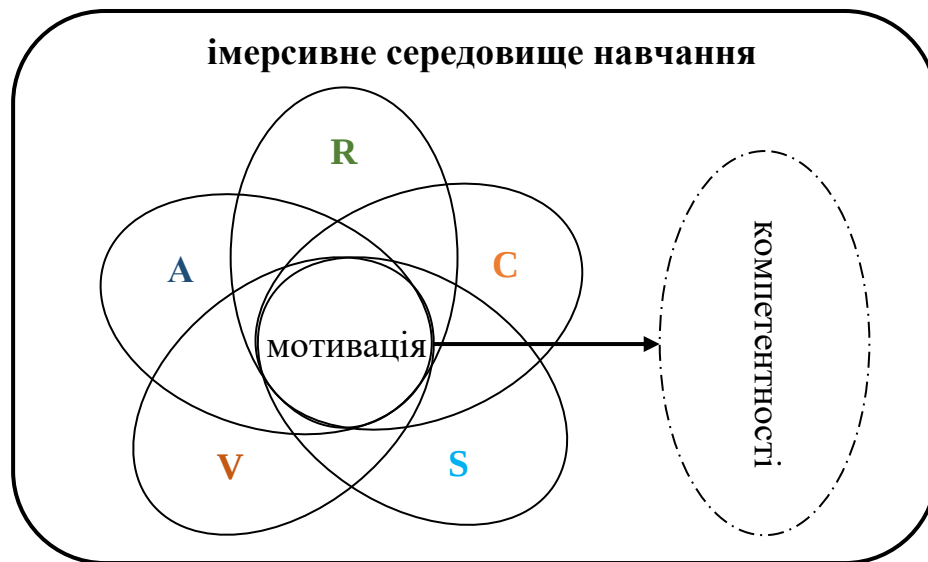


Рис. 4.3. Схема моделі ARCS-V, адаптована за [201; 493]

Останні дослідження свідчать про активний розвиток мотиваційної моделі навчання Дж. Келлера у напрямі її інтеграції з ІКТ та імерсивними технологіями. Така інтеграція розширює можливості реалізації мотиваційних механізмів завдяки створенню контекстуально насиченого середовища навчання, у якому поєднуються когнітивні, емоційні та діяльнісні аспекти навчання. Зокрема, використання імерсивних технологій сприяє моделюванню навчальних ситуацій, наближених до реальних, що забезпечує умови для застосування знань у практичному контексті, підвищує рівень когнітивної залученості та сприяє глибшому розумінню складних абстрактних понять. Це є особливо значущим для природничо-математичних дисциплін, де важливими є візуалізація, моделювання процесів і встановлення причинно-наслідкових зв'язків [180].

Водночас поєднання моделі ARCS із сучасними цифровими технологіями забезпечує підвищення ефективності організації процесу навчання за рахунок персоналізації, адаптивності та розширення можливостей формувального

оцінювання [25]. Розвиток моделі у напрямі ARCS-PC додатково акцентує на ролі професійної компетентності вчителя в організації мотиваційно насиченого середовища навчання [201]. Це, своєю чергою, сприяє активізації взаємодії між учасниками освітнього процесу [1].

Експериментальні дослідження підтверджують ефективність мотиваційних моделей у різних типах закладів освіти, особливо в технологічно розвинених середовищах навчання [98; 325]. Водночас більшість таких досліджень (86%) проводилася в середовищах, орієнтованих на учня, тоді як роботи, спрямовані на знаннясвий складник, оцінювання чи громадську діяльність, були значно менш численними [98].

Проте в наявних підходах недостатньо уваги приділяється потенціалу імерсивного середовища як наскрізного педагогічно організованого простору, здатного виконувати не лише інструментальну чи структурну, а й концептуально-організаційну функцію – від початкового емоційно-когнітивного занурення до формування навчальної саморегуляції.

Таким чином, виникає потреба в розробленні моделі, яка б забезпечувала:

- інтеграцію мотиваційних механізмів у структуру процесу навчання;
- узгодження етапів пізнавальної діяльності з функціями мотиваційного впливу;
- використання імерсивного середовища як цілісного освітнього простору конструювання знань.

На відміну від моделі ARCS-V, у запропонованій моделі мотиваційні компоненти не лише визначають характеристики середовища навчання, а й виступають основою структуризації навчальної діяльності через систему функціональних етапів, кожен з яких реалізує специфічний механізм мотиваційного впливу, опосередкований імерсивним досвідом.

З урахуванням зазначеного, у дослідженні запропоновано функціонально-мотиваційну модель організації навчання в імерсивному середовищі, у якій мотиваційні компоненти моделі ARCS-V трансформовано в систему функціональних етапів навчальної діяльності. Модель спрямована не лише на

активізацію мотиваційного компонента, а й на забезпечення структурованої організації процесу навчання, у межах якого інтегруються імерсивний досвід, дослідницька діяльність та саморегуляція учнів.

Особливістю моделі є включення імерсивного середовища вже на початковому етапі навчання – етапі мотиваційного занурення, що передуює поясненню теоретичного матеріалу. Такий підхід забезпечує виникнення когнітивного виклику, формування пізнавальної потреби та орієнтацію учнів на активне конструювання знань.

Реалізація функціонально-мотиваційної моделі навчання (рис. 4.4) забезпечується через систему дидактичних механізмів, що відповідають її функціонально-етапній структурі:

- на етапі мотиваційного занурення – через створення проблемних або контекстуальних ситуацій в імерсивному середовищі, які створюють когнітивний виклик, активізують увагу та забезпечують емоційно-когнітивне включення учнів у навчальну діяльність;

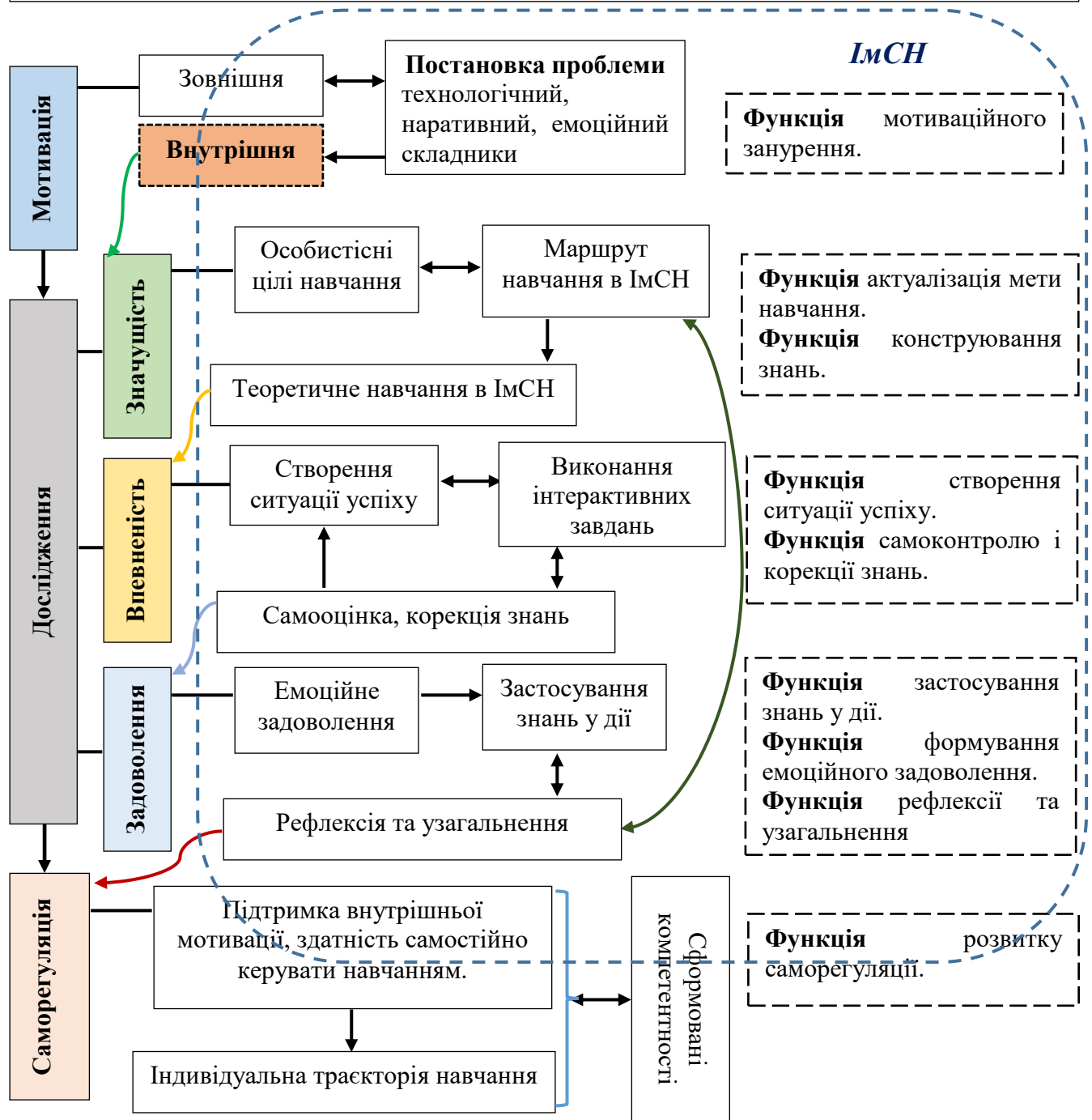
- на дослідницькому етапі – через інтеграцію різних видів пізнавальної діяльності (візуалізації, моделювання, експериментування, аналізу, співпраці), що реалізуються в імерсивному середовищі та забезпечують конструювання знань і формування впевненості у власних навчальних діях;

- у фазі задоволення – через організацію практико-орієнтованої діяльності, спрямованої на перенесення знань у змодельовані ситуації, наближені до реальних, що забезпечує усвідомлення результатів навчання та формує відчуття успішності;

- на етапі саморегуляції – через використання механізмів формувального оцінювання, візуалізації навчального прогресу та адаптації освітньої траєкторії, що сприяє розвитку здатності до планування, контролю та корекції власної діяльності;

- наскрізно в межах усіх етапів – через підтримку внутрішньої мотивації, що забезпечується поєднанням когнітивного виклику, дослідницької діяльності та позитивного емоційного досвіду взаємодії з навчальним змістом.

Мета: забезпечити організацію навчальної діяльності в імерсивному середовищі, що сприяє розвитку внутрішньої мотивації, саморегуляції та здатності учнів до самостійного конструювання і застосування знань.



Результат: сформована здатність учня до самостійного конструювання знань, їх застосування в змодельованих і реальних ситуаціях, а також до усвідомленого управління власною навчальною діяльністю на основі внутрішньої мотивації.

Рис. 4.4. Функціонально-мотиваційна модель з використанням ІмСН

Метою першого етапу – **мотиваційного** – є формування стійкого інтересу до теми, актуалізація внутрішніх мотивів навчання та початкове залучення учнів

до навчальної діяльності через імерсивне середовище. Відповідно до моделі ARCS-V Дж. Келлера, ключовим механізмом мотиваційного занурення є усвідомлений учнем розрив між наявними знаннями та бажаним рівнем розуміння, що виступає пусковим механізмом пізнавальної активності. Початковим кроком є постановка відкритої проблеми, яка створює когнітивну напругу, актуалізує пізнавальну потребу та стимулює дослідницьку активність учнів протягом усього навчання [161].

На цьому етапі імерсивне середовище виконує функцію когнітивного конфлікту: за допомогою візуалізації проблемної ситуації, експерименту або наративної симуляції формується відчуття навчальної невідповідності між очікуваним і дійсним. Це забезпечує реалізацію функції мотиваційного занурення, активізує увагу та формує пізнавальну потребу в опануванні нових знань.

Перехід до наступного етапу відбувається за умови сформованості первинної пізнавальної мотивації та прийняття учнем навчальної проблеми як особистісно значущої.

Другий етап – *дослідницький* – спрямований на конструювання знань у процесі активної пізнавальної діяльності в імерсивному середовищі. Він інтегрує компоненти значущості, впевненості та задоволення моделі ARCS-V і реалізується через систему взаємопов'язаних функцій: актуалізації мети навчання, конструювання знань, створення ситуації успіху та самоконтролю.

Фаза *значущості* забезпечує когнітивне налаштування та пов'язує новий матеріал з особистим досвідом учня. Учень аналізує проблемну ситуацію, формує індивідуальні цілі та обирає персоналізований маршрут навчання в імерсивному середовищі. Теоретичне опрацювання здійснюється через взаємодію з моделями, виконання інтерактивних завдань, спостереження за змодельованими процесами та аналіз зв'язків між елементами змісту. У такому контексті імерсивне середовище виступає повноцінним середовищем конструювання знань.

Фаза *впевненості* реалізується через організацію конструктивної діяльності, у якій учень має можливість експериментувати, припускати помилок та коригувати їх. Це забезпечує формування причинно-наслідкового мислення та

усвідомлення власного прогресу.

Фаза *задоволення* пов'язана із застосуванням знань у практико-орієнтованих ситуаціях, що моделюються в імерсивному середовищі. Виконання завдань, створення цифрових об'єктів та моделювання процесів забезпечують відчуття успішності та завершеності навчальної дії. На цьому етапі реалізуються функції застосування знань, формування емоційного задоволення, рефлексії й узагальнення результатів.

Перехід до етапу саморегуляції здійснюється за умови досягнення учнем достатнього рівня розуміння навчального матеріалу, здатності застосовувати знання та здійснювати їх первинну оцінку.

Третій етап – *саморегуляції* – спрямований на розвиток здатності учня до усвідомленого управління власною освітньою діяльністю. Водночас саморегуляція формується поступово впродовж усіх етапів моделі, а на завершальному етапі набуває системного характеру.

На цьому етапі реалізується функція розвитку саморегуляції, що передбачає оцінювання результатів навчання, рефлексію використаних стратегій та визначення подальшої освітньої траєкторії.

Імерсивне середовище створює умови для розвитку саморегуляції завдяки:

- інтерактивному формувальному оцінюванню з миттєвим зворотним зв'язком;
- візуалізації прогресу та порівнянню очікуваних і фактичних результатів;
- адаптації індивідуальної траєкторії навчання;
- підтримці наставницької діяльності вчителя.

На етапі саморегуляції активізуються елементи метарефлексії: учень оцінює якість та доцільність обраних стратегій, формує здатність до автономного управління навчанням. Такий підхід сприяє розвитку наскрізних компетентностей – відповідальності, ініціативності та вміння навчатися протягом життя. До завершення навчання в академічному ліцеї здобувач освіти має набути не лише предметних знань, а й сформованої здатності до усвідомленого та ефективного управління власною пізнавальною діяльністю.

На відміну від традиційного використання моделі ARCS-V, у запропонованій моделі її компоненти реалізуються через систему функцій, опосередкованих імерсивним середовищем, що забезпечує інтеграцію мотиваційних і когнітивних механізмів у єдину структуру навчальної діяльності (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Функціональна реалізація моделі ARCS-V в ІмСН

Функція	Процеси в межах імерсивного середовища	Компетентності
<i>A – Мотивація (увага)</i>		
мотиваційне занурення	– створення емоційно значущої проблемної ситуації через AR/VR-нарлативи; – первинне сенсорне дослідження (3D-об'єкти, симуляції); – формування навчальної установки та інтересу до теми.	здатність до навчання впродовж життя; ініціативність; ІКТ-компетентність.
<i>R – Значущість</i>		
актуалізація навчальної мети	– усвідомлення цінності змісту через імерсивну ситуацію; – співвіднесення з попереднім досвідом; – формулювання індивідуальних цілей на основі взаємодії з моделлю.	навчальна автономія, уміння ставити цілі, самоусвідомлення.
конструювання знань	– моделювання процесів і явищ; – взаємодія з інтерактивними об'єктами; – аналіз зв'язків і залежностей.	математична, природнича, ІКТ-компетентність, уміння вчитися.
<i>C – Впевненість</i>		
створення ситуації успіху	– виконання індивідуальних завдань; – поетапне досягнення цілей навчання; – накопичення позитивного досвіду.	емоційний інтелект, саморозвиток; підприємливість.
самоконтроль і корекція знань	– виявлення навчальних труднощів; – самооцінювання результатів; – повторне виконання завдань із корекцією.	критичне мислення; саморегульоване навчання.
<i>S – Задоволення</i>		
застосування знань у дії	– розв'язання практико-орієнтованих кейсових завдань;	інноваційність, проблемне

Функція	Процеси в межах імерсивного середовища	Компетентності
	– перенесення знань у нові навчальні ситуації; – створення цифрових продуктів.	мислення, підприємливість.
формування емоційного задоволення	– переживання успіху; – презентація результатів; – соціальна взаємодія.	емоційний інтелект, комунікативна компетентність; мотивація досягнення.
рефлексія та узагальнення	– аналіз результатів навчальної діяльності; – узагальнення досвіду; – встановлення зв'язків із попередніми знаннями.	саморефлексія, критичне мислення.
<i>V – Саморегуляція</i>		
розвиток саморегуляції	– планування індивідуальної траєкторії навчання; – управління часом і ресурсами; – вибір подальших навчальних цілей.	навчальна автономія; самоорганізація; здатність до навчання впродовж життя.

До ключових переваг функціонально-мотиваційної моделі організації навчання в імерсивному середовищі можна віднести:

– інтеграцію мотиваційних механізмів у структуру навчальної діяльності через систему функціональних етапів, що забезпечує цілеспрямоване формування внутрішньої мотивації як системотворчого компонента процесу навчання;

– використання імерсивного середовища як наскрізного педагогічного механізму мотиваційного впливу, що поєднує емоційно-когнітивне занурення з діяльнісним опрацюванням змісту та забезпечує виникнення пізнавальної потреби на початковому етапі навчання;

– структурування навчальної діяльності через функціональні етапи, узгоджені з компонентами мотиваційної моделі ARCS-V, що забезпечує логічну послідовність переходу від мотиваційного занурення до саморегуляції навчання;

– підтримку персоналізованих освітніх траєкторій завдяки варіативності

завдань, адаптивності імерсивного середовища та можливості індивідуального вибору темпу і способів опрацювання навчального матеріалу;

- посилення дослідницького та рефлексивного характеру навчальної діяльності, що забезпечує перехід від репродуктивного засвоєння знань до їх активного конструювання, застосування у змодельованих ситуаціях та осмислення отриманого досвіду;

- можливість інтеграції різних форматів навчання завдяки цифровій природі імерсивного середовища та його здатності підтримувати різні сценарії взаємодії учасників освітнього процесу в межах академічного ліцею.

Попри наявні переваги, функціонально-мотиваційна модель має певні обмеження, які необхідно враховувати під час її впровадження:

- високі вимоги до рівня педагогічного проєктування навчання, зокрема здатності вчителя конструювати мотиваційно насичені імерсивні сценарії; недостатня якість постановки проблемної ситуації або слабкий зв'язок із навчальним змістом може знижувати ефективність мотиваційного занурення;

- ризик формування ситуативної (зовнішньо стимульованої) мотивації у разі домінування ефектів новизни, візуалізації чи ігрових елементів над змістовим та пізнавальним складниками навчання;

- складність забезпечення збалансованості функціональних етапів моделі, що може призводити до надмірної концентрації на окремих компонентах на шкоду дослідницькій чи рефлексивній діяльності;

- ризик когнітивного та емоційного перевантаження учнів у разі надмірної інтенсивності сенсорних і мотиваційних стимулів або недостатньої узгодженості між технологічними та дидактичними компонентами навчання;

- значні витрати часу та ресурсів на розроблення і впровадження моделі, зокрема створення або адаптацію імерсивних навчальних матеріалів, організацію формуального оцінювання та підтримку індивідуальних освітніх траєкторій;

- обмежений доступ до якісних імерсивних ресурсів і технічної інфраструктури в окремих закладах освіти, що може ускладнювати масштабування моделі;

– неоднаковий рівень готовності учнів до саморегульованого навчання, що потребує поступового формування відповідних умінь і додаткової педагогічної підтримки, особливо на початкових етапах реалізації моделі.

У практичному застосуванні в умовах академічного ліцею доцільно здійснювати порівняльний аналіз процедурної та функціонально-мотиваційної моделей, оскільки вони репрезентують два якісно відмінні способи інтеграції імерсивного середовища. Процедурна модель акцентує на інструментально-підтримувальній функції імерсивного середовища, тоді як функціонально-мотиваційна модель розглядає його як наскрізний концептуально-організаційний простір. Інструктивно-діяльнісна модель виконує перехідну функцію, відображаючи еволюцію використання імерсивного середовища від засобу підтримки навчальних процедур до цілісного простору організації діяльності. У зв'язку з цим вона може бути інтерпретована як інтегративний варіант, елементи якого можуть реалізовуватися в обох моделях залежно від дидактичних цілей, етапів і умов навчання.

Такий підхід дає змогу зосередитися на особливостях дидактичних можливостей кожної моделі, специфіці ролі імерсивного середовища та характері формування компетентностей учнів, що представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Порівняльна таблиця процедурної та функціонально-мотиваційної моделей

Критерій	Процедурна модель	Функціонально-мотиваційна модель
Основна концепція моделі	Поетапне формування стійких процедур виконання навчальних дій шляхом їх багаторазового відпрацювання та адаптації із використанням імерсивного середовища як інструмента підтримки.	Організація навчання на засадах наскрізної інтеграції імерсивного середовища, спрямованої на активне конструювання знань, розвиток мотивації та залучення учнів до дослідницької діяльності з початкових етапів навчання.

Критерій	Процедурна модель	Функціонально-мотиваційна модель
Етапи навчання	1. Актуалізація та мотивація (постановка навчального завдання, пояснення теоретичних основ). 2. Відпрацювання та застосування знань (кероване виконання навчальних дій в імерсивному середовищі). 3. Контроль і рефлексія (формувальне оцінювання, корекція результатів).	1. Мотиваційне занурення (актуалізація інтересу, створення значущого контексту). 2. Дослідницький етап (самостійне або групове конструювання знань в імерсивному середовищі). 3. Саморегуляція та рефлексія (усвідомлення досягнень, корекція власної діяльності).
Роль імерсивного середовища	Інструмент методичної підтримки навчальних процедур, що забезпечує практичне відпрацювання, моделювання та застосування навчального змісту відповідно до заданого педагогічного алгоритму.	Наскрізний освітній простір для пізнавальної, дослідницької та мотиваційної діяльності, у межах якого відбувається конструювання знань і формування навчальної автономії учнів.
Мотиваційний аспект	Характеризується чіткою зовнішньою підтримкою мотивації з поступовим формуванням внутрішньої мотивації в процесі успішного виконання структурованих навчальних дій.	Орієнтована на формування та підтримку внутрішньої мотивації через емоційно-когнітивне занурення, проблемність завдань та орієнтацію на особистісно значущі цілі.
Когнітивне навантаження	Контрольоване, з акцентом на поетапне ускладнення навчальних дій та поступове	Регульоване через механізми саморегуляції та рефлексії; потребує педагогічного

Критерій	Процедурна модель	Функціонально-мотиваційна модель
	застосування знань у практичному контексті.	балансування для запобігання когнітивному перевантаженню.
Тип активності учня	Структурована індивідуальна або парна діяльність з елементами керованого дослідження.	Активна, дослідницька, творча діяльність, що поєднує індивідуальні та групові форми роботи.
Взаємодія з навчальними матеріалами	Стандартизована з обмеженою варіативністю, визначеною логікою навчальної процедури.	Індивідуалізована та варіативна, з можливістю вибору навчальної траєкторії та способів діяльності.
Методична спрямованість	Реалізація педагогічного алгоритму та забезпечення керованого засвоєння навчального матеріалу.	Створення умов для емоційно-когнітивного досвіду, розвитку автономії та відповідальності за навчальні результати.
Компетентнісна орієнтація	Формування предметних компетентностей, необхідних для виконання стандартних навчальних дій.	Формування ключових компетентностей із домінуванням дослідницьких складників.
Зона реалізації	Ефективна для трансформації базових знань у стійкі навчальні вміння.	Ефективна для проблемного, дослідницького, міжпредметного та проєктного навчання.

Обидві моделі мають значний потенціал для організації навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях, проте їх ефективність визначається дидактичною метою, змістом навчального матеріалу, рівнем підготовки учнів, технічними можливостями закладу освіти та готовністю педагогів до використання імерсивних технологій.

Процедурна модель вирізняється чіткою структурованістю та

контрольованістю процесу навчання. Вона особливо ефективна після первинного формування способів дії – на етапах закріплення, відпрацювання, алгоритмізації та перенесення знань у нові ситуації, коли імерсивне середовище виконує роль потужного інструменту моделювання та керованого застосування навчального змісту.

Функціонально-мотиваційна модель орієнтована на емоційно-когнітивне занурення, розвиток внутрішньої мотивації та активне конструювання знань. Вона створює умови для дослідницької діяльності, персоналізації навчання та формування навчальної автономії учнів, розглядаючи імерсивне середовище як наскрізний освітній простір.

Педагогічно обґрунтованим у профільному навчанні є поєднання обох моделей залежно від дидактичних завдань. Процедурну модель доцільно використовувати для систематизації, закріплення та алгоритмізації базового матеріалу, тоді як функціонально-мотиваційну – на етапах поглибленого опрацювання теми, організації дослідницької діяльності та досягнення компетентнісних результатів. Такий гнучкий підхід дає змогу максимально реалізувати дидактичний потенціал імерсивного середовища та забезпечити цілісний розвиток учнів. Особливо перспективним є інтегроване використання елементів усіх трьох моделей, що створює умови для комплексного розвитку ключових компетентностей через розв'язання практично значущих завдань.

Запропоновані моделі виступають взаємодоповнювальними варіантами організації навчальної діяльності в межах розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів. Кожна модель конкретизує технологічний компонент методичної системи відповідно до дидактичної мети, рівня підготовки учнів і характеру навчальної діяльності, визначаючи особливості реалізації цілей, змісту, методів, форм і засобів навчання. Варіативне або інтегроване використання моделей забезпечує гнучкість методичної системи, її ефективне функціонування в різних дидактичних ситуаціях та більш повну реалізацію педагогічного потенціалу імерсивних технологій.

4.2. Методики використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів

Методика навчання природничо-математичних предметів із використанням імерсивних технологій передбачає системний та диференційований підхід, що враховує різний рівень інтеграції імерсивного середовища у процес навчання. Основною метою такого підходу є підвищення ефективності засвоєння складних понять, розвиток просторового, критичного та дослідницького мислення, а також формування ключових компетентностей учнів. Методика передбачає комбінування традиційних та цифрових засобів навчання та описана для окремих тем / розділів природничо-математичних предметів.

4.2.1. Методика використання імерсивних технологій навчання геометрії. Розділ «Тіла обертання» є важливим складником курсу геометрії, що вивчається у старших класах академічного ліцею протягом кількох навчальних тижнів. Його зміст спрямований на формування просторових уявлень і вмінь, необхідних для подальшого вивчення елементів вищої математики, фізики, технічних дисциплін та інженерного моделювання. Водночас саме цей розділ традиційно викликає труднощі в учнів через високий рівень абстракції, потребу в оперуванні просторовими образами та встановленні зв'язку між плоскими фігурами і просторовими тілами.

Методика використання імерсивних технологій у вивченні тіл обертання ґрунтується на поетапному залученні учнів до просторового моделювання, дослідження та аналізу геометричних об'єктів в імерсивному середовищі з подальшим перенесенням отриманих результатів у знаково-символічну форму (побудова, застосування формул, аналітичні міркування). Імерсивні технології в межах цієї методики розглядаються як спосіб організації навчально-дослідницької діяльності, що забезпечує перехід від наочного образу до абстрактного узагальнення.

Зміст навчання у цьому розділі має інтегративний характер, оскільки спирається на знання з різних галузей шкільного курсу математики:

– з планіметрії – для розуміння утворення тіл обертання на основі плоских

- фігур і застосування формул для обчислення площ основ чи бічних поверхонь;
- зі стереометрії – для узагальнення знань про просторові фігури, властивості геометричних тіл і просторові відношення між ними;
 - з тригонометрії – для розв’язування задач, що передбачають застосування тригонометричних функцій під час знаходження елементів геометричних тіл;
 - з інтегрального числення – для формування уявлення про метод обчислення об’ємів тіл обертання складної форми.

Метою методики є формування цілісних просторових уявлень і практично орієнтованих знань про тіла обертання шляхом використання імерсивних технологій як інструменту просторового моделювання та дослідницької діяльності. Основними завданнями методики є:

- формування систематизованих знань про просторові фігури на основі їхньої динамічної візуалізації;
- розвиток умінь встановлювати зв’язок між плоскими фігурами та тілами, утвореними внаслідок їхнього обертання;
- формування навичок побудови тіл обертання, їхніх перерізів і комбінацій у віртуальному та реальному (графічному) середовищах;
- розвиток умінь застосування знань про тіла обертання у практичних і професійно орієнтованих ситуаціях.

Цілі навчання в межах методики структуровані з урахуванням поетапного формування просторових уявлень: від ідентифікації та візуалізації геометричних об’єктів до їхнього аналітичного осмислення й практичного застосування. Відповідність між цілями навчання, методами та засобами оцінювання й очікуваними результатами представлена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Цілі навчання та їх оцінювання в процесі вивчення тіл обертання

Цілі навчання	Методи та засоби оцінювання	Очікувані результати
Ідентифікувати основні тіла	– усні відповіді та участь в обговоренні;	– правильно називають і розпізнають тіла обертання;

Цілі навчання	Методи та засоби оцінювання	Очікувані результати
обертання (циліндр, конус, куля) та їхні елементи	– спостереження за роботою з 3D-моделями; – виконання ідентифікаційних завдань в імерсивному середовищі.	– пояснюють принцип їхнього утворення; – розрізняють тіла обертання серед інших геометричних об'єктів у реальному та віртуальному середовищах.
Візуалізувати та моделювати процес утворення тіл обертання, зокрема комбінованих	– виконання завдань із моделювання; – створення симуляційних об'єктів; – презентація візуалізацій.	– будують точні моделі тіл обертання; – пояснюють процес їхнього утворення; – проводять віртуальні дослідження.
Знати та застосовувати формули для обчислення площ поверхонь і об'ємів тіл обертання	– виконання письмових і тестових завдань; – розв'язування задач на дошці чи в цифрових середовищах; – виконання домашніх завдань із використанням навчальних застосунків.	– правильно записують і застосовують формули; – розв'язують типові задачі; – демонструють розуміння зв'язку між формулами й геометричними властивостями тіл.
Розв'язувати типові та симуляційні задачі, використовуючи дані з імерсивного середовища	– виконання практичних завдань у зошиті та в цифровому просторі; – перевірка правильності перенесення даних між середовищами.	– демонструють просторовий аналіз; – переносять знання між середовищами; – адаптують навички до різних форматів задач.
Аналізувати та оцінювати приклади практичного застосування тіл	– виконання групових і проєктних завдань; – обговорення кейсів; – презентація результатів досліджень із демонстрацією	– наводять приклади застосування тіл обертання в архітектурі, дизайні, інженерії; – аргументують практичну

Цілі навчання	Методи та засоби оцінювання	Очікувані результати
обертання в технічних і творчих галузях	в імерсивному середовищі.	цінність знань; – демонструють зацікавленість у професійному застосуванні.

Реалізація методики передбачає поетапну організацію навчальної діяльності. На етапі актуалізації знань провідним чинником виступає мотивація учнів до усвідомлення зв'язку між відомим і новим навчальним матеріалом. На цьому етапі застосовується проблемно-дослідницький метод, який в імерсивному середовищі реалізується через візуалізовану демонстрацію переходу від плоскої фігури до просторового тіла. Проблемні запитання, спрямовані на осмислення способів утворення тіл обертання та їхніх проявів у навколишньому середовищі, стимулюють пізнавальний інтерес і формують первинне уявлення про закономірності переходу від площини до простору.

Ключовим етапом методики є візуалізація процесу утворення тіл обертання. Її метою є забезпечення переходу від абстрактного уявлення до конкретного просторового образу. Розуміння способу утворення тіл є передумовою подальшого аналізу перерізів, самостійного виконання побудов і розв'язування задач. У межах методики 3D-візуалізації використовуються не як ілюстративний матеріал, а як інструмент керованої зміни параметрів і дослідження властивостей геометричних тіл.

Загалом візуалізація геометричних понять у поєднанні з імерсивними засобами сприяє формуванню просторового мислення, розвитку уяви та забезпечує підґрунтя для подальшого проєктування візуальних об'єктів у реальному середовищі [191].

Для візуалізації навчального матеріалу на етапі пояснення або роботи над проєктами можна використовувати GeoGebra 3D Calculator. Учитель може створювати власні візуалізації або використовувати готові об'єкти з каталогу платформи. На рис. 4.5 показано утворення конуса шляхом обертання

прямокутного трикутника навколо катета. Учні або вчитель на інтерактивній дошці можуть змінювати розміри катетів та досліджувати залежність форми конуса від радіуса та висоти.

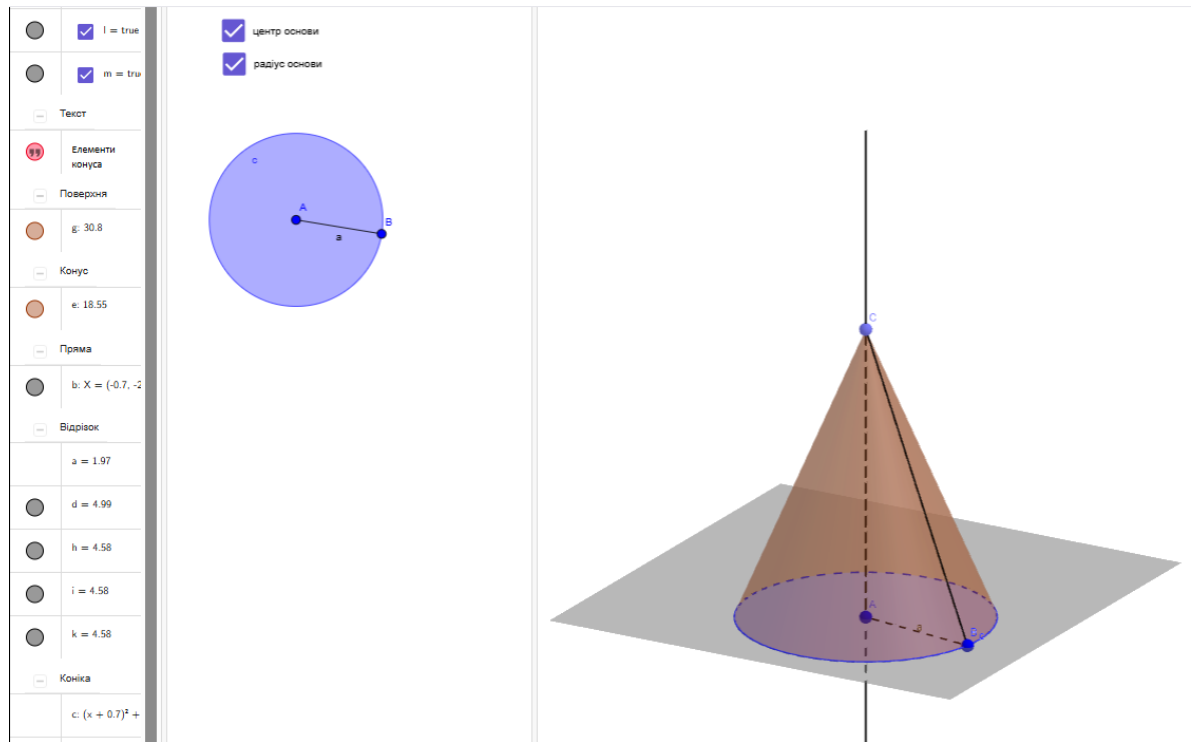


Рис. 4.5. Робота в GeoGebra 3D Calculator

Аналогічні дослідження можливі для перерізів конуса, зрізаних конусів або комбінацій конуса з іншими тілами, а також для циліндра і кулі.

Також ефективним є використання AR_Book, що містить компактний інтерактивний матеріал із тестовою перевіркою знань, та Khan Academy, що надає можливість поєднувати різні підходи для оптимізації навчання.

Після ознайомлення з візуалізованою моделлю обов'язковим є відображення тіла у зошиті. Поєднання імерсивної візуалізації з традиційним графічним відтворенням сприяє розвитку просторового мислення, формуванню вмінь аналізувати послідовність побудов і здійснювати перехід від просторового образу до креслення. У разі виникнення труднощів учні можуть використовувати мобільні застосунки для додаткової візуалізації, що забезпечує індивідуалізацію навчальної діяльності (рис. 4.6).

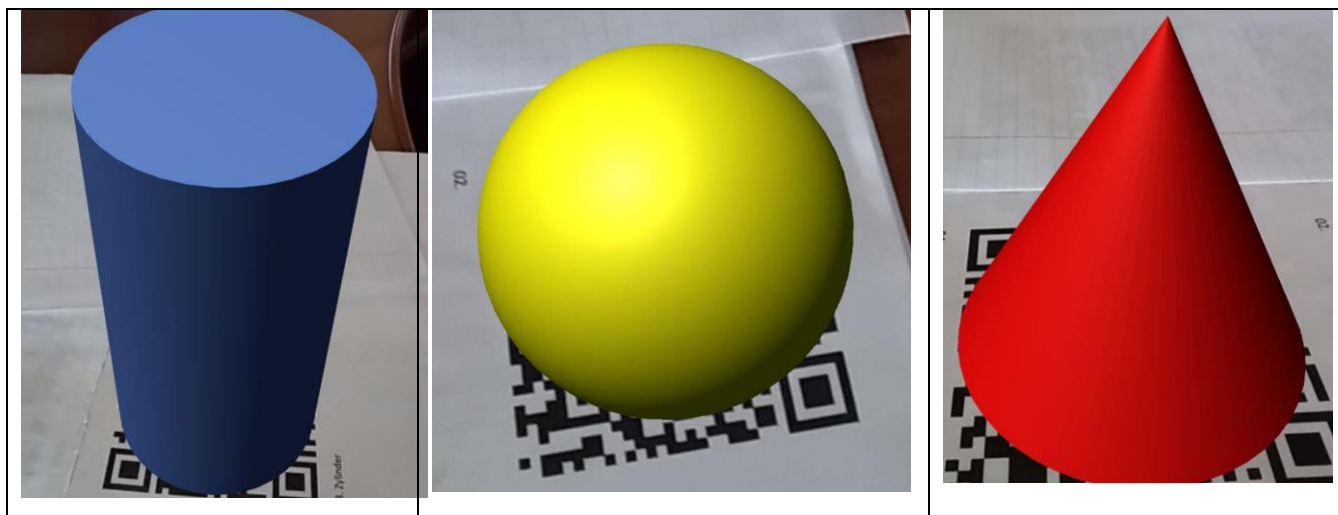


Рис. 4.6. Візуалізація тіл в мобільних застосунках

Для роботи в імерсивному середовищі рекомендується також використовувати Geometria RA, RA Augmented Polyhedrons та Sólidos RA, які сприяють відтворенню просторових моделей на мобільних пристроях.

Інтегративним етапом реалізації методики є проєктна діяльність, яка забезпечує повний цикл навчально-дослідницької роботи: від постановки завдання та моделювання до обґрунтування результатів. Метод проєктів у межах імерсивного середовища сприяє формуванню критичного мислення, аналітичних і творчих умінь, а також навичок командної роботи.

Як приклад проєктного завдання учням може бути запропоновано дослідження тіл обертання, утворених унаслідок обертання довільних плоских фігур відносно заданої осі, з подальшим визначенням їхнього об'єму або площі поверхні. Учні моделюють відповідні тіла в цифрових середовищах, самостійно обирають параметри, визначають алгоритм розв'язання задачі та обґрунтовують вибір методів обчислення. У таких завданнях доцільно уникати фіксованих числових даних, що забезпечує варіативність рішень і можливість використання як елементарної геометрії, так і інтегрального числення.

На рис. 4.7 показано візуалізацію обертання паралелограма $ABCD$ навколо прямої, що лежить у площині паралелограма, проходить через вершину A перпендикулярно до сторони AB паралелограма. Учні можуть моделювати утворене тіло в GeoGebra 3D Calculator, Math3D або Tinkercad залежно від

власного рівня розуміння та визначати алгоритм розв'язання задачі.

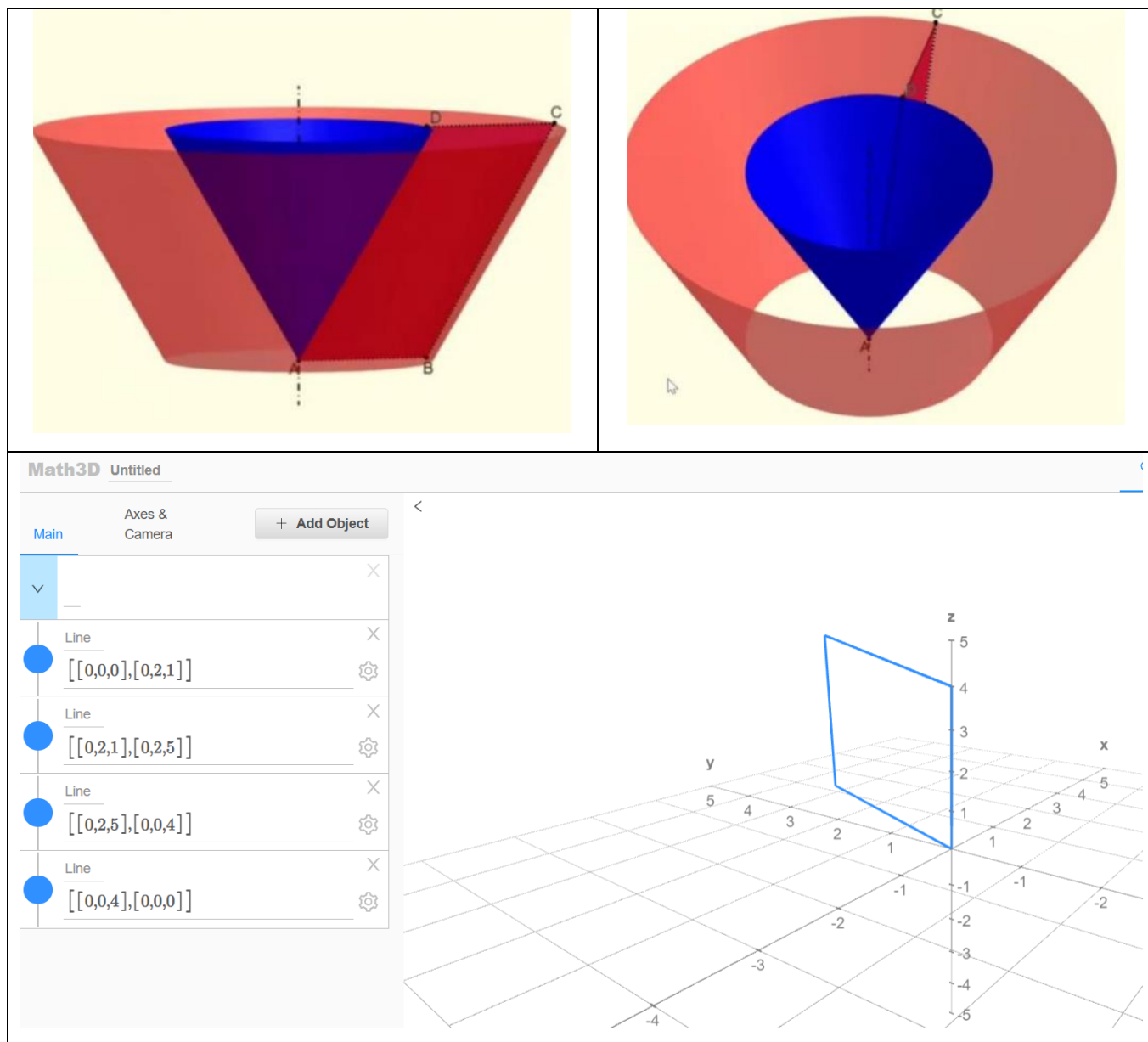


Рис. 4.7. Візуалізація задачі в різних середовищах

Виконання таких проєктів може замінити підсумкове оцінювання, оскільки вони передбачають інтеграцію знань із різних розділів, моделювання задач та розвиток самостійної пізнавальної діяльності. Завдяки варіативності вихідних даних учні мають можливість самостійно моделювати задачу, приймати обґрунтовані рішення, обирати оптимальні способи розв'язання та критично осмислювати отримані результати.

Принципами організації проєктної роботи є: 1) формулювання відкритих задач із кількома підходами до розв'язання; 2) поєднання традиційних методів із

цифровим моделюванням; 3) рефлексія через презентацію результатів.

Оцінювання проєктних робіт здійснюється за багатовимірною шкалою, що передбачає аналіз коректності математичного моделювання, точності розрахунків, логіки міркувань, рівня використання візуалізації та аргументованості захисту розв’язання. Такий підхід забезпечує об’єктивність оцінювання незалежно від обраних учнями параметрів задачі. Запропонована методика використання імерсивних технологій під час вивчення розділу «Тіла обертання» забезпечує системне формування знань і вмінь: від розуміння процесу утворення просторових тіл до практичного застосування формул обчислення площ і об’ємів. Поєднання імерсивних технологій (GeoGebra 3D Calculator, Math3D, ARBook, Geometria RA тощо) із традиційними методами геометрії створює умови для активного експериментування та самостійного дослідження, а проєктна діяльність виступає підсумковою формою реалізації методики. Методика є відтворюваною в умовах академічного ліцею та може бути адаптована до різних рівнів підготовки учнів через варіативність імерсивних засобів і навчальних завдань.

4.2.2. Методика використання імерсивних технологій навчання алгебри. Розглянемо методику використання імерсивних технологій під час вивчення розділу «Дослідження функцій та побудова їх графіків». Функція є першою математичною моделлю, з якою системно працюють учні у шкільному курсі математики, тому розуміння її властивостей та вміння інтерпретувати графічне зображення становлять основу подальшого опанування алгебри, геометрії, фізики та інформатики. Традиційно теми цього розділу входять до завдань ЗНО та НМТ, однак залишаються складними для більшості випускників.

Основні труднощі у засвоєнні теми «Дослідження функцій та побудова їх графіків» зумовлені низкою чинників:

- складністю переходу між різними репрезентаціями функції (аналітичною, табличною, графічною), що перешкоджає узгодженню теоретичних знань із їх візуальними проявами;

- недостатнім рівнем сформованості графічної культури учнів, тобто вміння аналізувати графік, встановлювати властивості функції за його зовнішнім

виглядом;

– фрагментарним сприйняттям великої кількості властивостей функцій (область визначення, парність, періодичність, монотонність, екстремуми, опуклість, асимптоти тощо) без усвідомлення їх логічної взаємозалежності;

– недостатнім розумінням параметричних змін, коли учні не бачать впливу зміни параметрів на поведінку графіка;

– обмеженою наочністю й відсутністю динамічного зворотного зв'язку, що знижує дослідницький інтерес та мотивацію;

– недооцінкою у шкільній практиці потенціалу дослідницьких завдань і міжпредметних зв'язків.

У першому семестрі 10 класу, коли триває адаптація учнів до вимог академічного ліцею та здійснюється узагальнення знань, набутих у 7-9 класах, доцільно впроваджувати уніфіковану систему вивчення функцій, яка поєднує традиційні методи і можливості імерсивного середовища. Такий підхід забезпечує не лише систематизацію знань, а й формування стійких когнітивних схем, що лежать в основі розуміння функціональної залежності.

Одним із головних завдань навчання математики є розвиток графічної культури учнів. Це зумовлено практичними потребами, оскільки робота з графіками, діаграмами, схемами та кресленнями сприяє формуванню прикладного змісту математики, що посилює її значущість для учнів. Під час вивчення функцій особливу увагу слід приділити формуванню в учнів умінь встановлювати властивості функції за її графіком, будувати ескізи графіків функцій за формулою, за набором даних або шляхом геометричних перетворень графіків елементарних функцій. Необхідно навчити учнів за графіком функції визначати її неперервність, точки розриву, проміжки зростання і спадання, нулі, найбільше та найменше значення.

Пропедевтичне ознайомлення з поняттям функції розпочинається ще в початковій школі, коли учні засвоюють ідею залежності між величинами. Упродовж навчання в основній школі ці уявлення поступово конкретизуються, що створює основу для усвідомлення функціональних зв'язків у 7-му класі [558]. У

старшій школі постає завдання систематизувати, узагальнити та перевести знання на рівень дослідницької діяльності, де учні не лише спостерігають, а й моделюють поведінку функцій.

Імерсивні технології стають ефективним інструментом цього переходу, оскільки забезпечують мультисенсорне сприйняття та просторове мислення, що є ключовими для розуміння функціональних залежностей. Їх використання підсилює аналітичний компонент навчання завдяки моделюванню змін параметрів, порівнянню різних функцій і візуалізації складних понять.

До засобів, що можуть бути використані для організації навчання функцій з урахуванням імерсивного підходу, належать:

- графічні калькулятори та середовища 3D-візуалізації (GeoGebra, Desmos, Function Plotter), які дають змогу виконувати експерименти з параметрами та порівнювати вплив їх зміни на форму графіка;

- інтерактивні навчальні платформи та симулятори (Khan Academy, PhET Interactive Simulations), що сприяють формуванню дослідницьких навичок і розвитку аналітичного мислення;

- застосунки доповненої реальності, які допомагають інтегрувати математичні моделі в реальний контекст, створюючи ефект присутності та глибшого розуміння функціональних залежностей.

Таким чином, використання імерсивних технологій під час вивчення функцій дозволяє перейти від репродуктивного засвоєння матеріалу до дослідницького навчання, коли учень не лише бачить графік, а й взаємодіє з ним, змінює параметри, аналізує наслідки та робить власні висновки.

Виокремимо особливості запропонованої методики використання імерсивних технологій навчання у процесі вивчення розділу «Функції» порівняно з традиційною методикою навчання, що не передбачає застосування імерсивних технологій (табл. 4.5). Порівняльний аналіз свідчить, що запропонована методика розширює можливості традиційних підходів до навчання за рахунок інтеграції засобів доповненої реальності, просторової візуалізації та інтерактивної взаємодії з математичними об'єктами. Це створює умови для переходу від переважно

репродуктивної діяльності до дослідницько-аналітичної, оскільки учні можуть інтерактивно досліджувати вплив зміни параметрів на властивості функцій, перевіряти висунуті гіпотези та інтерпретувати отримані результати.

Таблиця 4.5

Порівняльна таблиця методик

Критерій	Традиційна методика	Методика з використанням імерсивних технологій
Дидактичні критерії		
<i>Візуалізація навчального матеріалу</i>	Статичні або динамічні зображення, демонстрація графіків засобами підручника чи цифрових ресурсів.	Просторова та інтерактивна візуалізація математичних об'єктів із використанням AR і динамічних моделей.
<i>Робота з параметрами</i>	Побудова та аналіз графіків вручну або із застосуванням цифрових засобів.	Інтерактивне дослідження впливу зміни параметрів на властивості функцій у цифровому імерсивному середовищі.
<i>Тип діяльності учнів</i>	Виконання вправ за зразком, розв'язування типових задач.	Дослідницька діяльність, моделювання, перевірка гіпотез
<i>Характер подання змісту</i>	Послідовне пояснення понять та демонстрація прикладів.	Інтерактивна взаємодія з цифровими моделями, дослідження математичних залежностей.
Психолого-педагогічні критерії		
<i>Мотивація</i>	Формується переважно засобами навчального матеріалу та педагогічної підтримки вчителя.	Посилюється завдяки контекстуалізації навчального матеріалу, просторовій візуалізації та інтерактивній взаємодії.
<i>Емоційно-когнітивна залученість</i>	Переважно вербальне та візуальне сприйняття навчального матеріалу.	Підвищена залученість завдяки ефекту присутності, інтерактивності та просторовій взаємодії з цифровими

Критерій	Традиційна методика	Методика з використанням імерсивних технологій
		об'єктами.
<i>Зворотний зв'язок</i>	Надається переважно після виконання навчального завдання.	Оперативний інтерактивний зворотний зв'язок під час виконання навчальних дій, візуалізація результатів і помилок.
Технологічні критерії		
<i>Тип середовища</i>	Традиційне навчальне середовище з можливим використанням цифрових засобів навчання.	Імерсивне середовище навчання (AR-застосунки, інтерактивні симулятори, 3D-графічні платформи).
<i>Інтерактивність</i>	Взаємодія переважно через пояснення, демонстрації та виконання навчальних завдань.	Безпосередня інтерактивна взаємодія учня з цифровими математичними об'єктами.
<i>Можливість індивідуалізації</i>	Обмежені темпом роботи класу та навчальними матеріалами.	Підтримка індивідуального темпу дослідження, вибору послідовності виконання завдань і багаторазового виконання навчальних дій.

Обов'язковим складником методики навчання математики є відпрацювання практичних навичок у середовищах, відмінних від імерсивного. Це зумовлено необхідністю формування стійкого та усвідомленого засвоєння навчального матеріалу, що передбачає здатність учнів рефлексувати над власною навчальною діяльністю і застосовувати набуті знання в різних контекстах. Імерсивне середовище при цьому виступає інструментом підтримки, який підвищує ефективність опанування абстрактних понять та полегшує процес їхнього усвідомлення.

У процесі вивчення функцій ключовим є формулювання мотиваційно-функціональних дослідницьких питань, які спрямовують учнів до активного занурення в імерсивне середовище для виконання відповідних операцій з

функціями. Такий підхід забезпечує цілеспрямовану навчальну діяльність, що поєднує мотивацію з практичним застосуванням знань у реальному часі.

Для організації роботи в імерсивному середовищі при повторенні або вивченні тем зазначеного розділу доцільними будуть такі методи: 1) методи формування мотиваційно-пізнавального інтересу; 2) методи розвитку відповідальності у навчанні; 3) методи компенсації навчальних втрат; 4) методи стимулювання творчості та самовираження; 5) методи співпраці та комунікативних умінь. Опишемо реалізацію деяких методів.

Повторення, узагальнення та систематизація навчального матеріалу із застосуванням методу навчання через історії «Архітектори мостів майбутнього».

Сюжет: Ви – команда інженерів, які за допомогою імерсивних засобів повинні спроектувати мости для нової транспортної мережі. Замовник просить зробити два типи мостів: 1) прямий проліт (описується лінійною функцією); 2) арковий міст (описується квадратичною функцією).

Завдання:

1. Визначити функції, що описують обидва типи мостів.

2. У середовищі GeoGebra 3D або Desmos 3D підібрати координати опор мостів:

– для прямого прольоту – знайти коефіцієнти k і b , щоб платформа ідеально з'єднала опори;

– для аркової конструкції – за трьома точками (дві опори та вершина арки) визначити рівняння квадратичної функції.

3. Перевірити стійкість конструкцій при зміні параметрів.

Опишемо можливу реалізацію практичної роботи в Desmos 3D:

1. Учні вводять загальний вигляд лінійної функції ($y = ax + b$) та активують повзунки для зміни коефіцієнтів. Змінюючи значення коефіцієнтів a і b , вони спостерігають, як змінюється графік функції. Така динамічна візуалізація сприяє формуванню інтуїтивного розуміння впливу параметрів на положення й нахил прямої, надає можливість швидко зробити висновки щодо зростання / спадання функції, розміщення графіка відносно осей координат тощо (рис. 4.8).

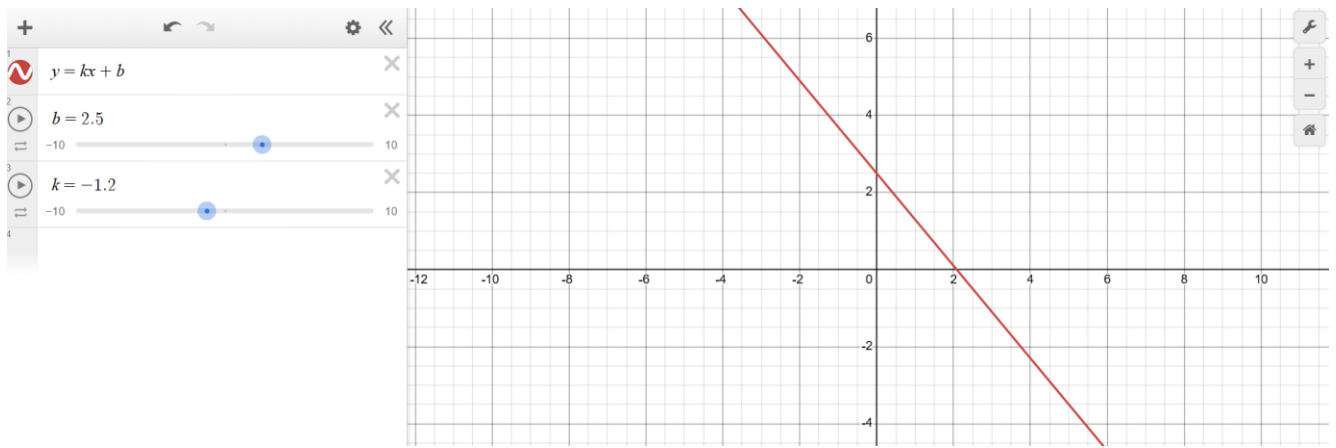


Рис. 4.8. Візуалізація дослідження лінійної функції

2. Для квадратичної функції учні задають її загальний ($y = ax^2 + bx + c$) або вершинний ($y = a(x - h)^2 + k$) вигляд. Використання повзунків надає можливість спостерігати зміну форми параболи, положення вершини, симетрію та точки перетину з віссю Oy .

Візуалізація також формує в учнів уміння швидко створювати ескізи графіків за допомогою параметрів функції, що значно підвищує ефективність розв'язування завдань різного рівня складності (рис. 4.9).

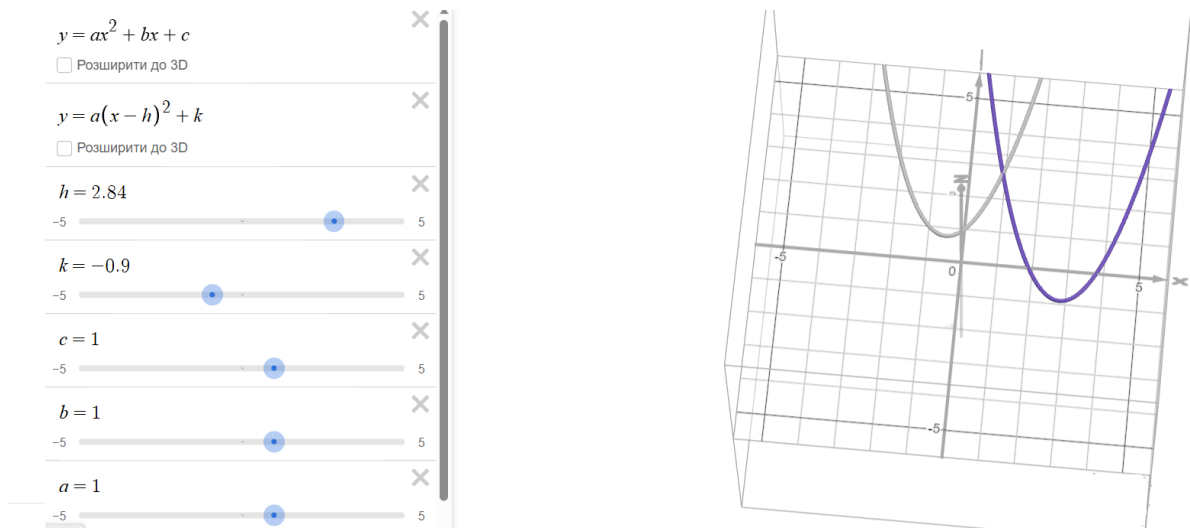


Рис. 4.9. Візуалізація дослідження квадратичної функції

Поставивши позначку у вікні «Розширити до 3D», учні можуть спостерігати, як графік квадратичної функції перетворюється з плоскої параболи на просторову поверхню – параболоїд обертання (у разі обертання навколо осі). Така візуалізація дає змогу глибше усвідомити зв'язок між двовимірним графіком

і тривимірною фігурою, сформувати уявлення про об'ємні геометричні моделі, які лежать в основі прикладних задач.

Цей досвід може бути використаний як підґрунтя для інтеграції понять з алгебри та геометрії, зокрема при вивченні тіл обертання, побудові моделей у курсі інформатики або розв'язуванні задач прикладного характеру, пов'язаних із рухом, оптикою чи економічними процесами (рис. 4.10).

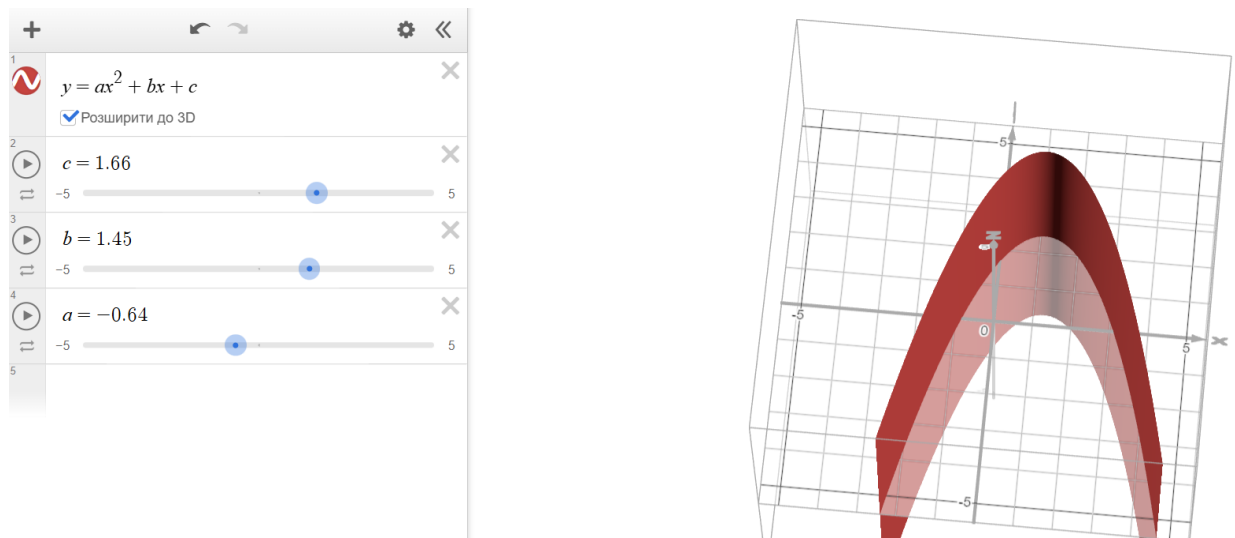


Рис. 4.10. Вікно програми Desmos

Такі завдання доцільно використовувати як під час індивідуальної, так і під час групової навчальної діяльності. Подібно до середовища GeoGebra, платформа Desmos надає вчителю можливість конструювати власні інтерактивні завдання або застосовувати готові сценарії з бібліотеки Desmos Classroom Activities, що розширює дидактичний потенціал ресурсу.

З метою реалізації методу компенсації навчальних втрат ефективним є використання функції «Snapshots», яка надає можливість фіксувати результати індивідуальних або групових досліджень для подальшого колективного аналізу. Такий підхід сприяє розвитку рефлексивного мислення, формуванню навичок самооцінювання та взаємооцінювання, а також підвищує рівень залученості учнів у процес обговорення способів розв'язання навчальних задач. Крім того, робота в імерсивному середовищі забезпечує індивідуалізацію темпу навчання, оскільки кожен здобувач освіти може виконувати завдання у власному ритмі, отримуючи миттєвий зворотний зв'язок щодо правильності дій. Це сприяє підвищенню

мотивації до навчання та формуванню глибшого розуміння змісту навчального матеріалу [564].

Розглянемо одне з можливих інтерактивних завдань із бібліотеки функцій (рис. 4.11 а) та його виконання (рис. 4.11 б).

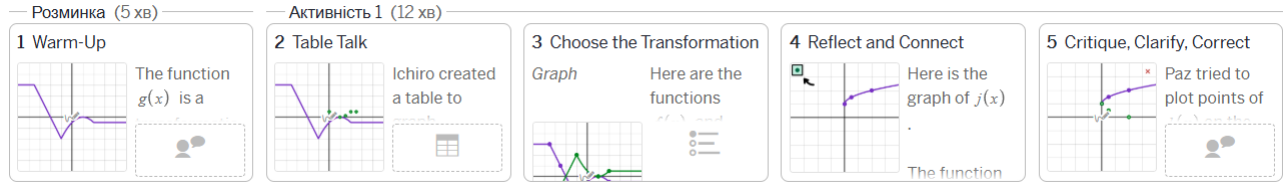


Рис. 4.11 а) Бібліотека готових завдань

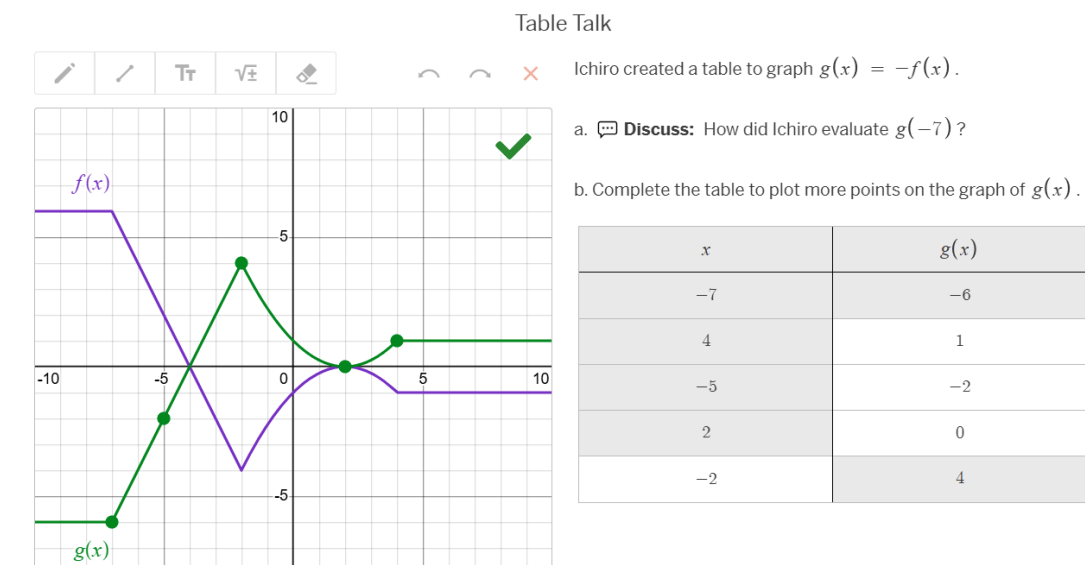


Рис. 4.11 б) Візуалізація виконаного завдання

Ще одним ефективним іммерсивним ресурсом для дослідження властивостей функцій є Graphing Calculator 3D, використання якого доцільне як у груповій, так і в індивідуальній формах роботи. Застосування цього ресурсу дає змогу вчителю створювати й надавати учням уніфіковані приклади функціональних залежностей, що забезпечує можливість працювати у власному темпі та обирати зручний формат візуалізації – двовимірний (2D) або тривимірний (3D). Зміна параметрів функцій у режимі реального часу сприяє формуванню глибшого розуміння закономірностей зміни графіків, виявленню впливу коефіцієнтів на форму та розміщення кривих. Візуалізація просторових об'єктів у середовищі Graphing Calculator 3D стимулює розвиток просторового й аналітичного мислення, що є

важливою умовою подальшого засвоєння складніших математичних понять (рис. 4.12).

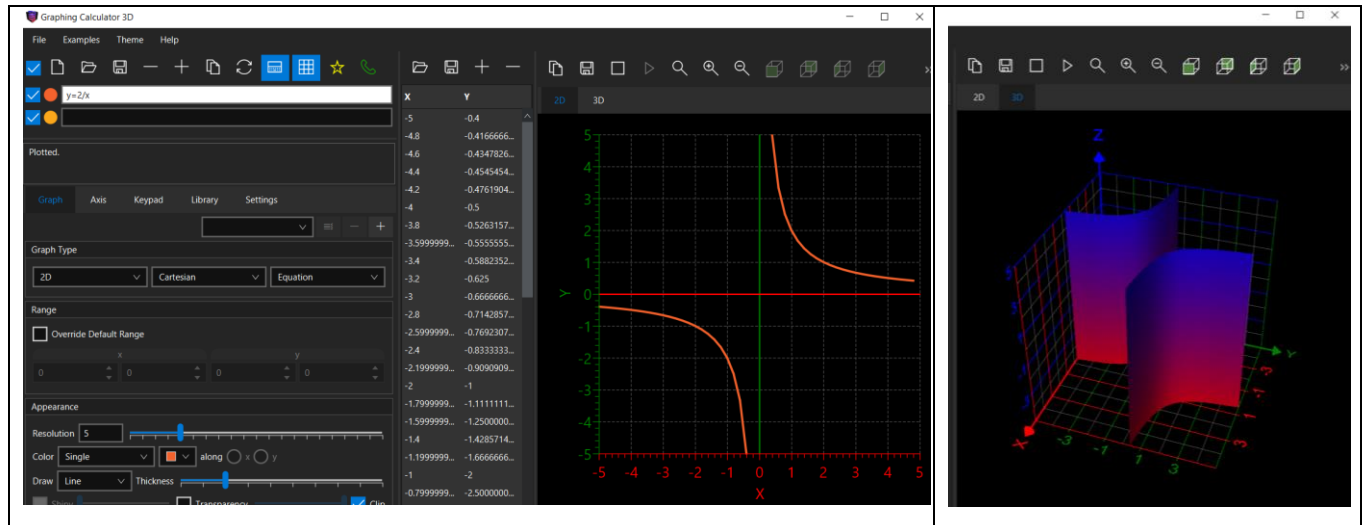


Рис. 4.12. Вікно програми Graphing Calculator 3D

Для організації індивідуальної роботи доцільно використовувати мобільні застосунки або платформи, які надають учням можливість працювати з функціями у власному темпі. Зокрема, мобільний застосунок 3D Graphing Calculator дозволяє швидко візуалізувати графіки функцій у тривимірному просторі та досліджувати їхню поведінку в інтерактивному режимі (рис. 4.13). Такий інструмент сприяє активізації навчальної діяльності, розвитку просторового мислення та формуванню вміння аналізувати функціональні залежності.

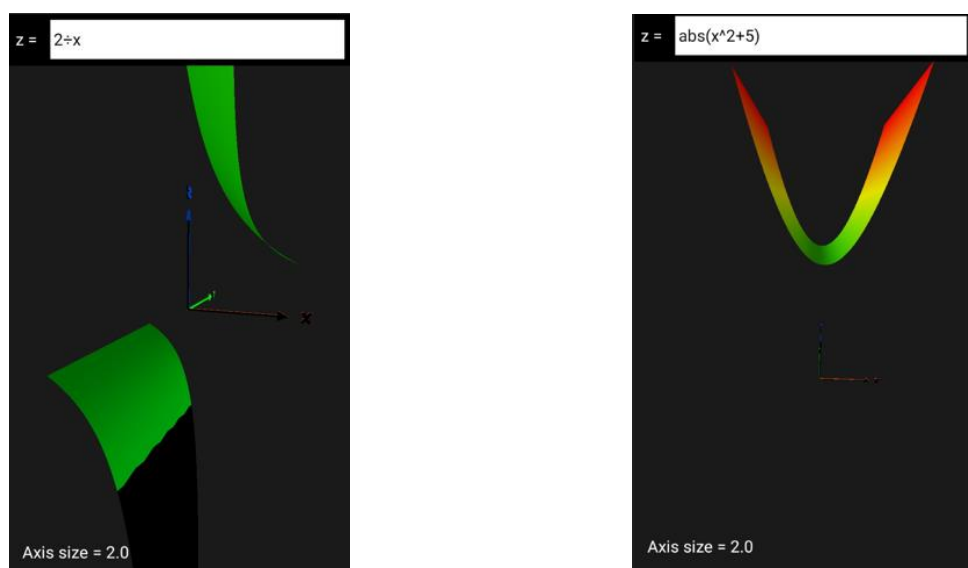


Рис. 4.13. Візуалізація функцій в 3D Graphing Calculator

Для організації профільного навчання математики в межах розділу «Функції» особливу методичну цінність мають сучасні онлайн-середовища Math3D та CalcPlot3D, призначені для візуалізації функцій у тривимірному просторі. Обидва інструменти забезпечують інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для побудови та дослідження графіків поверхонь, кривих, векторів і функцій двох змінних, надаючи можливість інтерактивного налаштування параметрів, обертання моделей, а також створення анімацій.

Середовище *Math3D* відзначається простотою використання та зручністю організації навчальної взаємодії: створені вчителем або учнями візуалізації можна зберігати та поширювати за допомогою унікальних URL-адрес, що сприяє організації індивідуальної, парної чи групової роботи в синхронному або асинхронному режимі. *CalcPlot3D*, орієнтований насамперед на освітнє застосування, пропонує розширений набір інструментів для аналітичного дослідження поверхонь, що створює можливості для глибшого вивчення математики.

Використання зазначених сервісів у процесі профільного навчання природничо-математичних предметів є педагогічно доцільним, оскільки вони сприяють формуванню просторового мислення, розвитку дослідницьких компетентностей і реалізації міжпредметних зв'язків із фізикою, інформатикою та технологіями моделювання. Інтерактивність, динамічність і доступність цих середовищ створюють умови для підвищення навчальної мотивації та ефективнішого засвоєння абстрактних математичних понять.

Розглянуті програмні середовища належать до візуально-інформаційного та інтерактивно-маніпулятивного типів занурення, що відповідає середньому рівню імерсивності [212]. У зв'язку з цим доцільним є подальший аналіз програм із високим рівнем імерсивності, зокрема таких, як проєкт Augmented Math [63], який орієнтований на організацію дослідницької діяльності учнів у доповненій або змішаній реальності (рис. 4.14).

Попри те, що учні академічних ліцеїв навчаються у 10-12 класах, у період адаптації до підвищених вимог профільного навчання доцільним є використання

ігрових методів як ефективного засобу підтримання мотивації та позитивного ставлення до математики, що сприятиме зниженню рівня тривожності, формуванню пізнавального інтересу до предмета та створенню ситуації успіху.

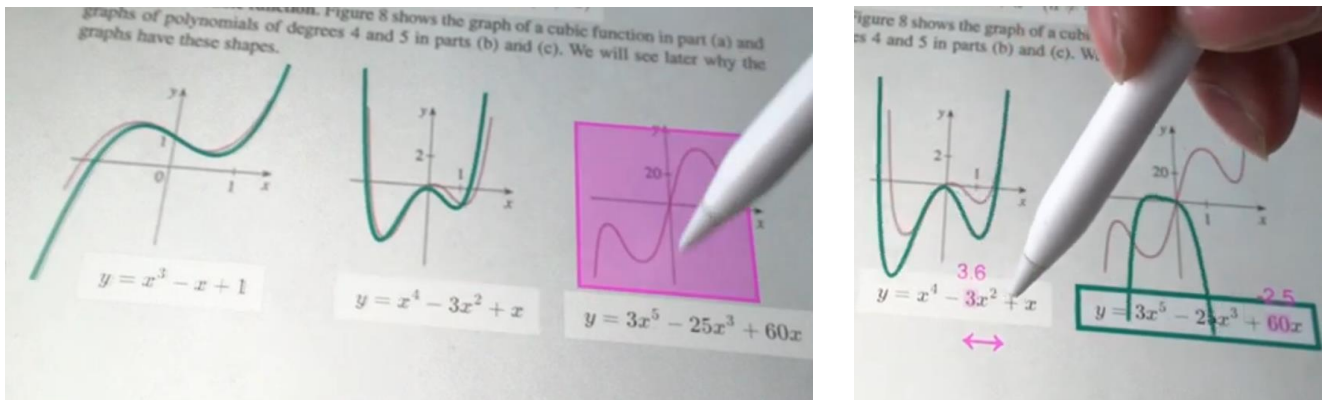


Рис. 4.14. Візуалізація роботи з графіками функцій

Особливо ефективним є застосування таких підходів під час повторення теми «Функції», коли учні вже володіють базовими навичками побудови та аналізу графіків. Після опанування інструментів конструювання функцій у середовищі PhET Interactive Simulations доцільно організувати навчальні ігри-дослідження, у яких здобувачі освіти виконують завдання з моделювання функціональних залежностей, змагання на точність побудови або визначення властивостей функцій за динамічними графіками (рис. 4.15).

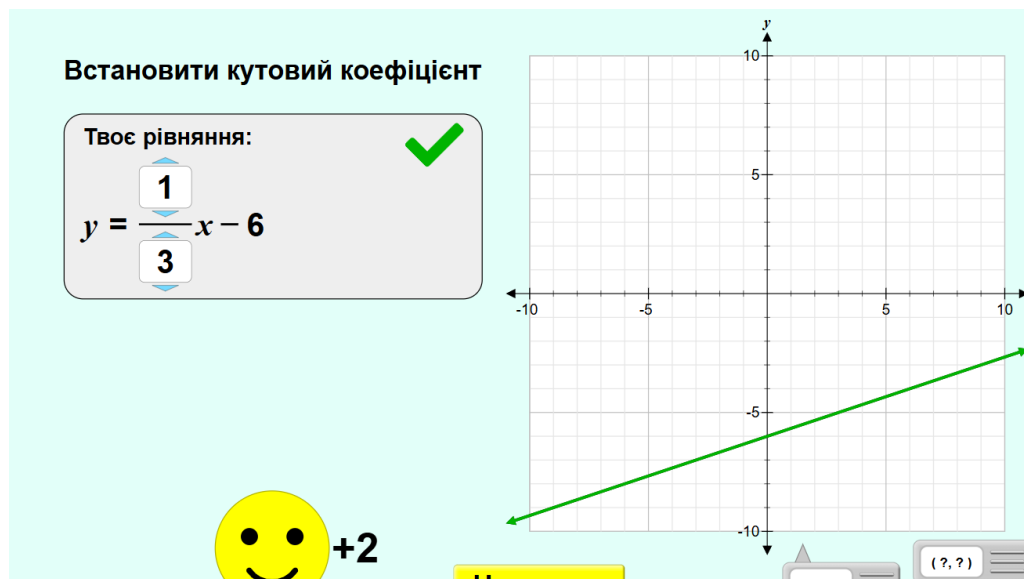


Рис. 4.15. Ігрове середовище в PhET Interactive Simulations

Такий підхід забезпечує перехід від тренувальної діяльності до творчо-

дослідницької, стимулює самостійність мислення й сприяє поступовій адаптації учнів до імерсивного формату навчання.

Всі розглянуті програмні середовища сприяють формуванню декларативних (знання означень, властивостей, формул) та процедурних знань (уміння будувати й досліджувати графіки функцій) у контексті їхніх геометричних інтерпретацій. Водночас для розвитку концептуальних знань, що передбачають розуміння взаємозв'язків між математичними поняттями та їх прикладного змісту, важливо забезпечити перехід від абстрактного моделювання до практичного застосування функцій як у межах курсу математики, так і в міжпредметних контекстах.

Для реалізації цього підходу доцільно використовувати дослідницькі проекти, які можуть бути інтегровані як у профільне, так і в позапрофільне навчання. Наприклад, мобільний застосунок GeoGebra AR надає можливість створювати математичні моделі реальних об'єктів: визначати їхні ключові точки у просторі, будувати на цій основі функції, що описують форму або контури об'єкта, та аналізувати отриману модель у тривимірному режимі (рис. 4.16).

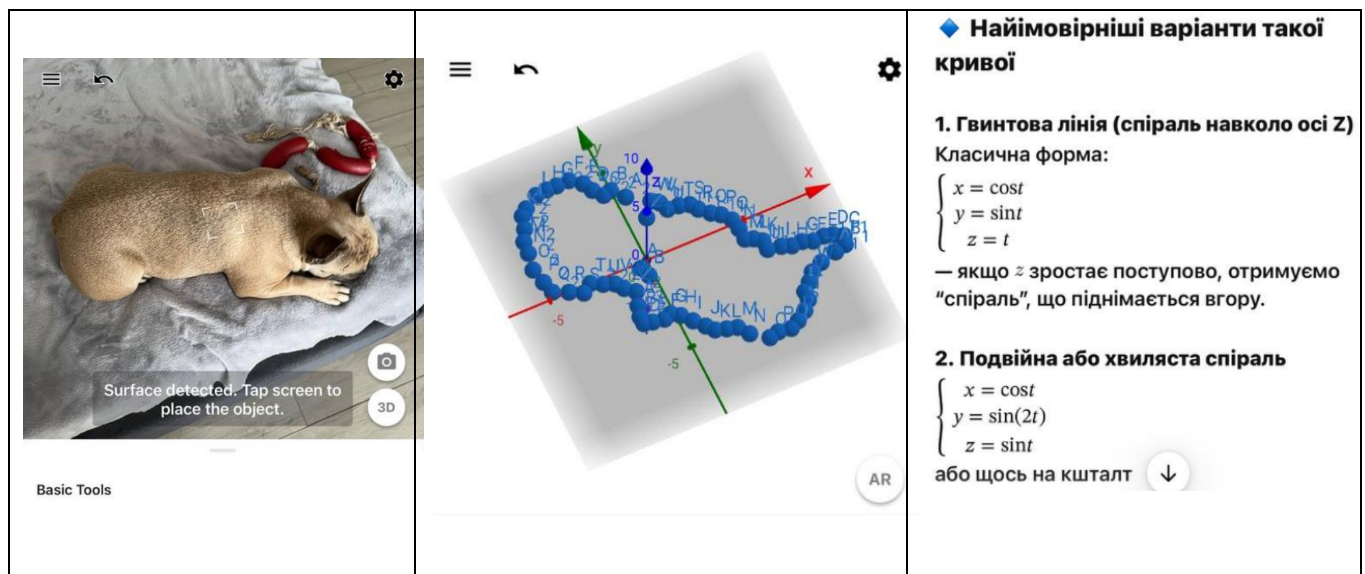


Рис. 4.16. Робота в GeoGebra AR, виконана ученицею 10 класу рівня стандарт

Подібні завдання мають підвищену складність і потребують достатнього часу для виконання, тому можуть використовуватися як дослідницькі мініпроекти або завдання для тематичного оцінювання, спрямовані на інтеграцію математичних знань із реальними ситуаціями. При вивченні теми «Показникова

функція» міжпредметні проєкти можуть бути організовані з усіма предметами природничого циклу, що демонструє широкий спектр практичного застосування цієї функції. Одним із таких проєктів є «Температурна залежність ферментативної активності», який дозволяє інтегрувати знання з математики, інформатики, біології та хімії в межах одного дослідницького завдання. Для ефективної візуалізації процесу доцільно використовувати кілька цифрових ресурсів: для демонстрації механізму впливу – PhET Interactive Simulations; для збору кількісних даних про активність ферментів – Biology Simulations – Enzyme Simulation; для обробки та аналізу результатів – будь-який із раніше описаних сервісів для роботи з графіками та 3D-моделями.

Ще одним перспективним програмним продуктом є відкрита бібліотека Manim (Mathematical Animation Engine), розроблена спеціально для візуалізації математичних ідей. Вона написана мовою Python і дозволяє створювати точні, динамічні та інтерактивні анімації. Учні академічних ліцеїв із профільним вивченням інформатики можуть використовувати Manim у межах інтегрованих курсів для створення функціональних візуалізацій явищ навколишнього світу. Такий підхід сприяє не лише формуванню концептуальних знань, а й надає можливість накопичувати власну бібліотеку навчальних матеріалів закладу освіти (рис. 4.17).

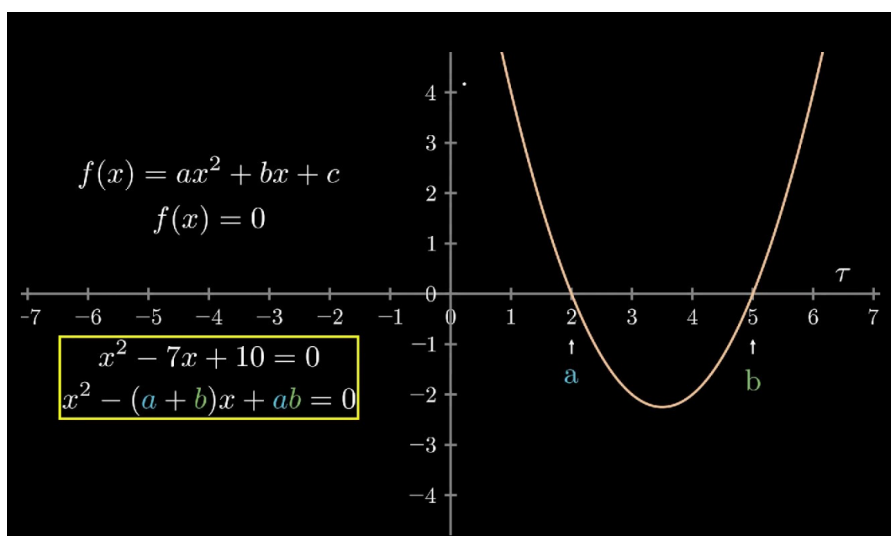


Рис. 4.17. Робота в середовищі Manim

Методика використання імерсивних технологій при вивченні функцій

забезпечує інтеграцію дослідницької, графічної та практичної діяльності учнів, поєднуючи динамічну візуалізацію, роботу з параметрами та міжпредметну інтеграцію. Завдяки застосуванню різних цифрових середовищ учні отримують можливість формувати декларативні, процедурні та концептуальні знання, розвивати просторове мислення та критичні компетентності, а також працювати індивідуально та в групах, що підвищує ефективність навчання та мотивацію до опанування складних математичних понять.

Доцільним при вивченні математики було б використання платформи MATHia від Carnegie Learning, яка, працюючи на основі ШІ, персоналізує процес навчання, сприяє організації рефлексії, але на цей момент є платною.

4.2.3. Методика використання імерсивних технологій навчання фізики.

У процесі вивчення фізики в академічних ліцях провідне місце посідає дослідницьке навчання, ефективність якого значно підвищується за умови педагогічно обґрунтованої технологічної підтримки. Таке навчання сприяє формуванню наукового мислення, розвитку творчості, критичності суджень і навичок співпраці, а також забезпечує високий рівень мотивації та залученості учнів до пізнавальної діяльності [282]. Виконуючи не лише мотиваційну, а й когнітивно-конструктивну функцію, дослідницьке навчання забезпечує глибше розуміння закономірностей і принципів фізичних явищ через активну взаємодію із середовищем навчання.

Інтеграція імерсивних технологій у поєднанні з дослідницьким підходом створює інтегроване середовище навчання, в якому забезпечується системність пізнавальної діяльності, поступовий перехід від спостереження до експерименту та осмислення результатів. Такий підхід орієнтований на досягнення ключових педагогічних цілей – розвиток дослідницьких умінь, формування наукового світогляду й уміння застосовувати знання в нових ситуаціях. Наукові дослідження доводять, що інтеграція дослідницького навчання з цифровими технологіями, зокрема з імерсивними, сприяє підвищенню рівня розуміння наукових концепцій, активізації когнітивних процесів і розвитку творчого потенціалу учнів [158]. Імерсивні технології, забезпечуючи ефект занурення та візуально-кінестетичну

взаємодію, виступають ефективним засобом підтримки дослідницької діяльності, особливо в контексті інтегрованого STEM-навчання.

Використання віртуальних симуляцій у процесі вивчення фізики є ефективним засобом моделювання експериментів, особливо тоді, коли застосування реального обладнання обмежене через його високу вартість, технічну складність або вимоги безпеки. Імерсивні середовища надають можливість створювати реалістичні експериментальні ситуації, у яких учні мають змогу керувати змінними, спостерігати результати в реальному часі та багаторазово повторювати досліди, що розширює можливості для наукового пошуку та самостійного відкриття закономірностей. Водночас поєднання традиційних лабораторних занять із віртуальними експериментами є найбільш педагогічно доцільним, оскільки забезпечує баланс між емпіричним і когнітивним аспектами навчання, сприяє глибшому осмисленню фізичних процесів і формує стійкі дослідницькі навички. Імерсивні симуляції не замінюють реальний експеримент, а доповнюють його, дозволяючи попередньо сформулювати гіпотези, підготуватися до практичної роботи або здійснити рефлексію після її виконання. Це відповідає сучасним підходам до змішаного навчання у фізиці, де AR/VR-компоненти виконують роль когнітивного тренажера й середовища безпечного експериментування [158; 179; 247].

В основі методики навчання фізики доцільно розглянути модель інтеграції імерсивних технологій у процес навчання – SAMR. У межах моделі SAMR використання імерсивних технологій, зокрема AR, у навчанні проходить послідовні рівні трансформації педагогічного процесу [179]:

– *рівень заміщення* передбачає базове вдосконалення традиційних методів навчання шляхом використання AR без істотної зміни освітніх функцій. Наприклад, учні можуть за допомогою мобільного пристрою спостерігати тривимірну модель експериментальної установки, що замінює статичні зображення або схеми в підручниках. Таке використання AR підвищує наочність і якість сприйняття матеріалу, проте не змінює суті навчальної діяльності;

– *рівень розширення* забезпечує функціональне розширення навчального

матеріалу за рахунок AR-компонентів. Віртуальні об'єкти, зокрема анімації або динамічні моделі в експерименті, інтегруються в традиційні засоби навчання, роблячи їх інтерактивними. Це створює додаткові когнітивні зв'язки між теоретичними положеннями та практичними експериментами, сприяючи кращому розумінню фізичних процесів;

– *рівень модифікації* трансформує структуру навчального процесу, надаючи учням можливість безпосередньо взаємодіяти з параметрами віртуального експерименту. Така активна взаємодія виходить за межі пасивного сприйняття навчальних відомостей, формуючи дослідницьку позицію учня. У результаті зростає рівень самостійності у формулюванні висновків та підвищується глибина засвоєння навчального матеріалу;

– *рівень перевизначення* відкриває принципово нові можливості навчальної діяльності, які раніше були недосяжними в традиційних умовах. Учні мають змогу створювати власні AR-моделі експериментальних установок, комбінувати теоретичні знання з елементами дослідницької діяльності. Використання мультимедійних ресурсів, інтерактивних завдань та віртуальних інструментів сприяє формуванню автономного стилю навчання, розвитку критичного мислення та глибокому розумінню складних фізичних явищ.

Розглянемо методику використання імерсивних технологій під час вивчення розділу «Механічні хвилі та звук». Мета методики – сформулювати в учнів цілісне уявлення про процеси поширення коливань у різних середовищах, усвідомлення залежності між частотою, амплітудою й швидкістю хвилі, а також практичні навички інтерпретації спектрограм і побудови висновків на основі експериментальних спостережень.

Для систематизації інтеграції імерсивних засобів застосовано модель SAMR у поєднанні з моделлю 5E як складника інструктивно-діяльнісної моделі, що надає можливість поступово переходити від візуального залучення до дослідницької діяльності та творчого продукту.

1. На рівні *заміщення* (Substitution) імерсивні технології використовуються для підвищення наочності без зміни структури навчального процесу (етап

«Залучати»). Використання онлайн-ресурсу Chrome Music Lab – Spectrogram (<https://musiclab.chromeexperiments.com/spectrogram/>) дає змогу візуалізувати звукові коливання та продемонструвати спектрограму різних звуків у реальному часі. Демонстрація прикладів чистого тону, шуму та мовлення спрямована на формування первинного уявлення про звукові хвилі та їхні характеристики (рис. 4.18).

Така демонстрація активізує сприйняття, підвищує пізнавальний інтерес і сприяє первинному усвідомленню властивостей хвильових процесів. Подальша індивідуальна взаємодія з модулем Sound Waves (<https://musiclab.chromeexperiments.com/Sound-Waves/>) цього ж ресурсу забезпечує дослідницький компонент – учні аналізують, як зміна частоти чи амплітуди впливає на форму хвилі.

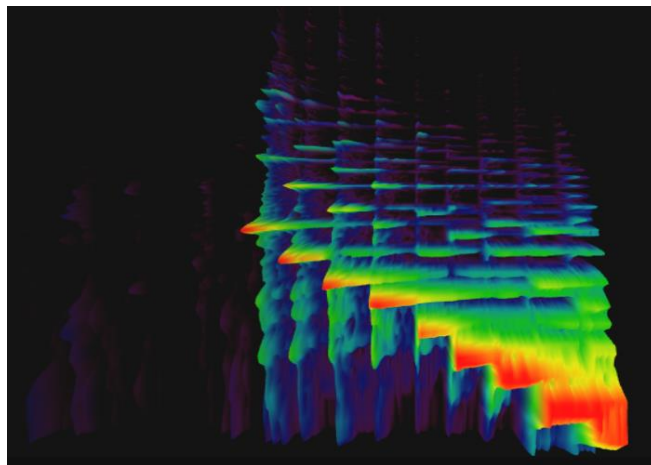


Рис. 4.18. Візуалізація звукових хвиль у середовищі Chrome Music Lab – Spectrogram (<https://musiclab.chromeexperiments.com/spectrogram/>)

Організація навчальної діяльності на цьому рівні включає колективну демонстрацію, індивідуальну взаємодію з імерсивними матеріалами та коротку рефлексію результатів. Роль учителя трансформується від інформатора до фасилітатора, який спрямовує учнів до самостійного спостереження й формулювання висновків.

Застосування такого формату імерсивної візуалізації не змінює змісту навчального завдання, проте створює сприятливі умови для когнітивного занурення, підвищення інтересу до теми та переходу від сприйняття до активного

дослідження звукових явищ.

2. На рівні *розширення* (Augmentation) відбувається поглиблення аналізу фізичних явищ та забезпечується інтерактивна взаємодія учнів із навчальним матеріалом. Після ознайомлення з теоретичними положеннями та первинних демонстрацій учні здійснюють самостійне дослідження у віртуальних лабораторіях, таких як PhET Interactive Simulations або Labster, що реалізує етап «Дослідження» моделі 5Е.

У VR- або 3D-симуляторах учні досліджують поширення поперечних і поздовжніх хвиль, визначають напрям зміщення частинок середовища відносно напрямку поширення хвилі. Змінюючи параметри (амплітуду, частоту, довжину хвилі), будують графіки залежності швидкості хвилі від характеристик середовища. Ключові моменти фіксуються за допомогою скриншотів, до яких додається короткий коментар (рис. 4.19).

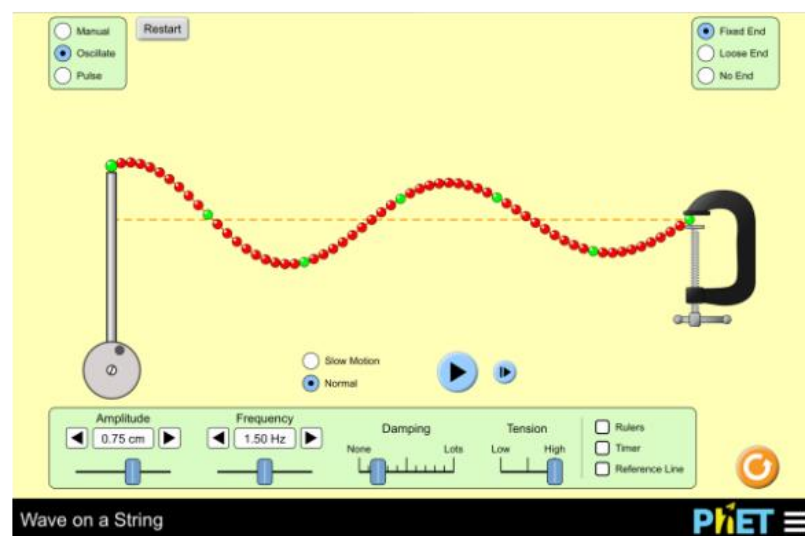


Рис. 4.19. Візуалізація механічних хвиль в PhET Interactive Simulations

Використання інтерактивних середовищ надає можливість відтворити традиційний експеримент у віртуальному форматі, підвищуючи точність вимірювань, розвиваючи просторову уяву та швидкість проведення серії дослідів. Побудова графіків здійснюється вручну, що зберігає елементи класичної експериментальної методики, а рефлексія відбувається через аналіз отриманих даних.

Додатково, для наочного представлення просторових закономірностей хвиль доцільно застосовувати СКМ GeoGebra 3D, що забезпечує моделювання поверхні хвилі та демонструє зв'язок між фізичними параметрами хвиль і їх графічним поданням. На цьому рівні імерсивні технології виконують роль когнітивного підсилювача, сприяючи глибшому засвоєнню навчального матеріалу та формуванню дослідницьких умінь учнів.

3. На рівні *модифікації* (Modification) структура завдання трансформується з метою організації глибшого аналізу фізичних явищ та колективної дослідницької діяльності. Учні об'єднуються в малі групи та виконують дослідницькі завдання у віртуальному середовищі Labster або в комплексних симуляторах PraxiLabs чи VR Physics Lab, що реалізує етап «Пояснення» моделі 5Е.

Наприклад, у симуляції резонансної труби відкритого типу генерується звук, що утворює стоячу хвилю при певних частотах (рис. 4.20). Учні досліджують механіку хвиль, візуалізують формування стоячих хвиль та визначають швидкість звуку в повітряному стовпі на основі параметрів симуляції. Зміна параметрів моделі дозволяє отримати індивідуальні результати, які інтегруються у спільну онлайн-таблицю для автоматичного порівняння.

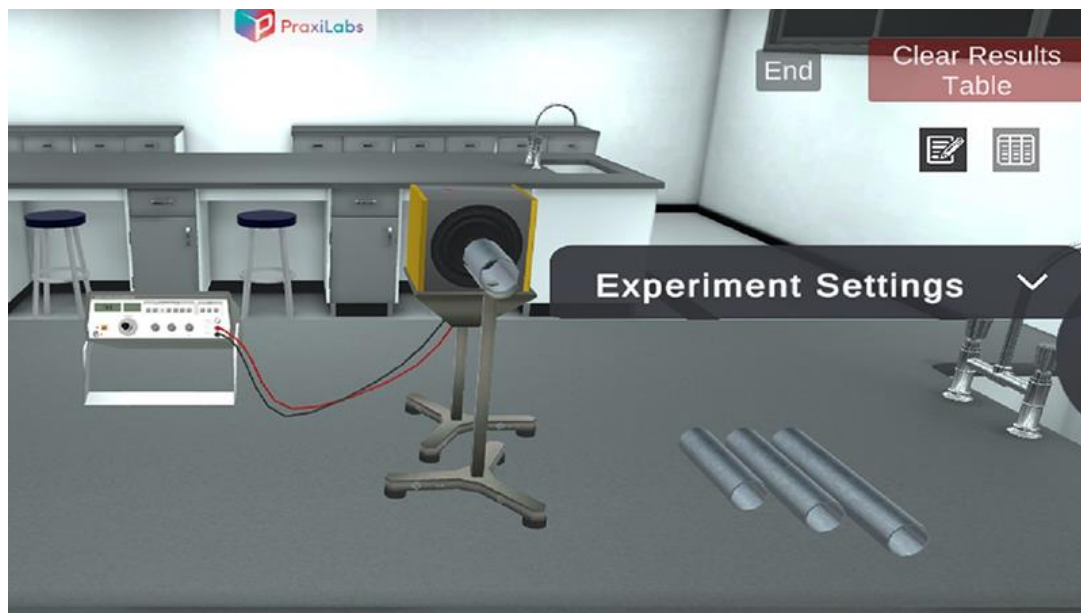


Рис. 4.20. Візуалізація завдання в PraxiLabs

Цей підхід забезпечує перехід від простого відтворення експерименту до

інтерактивного та колективного формату, сприяє розвитку аналітичних, комунікативних і дослідницьких навичок, формує критичне мислення та здатність ефективно працювати в команді. Імерсивні технології на цьому рівні виступають засобом активізації колективної роботи та підтримки самостійного формулювання висновків на основі отриманих даних.

4. На рівні *перевизначення* (Redefinition) створюється новий тип завдання, який розширює межі класичного уроку та дозволяє інтегрувати міжпредметні зв'язки, реалізуючи етапи «Розробляти» та «Оцінювати» моделі 5Е. Використання імерсивних технологій відкриває можливості для завдань у ігровій чи проблемно-дослідницькій формі.

Наприклад, у симуляції Labster «Допоможи рок-зірці налаштувати гітару» (<https://www.labster.com/simulations/propagation-of-sound-help-a-rock-star-tune-their-guitar>) учні досліджують вплив зміни частоти та натягу струн на звук (рис. 4.21), застосовуючи знання про механічні хвилі та поширення звуку. Таке завдання поєднує експериментальні дослідження з міжпредметним контекстом фізики, музики та інформатики.

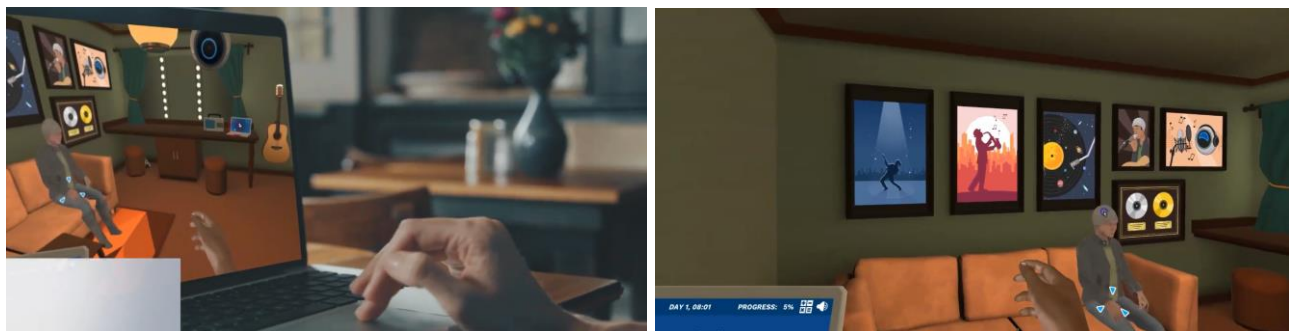


Рис. 4.21. Візуалізація на платформі Labster

За такого підходу учні не лише засвоюють навчальний матеріал, а й створюють власний інтерактивний продукт, інтегрують знання з різних дисциплін, розвивають творчість, критичне мислення та колаборативні навички, що відповідає компетентнісному підходу сучасної освіти.

Для організації індивідуальної та колективної роботи з розділу «Механічні хвилі та звук» доцільно застосовувати мобільні імерсивні застосунки, які підтримують різні рівні інструктивно-діяльнісної моделі навчання. У табл. 4.6

продемонстровано приклади таких застосунків, їхню навчальну спрямованість та очікувані результати.

Таблиця 4.6

Мобільні застосунки для вивчення механічних хвиль та звуку

Мобільний застосунок	Явища, що демонструє	Очікувані результати	Форма організації роботи
інструктивно-орієнтувальний рівень			
Wave AR	Поперечні та поздовжні хвилі, амплітуда, частота, швидкість хвилі.	Візуалізація хвильових процесів, спостереження амплітуди та частоти, підвищення наочності та мотивації.	Індивідуальна: спостереження хвиль та фіксація параметрів. Колективна: обговорення спостережень і порівняння результатів.
керовано-діяльнісний рівень			
AR Physics	Резонанс, стоячі хвилі, коливання на струнах і мембранах.	Зміна параметрів хвиль і спостереження ефектів резонансу; формування навичок аналізу та моделювання.	Індивідуальна: налаштування параметрів хвиль. Колективна: груповий аналіз результатів та побудова графіків.
Physics Lab AR	Механічні хвилі, інтерференція, відбиття хвиль	Проведення віртуальних експериментів разом із реальними лабораторними спостереженнями; підвищення точності вимірювань.	Індивідуальна: робота з симуляцією, побудова графіків.
AR Physics Experiment	Механічні хвилі, параметри хвиль (частота, амплітуда), поширення хвиль	Зміна параметрів хвиль, спостереження ефектів та побудова графіків залежності параметрів; розвиток аналітичного мислення.	Індивідуальна: налаштування параметрів та спостереження.
phyphox	Вимірювання швидкості	Отримання точних даних про швидкість звуку в	Індивідуальна: вимірювання та аналіз

Мобільний застосунок	Явища, що демонструє	Очікувані результати	Форма організації роботи
	звуку	різних середовищах; підвищення практичної компетентності.	результатів; колективна: обговорення отриманих значень.
самостійно-дослідницький рівень			
<i>HoloLab AR</i>	Коливання, стоячі хвилі, резонанс	Конструювання власних експериментів у AR, інтеграція міжпредметних знань; розвиток креативності та критичного мислення.	Індивідуальна: створення експериментів. Колективна: презентація результатів, обговорення, рефлексія.

На інструктивно-орієнтувальному та керовано-діяльнісному рівнях доцільним є також використання мобільного застосунку 360ed Highschool Physics, який забезпечує швидкий зворотний зв'язок під час перевірки рівня засвоєних знань.

Таким чином, описана методика демонструє, що інтеграція імерсивних технологій у навчання фізики сприяє організації поетапного розвитку дослідницьких умінь учнів, формуванню критичного мислення та розвитку навичок колаборативної роботи. Використання моделі SAMR у поєднанні з інструктивно-діялісною моделлю забезпечує послідовне включення AR-, VR- та 3D-ресурсів на різних етапах процесу навчання: від первинного сприйняття навчального матеріалу до виконання учнями самостійних дослідницьких і аналітичних завдань.

Методика передбачає поєднання традиційних та віртуальних форм навчання, що створює умови для узгодження емпіричного і когнітивного аспектів засвоєння знань та сприяє формуванню дослідницьких і аналітичних умінь. Запропонований підхід може бути адаптований до викладання інших природничих дисциплін, зокрема хімії, з урахуванням їхньої предметної специфіки та особливостей організації навчального процесу.

4.2.4. Методика використання імерсивних технологій навчання хімії. У процесі вивчення органічної хімії в учнів часто виникають труднощі з

просторовим уявленням структур складних сполук і механізмів хімічних перетворень, що зумовлює зниження успішності та інтересу до предмета [3; 217]. Ще у 1995 році було доведено, що розвиток просторових здібностей учнів неможливий без використання фізичних або комп'ютерних 3D-моделей молекул [71]. Із розвитком цифрових технологій ці завдання ефективно розв'язуються за допомогою імерсивних технологій, зокрема доповненої та віртуальної реальності, що відкривають можливості для інтерактивного вивчення просторової будови речовин [20; 580].

Організація навчання хімії в академічному ліцеї передбачає обов'язкову лабораторно-експериментальну діяльність, що забезпечує практичну перевірку теоретичних знань, розвиток дослідницького мислення та навичок аналітичного спостереження. Імерсивні технології розширюють потенціал цієї діяльності, забезпечуючи віртуальний лабораторний практикум – безпечне та інтерактивне середовище для моделювання хімічних процесів, які важко або неможливо відтворити у звичайній лабораторії. Такі практикуми сприяють [385]:

- організації самостійних досліджень учнів у змішаному форматі;
- моделюванню процесів на молекулярному й атомному рівнях;
- безпечному відпрацюванню експериментів, що містять потенційні ризики;
- поєднанню реальних і віртуальних досліджень для формування цілісного наукового мислення.

Методику використання імерсивних технологій описано на прикладі теми «Синтетичні високомолекулярні речовини та полімерні матеріали на їх основі», де інтеграція AR/VR застосовується послідовно на різних етапах навчання відповідно до процедурної моделі (рис. 4.22).

На змістовому рівні імерсивне середовище забезпечує систематизацію знань із таких напрямів:

- молекулярна структура полімерів. За допомогою AR/VR можна вивчати 3D-моделі молекул полімерів, розглядаючи їхню будову, лінійні та сітчасті структури. Це допомагає зрозуміти, як атоми з'єднуються в довгі ланцюги полімерів;

– механізми полімеризації та поліконденсації (спостереження реакцій утворення поліетилену (PE), поліпропілену (PP), фенолоальдегідних пластмас (PF));

– властивості та застосування полімерів (аналіз зв'язку між структурою та фізико-хімічними характеристиками);

– екологічні аспекти (оцінка впливу полімерів на довкілля, дослідження шляхів утилізації та біорозкладання).

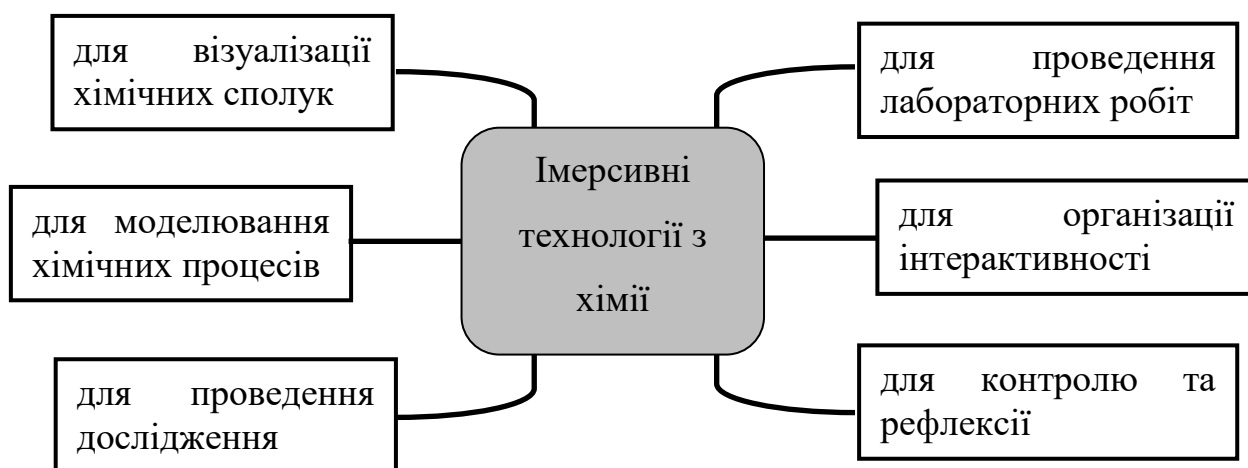


Рис. 4.22. Схема використання імерсивних технологій у процесі вивчення хімії (створена на основі [551])

Розглянемо, як кожен складник запропонованої схеми реалізується під час вивчення теми із застосуванням імерсивних технологій.

На початковому рівні навчальної активності важливо сформувати в учнів уявлення про будову мономерів і механізм полімеризації – перетворення невеликих молекул на довгі полімерні ланцюги. Для цього доцільно використовувати імерсивні засоби візуалізації, які забезпечують об’ємне сприйняття процесів на молекулярному рівні. Наприклад, середовище Mozaik Education дає змогу демонструвати етапи полімеризації – від окремих молекул мономерів до формування полімерного ланцюга (рис. 4.23).

Такий підхід забезпечує занурення учнів в імерсивне середовище, коли формується первинне уявлення про складники молекули полімеру, просторову будову та послідовність реакції полімеризації. Цей етап сприяє розвитку наочно-образного мислення й підвищує інтерес до теми.

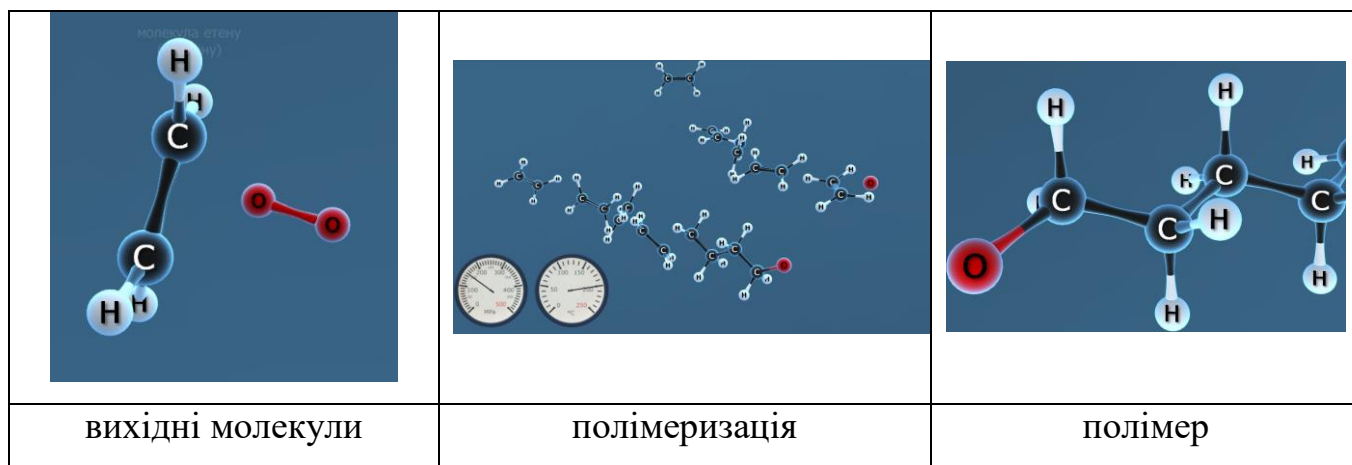


Рис. 4.23. Візуалізація утворення полімерного ланцюга в середовищі Mozaik Education

Подальша організація навчання передбачає самостійну діяльність учнів, спрямовану на моделювання органічних сполук. Робота може бути організована у групах, кожна з яких створює модель певного полімеру, що сприяє розвитку командної взаємодії та формуванню практичних умінь роботи з віртуальними хімічними інструментами. Для цього доцільно застосовувати програму Avogadro, яка надає можливість будувати тривимірні моделі органічних сполук, аналізувати їхню будову та властивості.

Використання Avogadro забезпечує учням такі дидактичні можливості:

- побудову моделей мономерів (етену, стиролу, ізопрену тощо) як вихідних речовин для полімеризації;
- створення полімерного ланцюга через копіювання мономерної ланки, що дозволяє спостерігати послідовність утворення полімеру;
- дослідження просторового розташування атомів у молекулі за допомогою інструментів обертання та масштабування;
- аналіз типів хімічних зв'язків (одинарні, подвійні, σ - і π -зв'язки), що визначають реакційну здатність мономерів;
- спостереження залежності між будовою і властивостями полімерів, що поглиблює розуміння взаємозв'язку між мікро- і макрорівнями структури речовини.

Після пояснення теоретичного матеріалу вчителем учні виконують самостійне завдання – побудову моделі мономера, наприклад етену. Роботу

можна здійснювати у програмі Avogadro, у веббраузері MolView або за допомогою мобільного застосунку Molecular Constructor, який підтримує створення молекул, відображення типів зв'язків і надає короткі характеристики елементів (рис. 4.24).

Учні дотримуються алгоритму побудови моделі мономерів етену, після чого копіюють їх для створення полімерного ланцюга з кількох повторюваних ланок. Отриману модель порівнюють із реальною структурою поліетилену та формулюють висновки про механізм полімеризації. Таке завдання поєднує активне й інтерактивне навчання, сприяючи формуванню глибшого розуміння закономірностей утворення полімерів, розвитку дослідницьких умінь і підготовці до узагальнення знань на подальших рівнях процедурної моделі, зокрема практичного застосування.

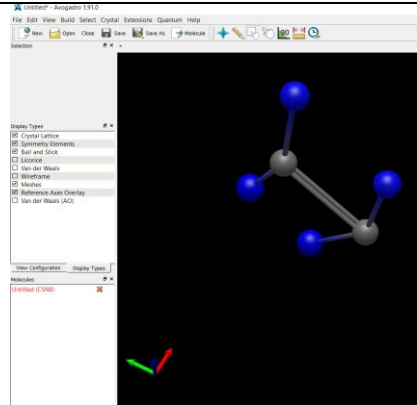
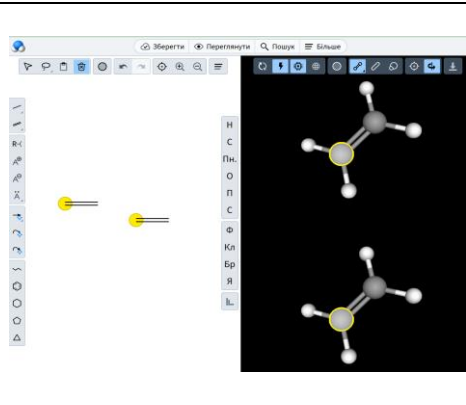
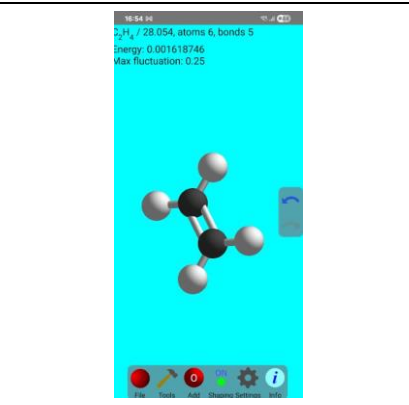
		
Модель мономера етену в Avogadro	Модель мономера етену в MolView	Модель мономера етену в Molecular Constructor

Рис. 4.24. Приклади візуалізації моделей молекул у різних конструкторах

Мобільні застосунки, що надають можливість моделювати та досліджувати молекули у форматі AR/VR, наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Мобільні застосунки для моделювання молекул у форматі AR/VR

Назва застосунку	Технологія	Основні можливості
MoleculARweb	Маркерна AR	Відтворення просторової структури молекул у доповненій реальності.

Назва застосунку	Технологія	Основні можливості
ModMol	AR/3D	Візуалізація органічних і неорганічних молекул, обертання та масштабування моделей.
Chemistry AR+	Мобільна AR	Інтерактивне ознайомлення зі структурою молекул, візуалізація атомів і зв'язків.
ModelAR Organic Chemistry	AR на основі розпізнавання зображень	Перетворення двовимірних схем у тривимірні інтерактивні моделі.

Окрему групу становлять застосунки, орієнтовані переважно на вивчення неорганічної хімії. Зокрема, Chemistry Lab представлений у вигляді двох інтерактивних модулів – віртуальної лабораторії та навчальної гри, побудованої на механізмах хімічних реакцій.

На етапі актуалізації знань, що передуює вивченню нової теми або виконанню практичних завдань, доцільно використовувати мобільний застосунок 360ed's Element AR. Він сприяє повторенню періодичної системи елементів, демонструє будову молекул у наочній формі та активізує пізнавальний інтерес. Цей ресурс ефективно інтегрується як у профільне вивчення хімії, так і в інтегровані курси природничого циклу, адже поєднує навчальний та ігровий складники, що знижує рівень когнітивного навантаження перед опануванням складних тем. Подібні можливості мають Periodic Table AR та AR 4D Periodic Table.

На наступному рівні активності, коли учні переходять до дослідження властивостей полімерів, навчання доцільно організовувати в імерсивному середовищі на базі віртуальних лабораторій. Такі середовища забезпечують безпечні експерименти, наближені до реальних умов, і дають можливість спостерігати процеси на мікрорівні. Серед ефективних платформ можна назвати:

– PhET Interactive Simulations, яка моделює молекулярні взаємодії та візуалізує зміну властивостей речовин при зміні їхньої структури;

– Labster, що надає змогу виконувати повноцінні інтерактивні експерименти з хімії полімерів, зокрема дослідження міцності, еластичності та хімічної стійкості

матеріалів;

– ChemCollective Virtual Labs, яка дозволяє створювати віртуальні розчини, проводити реакції та досліджувати властивості полімерів;

– MEL Chemistry VR, що забезпечує вивчення будови полімерів і спостереження їхніх реакцій на молекулярному рівні в середовищах доповненої та віртуальної реальності.

Перед організацією індивідуальної чи групової роботи доцільно, щоб учитель продемонстрував учням приклади експериментів або надав доступ до готових візуалізацій – наприклад, у середовищі AR_Book, що ефективно використовується в умовах змішаного навчання. Після цього учні можуть виконати тестування для перевірки рівня засвоєння матеріалу (рис. 4.25).

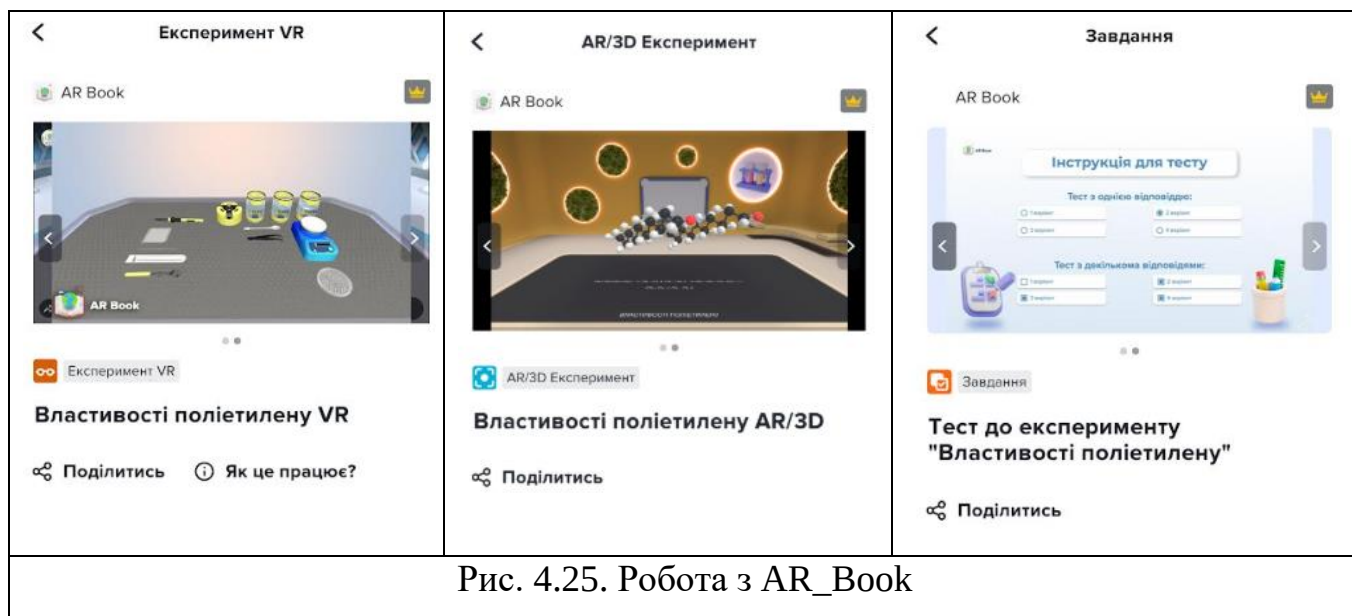


Рис. 4.25. Робота з AR_Book

Для учнів *непрофільних* класів доцільно застосовувати лабораторію PhET, яка має простий інтерфейс і вбудовані підказки (рис. 4.26 а). Учні з вищим рівнем підготовки можуть працювати в середовищах Labster (рис. 4.26 б) або PraxiLabs (рис. 4.26 в), що передбачають глибше дослідження властивостей полімерних матеріалів.

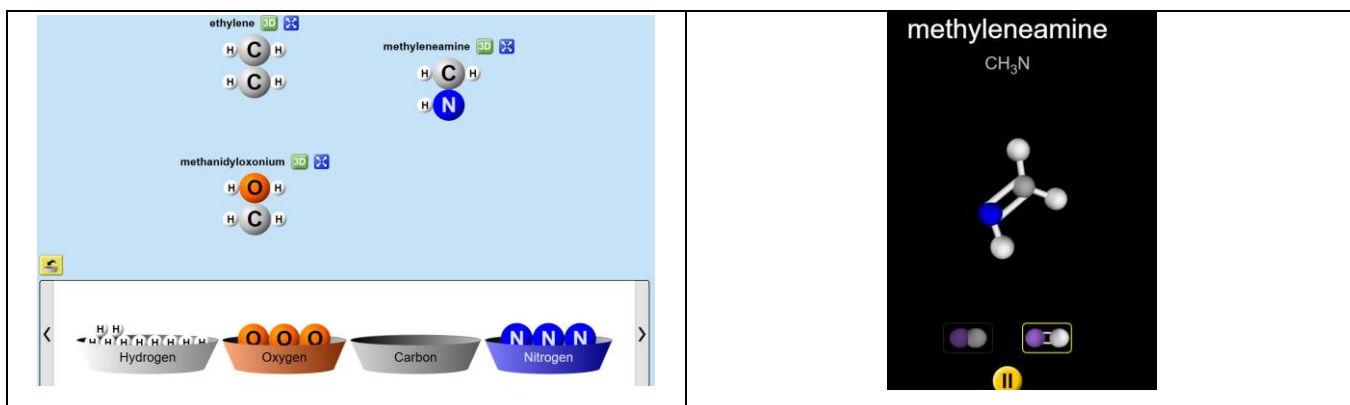


Рис. 4.26 а. Робота в середовищі PhET

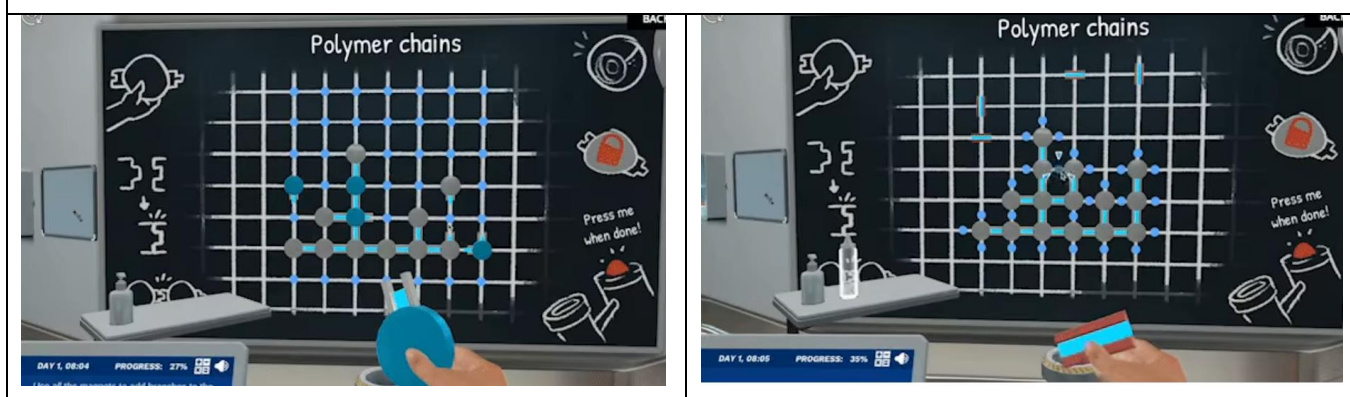


Рис. 4.26 б. Робота в середовищі Labster



Рис. 4.26 в Робота в середовищі PraxiLabs

Для *профільного* рівня вивчення хімії рекомендовано використовувати програмні продукти ChemSketch та ChemDraw. Обидві системи мають подібний функціонал, однак ChemSketch є безоплатною для навчального використання та містить бібліотеку готових структурних фрагментів, що значно спрощує процес моделювання.

На етапі рефлексії доцільно організовувати діяльність учнів в імерсивному

середовищі таким чином, щоб вони не лише закріпили знання про полімери, а й усвідомили власну траєкторію навчання. Одним із ефективних засобів є використання інтерактивних аркушів, які можуть бути як авторськими розробками вчителя, так і готовими ресурсами у вільному доступі, наприклад Liveworksheets та Wizer. Ці сервіси забезпечують інтерактивність, миттєвий зворотний зв'язок та адаптацію завдань до різного рівня підготовки учнів, що підвищує ефективність засвоєння матеріалу та формування самостійності в навчанні (рис. 4.27).

Перейдіть за посиланням та виконайте дослід за допомогою он-лайн симулятора

Послідовність дій, спостереження та висновки запишіть у таблицю:

Послідовність дій	Спостереження	Висновки

Завдання 3.
Розгляньте уважно цю структуру. Визнач в ній головний ланцюг та дай відповіді на питання.

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{CH}_3 & & \text{CH}_2-\text{CH}_3 & & \text{CH}_3 & & \\
 | & & | & & | & & \\
 \text{CH}_3 - \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\
 & & & & | & & \\
 & & & & \text{CH}_3 & &
 \end{array}$$

1. Скільки всього замісників приєднано до головного ланцюга?
2. Назвіть ці радикали (наприклад, метил, етил...):
3. Запишіть місце положення кожного замісника (Наприклад: метил - 3, етил - 2,6...)

Рис. 4.27. Інтерактивні аркуші Liveworksheets

Ще однією формою рефлексії є ігрове навчання в імерсивному середовищі, яке, за даними досліджень [4; 270; 299], сприяє підвищенню мотивації, організації індивідуалізованого навчання та глибшому розумінню сутності предмета. Використання елементів змагання та завдань на аналіз і синтез дозволяє учням здійснювати діяльність, що відповідає високим рівням таксономії Блума, наприклад добирати правильні мономері або прогнозувати властивості полімерів.

Як завершальний етап вивчення теми доцільно організувати проєктну діяльність, що інтегрує знання з хімії, екології та технологій і сприяє реалізації міждисциплінарного підходу. Учні можуть працювати у групах над завданням, наприклад: розробити власний екоальтернативний матеріал, дослідити процеси утилізації або переробки полімерів, моделюючи молекулярну структуру, реакції полімеризації та процеси розкладання за допомогою AR/VR-платформ і мобільних застосунків для моделювання молекул (Labster, Mozaik Education, Avogadro, MolView, ModelAR).

Під час виконання проєкту учні аналізують властивості полімерів, прогнозують їхню поведінку та обговорюють екологічні наслідки використання різних матеріалів. Результати проєктної роботи презентуються у вигляді інтерактивних доповідей або цифрових постерів, що дозволяє здійснити рефлексію, оцінити виконану діяльність та сформулювати дослідницькі, аналітичні та комунікативні компетентності. Таким чином, проєктна діяльність стає логічним продовженням ігрової та інтерактивної роботи в імерсивному середовищі та підсумковим етапом формування цілісного розуміння теми.

4.2.5. Методика використання імерсивних технологій навчання біології.

Біологія як наука поєднує мікро-, макро- та еволюційні рівні організації живої матерії, що потребує засобів багаторівневого моделювання. Імерсивні технології, завдяки здатності створювати когнітивно насичені простори, забезпечують перенесення абстрактних понять у площину візуально-дієвого досвіду, чим підсилюють навчальну рефлексію та сприяють розвитку системного мислення. Як навчальна дисципліна, біологія вирізняється багаторівневістю, структурною складністю та значною просторово-часовою варіативністю явищ. Багато процесів і структур – від мікроскопічних органел до динаміки екосистем – залишаються складними для осмислення в умовах традиційного навчання. Обмеженість двовимірних ілюстрацій у підручниках знижує можливість учнів повноцінно зрозуміти просторові, функціональні та причинно-наслідкові взаємозв'язки біологічних об'єктів.

Використання імерсивних технологій відкриває перспективу створення інтерактивного, дослідницько-орієнтованого середовища навчання, що забезпечує глибше концептуальне розуміння навчального матеріалу. Застосування віртуальної та доповненої реальності, інтерактивних симуляторів і віртуальних лабораторій надає учням можливість занурюватися у складні біологічні системи, моделювати процеси на клітинному рівні, рівнях організму або екосистеми, проводити експерименти з віртуальними об'єктами, аналізувати біологічні дані. Імерсивні середовища, інтегровані у педагогічний цикл (мотивація – дослідження – узагальнення – застосування), сприяють розвитку критичного та наукового

мислення, формуванню експериментальних умінь і підвищенню внутрішньої навчальної мотивації [94; 395].

Для організації навчання біології на основі використання імерсивних технологій обґрунтовано доцільність функціонально-мотиваційної моделі, оскільки саме вона забезпечує поєднання емоційно-когнітивного занурення з поетапним формуванням дослідницьких і рефлексивних умінь учнів. На перших етапах вивчення теми імерсивне середовище виконує функцію мотиваційного чинника, активізуючи внутрішній інтерес учнів. Подальше використання технологій спрямовується на функціональне забезпечення навчання – учні досліджують віртуальні моделі клітин, органів, екосистем, проводять віртуальні експерименти, що сприяє формуванню цілісних біологічних уявлень і практичних навичок.

У межах запропонованої методики імерсивні засоби систематизовано за їх функціональною роллю в організації навчальної діяльності учнів, що дозволяє диференціювати їх використання відповідно до етапів функціонально-мотиваційної моделі (табл. 4.8). Критерієм класифікації виступає характер взаємодії учнів із середовищем навчання – від репрезентативно-візуального до дослідницько-аналітичного.

Таблиця 4.8

Категорії імерсивних технологій для вивчення біології за [393]

Категорія	Характеристика	Дидактичні можливості
<i>Комп'ютерні програми та симулятори</i>	Дозволяють моделювати клітинні процеси, анатомічні структури чи біохімічні реакції; забезпечують візуалізацію складних систем, інтерактивну взаємодію та можливість багаторазового відтворення експериментів.	Сприяють формуванню просторових уявлень; розвитку умінь експериментувати; забезпеченню безпечного і доступного моделювання без часових чи ресурсних обмежень.
<i>Інтерактивні середовища</i>	Забезпечують доступ до віртуальних лабораторій через браузер; містять інтегровані інструменти для експериментів,	Формування дослідницьких умінь; вивчення складних тем у зручному темпі; організація дистанційного та змішаного

Категорія	Характеристика	Дидактичні можливості
	анімації процесів і виконання інтерактивних завдань.	навчання.
<i>Віртуальна реальність та доповнена реальність</i>	Створюють імерсивні 3D-середовища для дослідження організмів, органів і екосистем; дозволяють «оживлювати» біологічні об'єкти й взаємодіяти з ними у наближеному або зміненому масштабі.	Створюють умови для розвитку емпіричного досвіду через занурення; підвищенню мотивації та емоційної залученості; формуванню інтегрованого розуміння структури й функцій біологічних систем.
<i>Віртуальні лабораторії з біологічними даними</i>	Надають доступ до наукових або навчально адаптованих біологічних даних (геномні послідовності, мікроскопічні зображення, медичні скани) та орієнтовані на аналітичну і дослідницьку діяльність.	Сприяють розвитку навичок біоінформатики та аналізу даних; формування дослідницьких компетентностей; наближення навчання до практики сучасної науки.

Застосування зазначених технологій надає можливість варіювати ступінь імерсивності та складність навчальних завдань відповідно до етапів реалізації моделі. Так, етап мотивації ефективно підтримується засобами VR/AR, які забезпечують емоційне залучення та наочність складних процесів. Етап дослідження реалізується через інтерактивні симулятори й аналітичні платформи, що формують уміння досліджувати, аналізувати дані, робити висновки та застосовувати знання в практичному контексті.

Як приклад реалізації функціонально-мотиваційної моделі розглянемо тему «Спадковість і мінливість». Доцільність застосування імерсивних технологій під час її вивчення була експериментально доведена Ергашевою Г. С. [94]. Через високий рівень абстракції понять ця тема є досить складною для засвоєння, що зумовлює необхідність багаторівневого підходу до формування знань.

На *етапі мотивації* головною метою є стимулювання внутрішнього пізнавального інтересу учнів. Найефективніше поєднувати методи розповіді та візуалізації. Зокрема, у середовищі Visible Body Biology представлено

інтерактивну 3D-модель еукаріотичної клітини з деталізованими структурами ДНК. Можливість масштабування, обертання та детального дослідження цих об'єктів у просторі значно полегшує процес навчання (рис. 4.28).

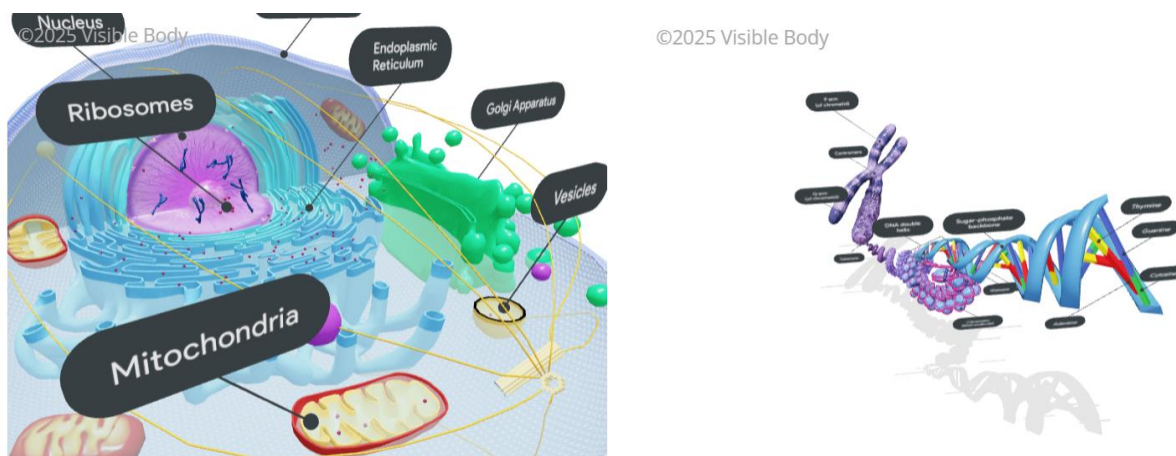


Рис. 4.28. Visible Body Biology

Для підвищення мотивації учням пропонуються завдання з дослідження тривимірної структури ДНК за допомогою сучасних веб- або мобільних інструментів, таких як Mol* Viewer, NGL Viewer або MoleculeWeb. Ці платформи надають можливість переглядати просторову будову нуклеотидів і подвійної спіралі, обертати та масштабувати моделі, що сприяє глибшому розумінню структурних особливостей молекули.

З метою розвитку дослідницьких умінь учні можуть самостійно створювати або модифікувати моделі фрагментів ДНК у зазначених середовищах та порівнювати отримані результати з еталонними моделями, доступними на платформі Sketchfab (наприклад, DNA Double Helix). Таке порівняння надає можливість провести самоперевірку точності побудови та глибше усвідомити просторову організацію молекули. Такий вид діяльності забезпечує перехід до дослідницької діяльності, коли учні формулюють індивідуальні навчальні цілі й обирають маршрут подальшої роботи в імерсивному середовищі.

Результати цієї діяльності створюють підґрунтя для переходу до *дослідницького етапу*, на якому учні формулюють особистісно значущі навчальні цілі та будують індивідуальні освітні маршрути в імерсивному середовищі. Підтримка внутрішньої мотивації на цьому етапі реалізується через організацію

діяльності з використанням різних цифрових платформ. Учні пропонуються навчальні маршрути, що поєднують засвоєння теоретичних знань із виконанням інтерактивних завдань (табл. 4.9).

Таблиця 4.9.

Навчальні маршрути для теми «Спадковість і мінливість»

Мотивація	Ресурс	Діяльність учня	Результат
Пізнавальний інтерес до будови та функцій молекули спадковості	Learn Genetics (University of Utah, освітній веб-ресурс)	Перегляд інтерактивної анімації про ДНК та гени; виконання завдання «Побудуйте молекулу ДНК»	Засвоєння знань про будову ДНК, поняття гена та хромосоми
Прагнення з'ясувати механізми передачі спадкових ознак	Labster Virtual Lab, PraxiLabs, PhET (віртуальні лабораторії)	Виконання симуляції «Менделівські експерименти на горосі»; пояснення першого й другого законів.	Усвідомлення закономірностей спадковості, пояснення результатів експериментів Менделя
Необхідність зрозуміти механізми утворення статевих клітин і чинники мінливості	Visible Body Biology або Human Anatomy Atlas (Visible Body).	Перегляд 3D-моделі мейозу, простеження розподілу хромосом та кросинговеру	Розуміння процесів утворення гамет і пояснення генетичної різноманітності нащадків
Пізнавальний інтерес до взаємозв'язку між змінами у ДНК та спадковими захворюваннями	RCSB PDB Mobile, iMolView	Завантаження 3D-моделі ДНК, вивчення просторової структури; аналіз впливу мутацій на структуру білків	Встановлення зв'язку між мутаціями та проявами спадкових захворювань
Прагнення зрозуміти фенотипове	Learn Genetics – Traits & Inheritance або Ancestry DNA	Проходження інтерактиву «Риси: Що відрізняє нас?»;	Усвідомлення проявів спадкових ознак у людини,

Мотивація	Ресурс	Діяльність учня	Результат
різноманіття та закономірності успадкування ознак людини	Education	аналіз прикладів спадкових ознак	розрізнення домінантних і рецесивних рис.

Залучення учнів до 3D-моделювання, інтерактивних симуляцій та експериментів активізує когнітивний інтерес, сприяє переходу від поверхневого сприйняття знань до їхнього осмисленого засвоєння. Функціональний складник моделі реалізується через виконання учнями дій, що передбачають розв'язання проблемних завдань, дослідження віртуальних об'єктів та побудову власних когнітивних стратегій.

На етапі рефлексії учні осмислюють здобуті знання, співвідносять їх із початковою мотивацією та формують висновки щодо застосування концептів у нових контекстах, що підвищує рівень саморегуляції та компетентностей наукового дослідження.

Для організації спільної роботи та рефлексії доцільно використовувати платформи, що забезпечують колективну візуалізацію знань та інтерактивну взаємодію. Серед сучасних сервісів можна виділити Padlet і Miro. Вони надають учням можливість:

- систематизувати та візуалізувати власні знання;
- створювати колективні ментальні карти;
- порівнювати отримані результати з результатами однокласників;
- узагальнювати навчальні відомості за темою та робити висновки.

Усвідомлення значущості вивчення теми та застосування здобутих знань у практичній діяльності створює умови для переходу на *рівень саморегуляції*, коли учень формує індивідуальну траєкторію навчання, планує власні завдання та контролює прогрес. На цьому етапі також доцільно використовувати сервіси для створення ментальних карт та інтерактивних схем, наприклад Wisemapping (<https://wisemapping.com>) та Xmind (<https://xmind.app>). Ці платформи надають учням можливість візуалізувати структуру знань, взаємозв'язки понять та складні

біологічні процеси, що підсилює ефективність рефлексії.

Для самоперевірки знань рекомендовано інтерактивні платформи та ігрові сервіси: Kahoot!, Quizizz (оновлена з елементами III Wayground AI), а також інтерфейси тестування, інтегровані у віртуальні лабораторії. Ask A Biologist можна використовувати як додатковий ресурс для мотиваційних ігор та пояснення складних біологічних концептів, однак його набір тем обмежений і не охоплює всі теми шкільного курсу (рис. 4.29).

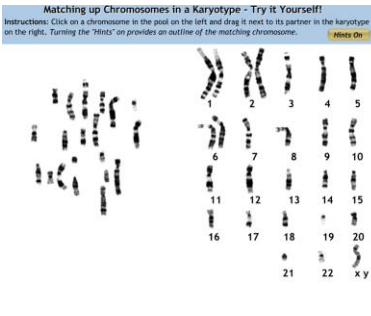
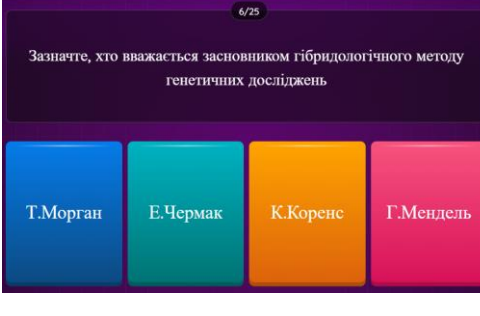
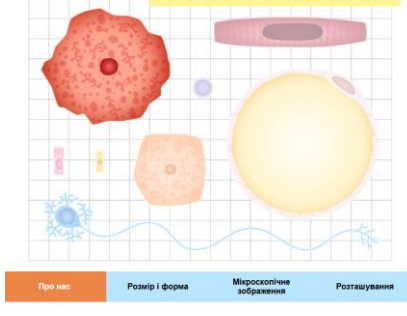
		
Скласти набір хромосом в Learn genetics	Пройти тестування в Wayground AI	Гра в Ask A Biologist

Рис. 4.29. Рефлексія

Такий підхід забезпечує формування високого рівня самостійності, критичного мислення та здатності застосовувати знання в нових, нестандартних ситуаціях.

Перевірка рівня сформованості компетентностей учнів із природничо-математичних предметів може здійснюватися через впровадження кейс-технологій у процес навчання, які забезпечують інтеграцію знань із різних предметних областей та активізують дослідницьку й практичну діяльність учнів. Особливості використання кейс-технологій і рекомендації для вчителів розглянуто в додатку П.

Для учнів профільних класів академічних ліцеїв цінним ресурсом залишається Wolfram Demonstrations Project (<http://demonstrations.wolfram.com/>), який забезпечує інтерактивну демонстрацію біологічних процесів, моделювання експериментальних ситуацій і наочну візуалізацію складних понять. Платформа містить численні інтерактивні візуалізації лабораторних робіт і хімічних процесів,

що дозволяє поглиблено досліджувати біохімічні явища та моделювати експериментальні ситуації, підвищуючи рівень компетентностей та практичних навичок учнів [418].

4.2.6. Методика використання імерсивних технологій навчання географії. Одним із перспективніших напрямів розвитку сучасної географічної освіти є інтеграція імерсивних технологій зі штучним інтелектом що формує новий тип середовища навчання – інтелектуально-імерсивне [97]. Таке поєднання не лише розширює світогляд учнів, а й забезпечує глибше розуміння навчального матеріалу, підвищує мотивацію та залученість до пізнавальної діяльності. AR-технології підсилюють контекст навчання, поєднуючи реальний та цифровий світи, тоді як інструменти ШІ здійснюють інтелектуальний аналіз даних, пропонують рекомендації та персоналізують навчальні матеріали відповідно до індивідуальних освітніх потреб [92; 238].

Наукові дослідження підтверджують, що використання імерсивних технологій у вивченні географії сприяє розвитку просторового мислення, аналітичних умінь та глибшому розумінню складних географічних процесів [279; 358]. Серед основних переваг AR у географічній освіті варто відзначити можливість взаємодії з тривимірними моделями середовищ і ландшафтів, що дозволяє моделювати природні й антропогенні процеси, спостерігати їхню динаміку, аналізувати вплив людської діяльності на довкілля. Такий формат навчання трансформує традиційне сприйняття географії – від статичних карт до інтерактивних просторових моделей, що стимулюють дослідницьке мислення, екологічну свідомість і пізнавальну активність [365].

З огляду на це, у межах вивчення розділу «Регіони та країни: Європа» в 10 класі академічного ліцею була розроблена методика використання імерсивних технологій, що ґрунтується на інструктивно-діяльнісній моделі та передбачає послідовне проходження трьох рівнів навчальної діяльності: інструктивно-орієнтувального, керованого-діялісного та самостійно-дослідницького. Головною метою є формування просторово-географічного мислення, аналітичних та дослідницьких умінь старшокласників через інтерактивну взаємодію з

цифровими моделями європейських регіонів і країн, а також розвиток критичного мислення та здатності до самостійного пізнання за допомогою інтелектуальних технологій.

1. Інструктивно-орієнтувальний рівень (етап «Залучати»). На цьому етапі передбачено занурення учнів в імерсивне середовище та пробудження пізнавального інтересу. На етапі актуалізації знань доцільним буде використання застосунків чи програм, які сприяють повторенню раніше засвоєних знань, наприклад, застосунок Географія Європи, надасть можливість повторити країни, столиці, фізичні об'єкти, населення тощо (рис. 4.30). А на етапі мотивації доцільним є використання програм Google Earth, Earth 3D Map, ARC Geography, CleverBooks Geography, які надають можливість в інтерактивному форматі відтворити інтерактивну карту Європи в навчальній аудиторії, масштабувати її, визначати географічні координати країн, спостерігати рельєф, визначати особливості зміни ландшафту за певний проміжок часу тощо. За допомогою вебзастосунку ArcGIS Instant Atlas учні мають можливість «розмістити» цифрову модель Європи у просторі класу та позначити головні фізико-географічні об'єкти, проглянути їх в історичному циклі, провести аналітичний та статистичний аналізі.

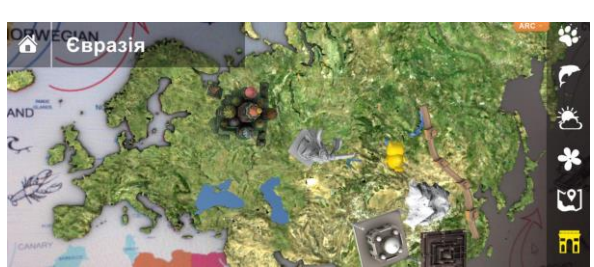
		
Географія Європи	Earth 3D Map	ARC Geography

Рис. 4.30. Застосунки актуалізаційно-мотиваційного етапу

Дидактична функція етапу полягає у формування цілісного просторового образу Європи, закріплення знань про рельєф і географічне положення континенту, розвиток навичок спостереження й орієнтації на місцевості.

Для організації командної роботи ефективним є використання AR-застосунків, таких як GeoGeek AR – Geography Quiz – для аналізу просторових

взаємозв'язків або Multi Globe AR – для візуалізації просторових понять: розміщення країн, взаємозв'язки між регіонами, взаємодія природних/культурних компонентів, які забезпечують інтерактивне вивчення географії Європи через 3D-моделі, вікторини та віртуальні подорожі. Така форма активізує навчальну діяльність, формує командні навички й емоційно позитивне ставлення до предмета. Мотивацію учнів можна також підсилити за допомогою VR-подорожей, наприклад, через Google Earth VR (для повноцінного занурення) або мобільний застосунок Google Street View (з використанням VR-окулярів типу Google Cardboard), що дозволяють віртуально відвідувати визначні місця Європи та світу в режимі 360°. Дослідження свідчать, що такі візуалізації сприяють глибшому розумінню просторових процесів, емоційному залученню та підвищенню рівня інтересу до теми [157].

На завершення цього етапу учні виконують коротке рефлексивне завдання: «Що вас найбільше вразило у віртуальній подорожі Європою і чому?». Паралельно залучається ІІІ-застосунок Socratic by Google, який допомагає швидко знайти довідкові відомості про географічні об'єкти чи країни, стимулюючи самостійний пошук і формування первинних гіпотез.

2. Керований-діяльнісний рівень (етапи «Досліджувати» та «Пояснювати»). На цьому рівні реалізується когнітивна функція моделі – формування просторово-аналітичного мислення. Учні виконують індивідуальні або групові мініпроекти, пов'язані з вивченням країн Європи. Кожен учень створює власний AR-маркер, який візуалізує визначні природні або соціально-економічні об'єкти країни (природні ресурси, промислові центри, столицю, культурні пам'ятки тощо) відповідно до завдань, поставлених вчителем.

Для реалізації проєктів можуть бути використані платформи Assemblr EDU або Arloora, які надають можливість створювати інтерактивні AR-сцени та генерувати маркери для колективного перегляду. Для наповнення сцен 3D-об'єктами доцільно скористатися ресурсом Sketchfab (<https://sketchfab.com/>), що містить великий каталог безоплатних моделей природних об'єктів (рис. 4.31).

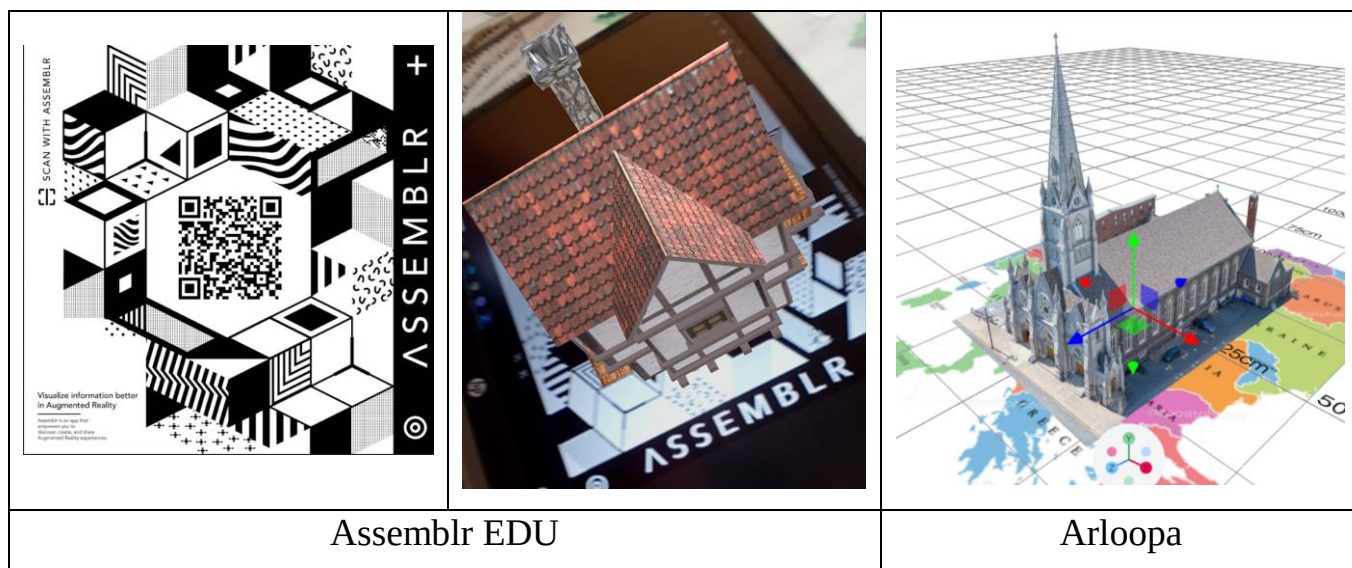


Рис. 4.31. Створення AR-сцен

Учитель координує процес створення AR-просторів, консультує щодо вибору навчального матеріалу, технічної реалізації та забезпечує організацію взаємооцінювання робіт. Колективне ознайомлення з результатами сприяє здійсненню рефлексії, надає можливість порівняти природні ресурси різних країн та сформулювати узагальнені висновки.

На цьому рівні використання ІІІ може бути реалізовано в наступних напрямках (табл. 4.10).

Таблиця 4.10.

Використання ІІІ-сервіс на керованому-діяльнісному рівні

Дидактичне призначення	ІІІ-сервіс	Очікуваний результат
Збір і систематизація аналітичних відомостей про країну	Gemini, ChatGPT, Copilot	Отримання коротких довідок, фактологічних таблиць і порівняльних характеристик
Пошук наукових джерел і дослідницьких даних	Perplexity.ai, Elicit.org	Використання достовірних джерел для підтвердження географічних фактів
Побудова карти зв'язків між природними ресурсами,	Miro (з Copilot), MindMap ІІІ	Візуалізація взаємозв'язків і просторових залежностей

Дидактичне призначення	ІІІ-сервіс	Очікуваний результат
галузями промисловості та екологічними ризиками		
Генерування реалістичних зображень об'єктів для ARLOOPA або Assemblr	Microsoft Designer, Canva Magic Media, Leonardo.ai	Створення ілюстративного матеріалу для AR-сцен
Пошук 3D-моделей для AR-сцен	ChatGPT, Sketchfab	Добір відповідних моделей природних або культурних об'єктів
Створення коротких описів і пояснень для AR-сцен	Gemini, ChatGPT	Формування інформаційного супроводу до об'єктів дослідження.

У підсумку учні демонструють сформованість просторово-аналітичного мислення та готовність до інтеграції знань у нові контексти. Наступний етап «Розробляти» передбачає застосування отриманих знань у практичних і творчих завданнях.

3. Самостійно-дослідницький рівень (етапи «Розробляти» та «Оцінювати»). Етап «Розробляти» спрямований на застосування отриманих знань у нових навчальних і практичних контекстах, що забезпечує реалізацію інтегративної функції моделі. На цьому етапі відбувається перехід від аналізу та систематизації відомостей до їх узагальнення, моделювання та практичного застосування результатів дослідження. Учні створюють інтерактивні географічні продукти, у яких поєднуються картографічні, статистичні та візуальні дані. Одним із ефективних інструментів для цього є онлайн-платформа MapChart (<https://www.mapchart.net/>), що дає змогу створювати власні тематичні карти країн Європи відповідно до дослідницьких завдань – відображати розподіл природних ресурсів, густоту населення, рівень урбанізації, соціально-економічні показники тощо.

На даному етапі також актуальними можуть бути такі застосунки:

– WorldPopulationReview: учні можуть зібрати дані (наприклад, населення

континентів, темпи зростання) і підключити їх до ArcGIS, створити тематичні карти або AR-сцени, де населення та рівень урбанізації є одним із шарів;

- Climate Reanalyzer для порівняння кліматичних змін у країнах Європи, створення AR-маркера або 3D-сцени з моделями окремих країн, де показано вплив клімату;

- NASA Worldview – безоплатний вебсервіс від NASA для візуалізації супутникових даних у режимі реального часу та для аналізу просторово-часових змін на поверхні Землі.

Отримані карти експортуються у графічному форматі та інтегруються у створені раніше AR-простори за допомогою платформ Assemblr EDU, CoSpaces Edu, Arloora або у візуалізоване середовище Scratch (рис. 4.32). Учні накладають на карту тривимірні моделі об'єктів (наприклад, промислових центрів, родовищ природних ресурсів, вітрових або гідроелектростанцій), які було розроблено під час попереднього етапу. Така інтеграція сприяє візуалізації просторових зв'язків між природними, економічними та соціальними складниками розвитку країн Європи, підтримує дослідницьке навчання та персоналізує освітній процес. Опис створення таких карт розглянуто в додатку Р.

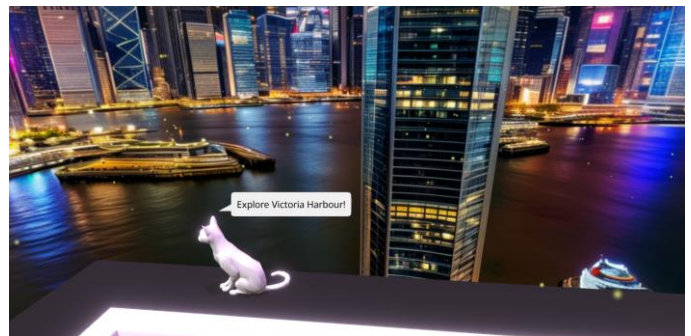


Рис. 4.32. Проєктні роботи в середовищі CoSpaces Edu

Колективна робота в проєкті забезпечує міжпредметну інтеграцію знань із географії, економіки, екології, історії та технологій. Учитель виступає наставником процесу, консультує щодо узгодження візуального матеріалу, коректності просторового аналізу та логіки побудови карти, рекомендує сервіси.

Результатом етапу «Розробляти» є завершені AR-карти або візуалізовані географічні моделі, які демонструють цілісне бачення природно-ресурсного,

економічного й соціального потенціалу країн Європи. Такий формат роботи формує в учнів уміння інтегрувати знання, аргументувати висновки, співпрацювати в команді й презентувати результати власного дослідження в цифровому середовищі.

На етапі «Оцінювання» реалізується рефлексивна функція навчання. Учні презентують створені імерсивні продукти, обґрунтовують прийняті рішення та здійснюють само- й взаємооцінювання. Використання платформ Padlet або Mentimeter дає змогу зібрати враження, коментарі, оцінки однокласників. Для аналізу результатів навчання може бути залучений ІІІ-інструмент Google Forms з розширенням ІІІ Summary, який автоматично узагальнює ключові ідеї відповідей.

Останній етап спрямований на саморегуляцію та перенесення знань у нові навчальні ситуації. Учні прогнозують можливі зміни в географічному розвитку регіонів, створюють короткі ІІІ-підтримувані звіти або есе (за допомогою ChatGPT, Gemini) про вплив технологій, клімату чи економічних процесів на Європу.

Описані методики використання імерсивних технологій у процесі навчання не вичерпуються розглянутими платформами та застосунками, а також потребують розгляду імерсивної віртуальної реальності, що наразі в закладах освіти України не реалізована, хоча і зарекомендувала себе як середовище, що покращує процес навчання природничих предметів [190; 357].

4.3. Методичні рекомендації для вчителів щодо використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів

Попри значний дидактичний потенціал імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів, їхнє системне впровадження в освітній процес академічних ліцеїв залишається обмеженим. Аналіз наукових джерел, результатів педагогічного експерименту та практики використання AR/VR-технологій у ЗЗСО дав змогу виокремити основні групи чинників, що стримують їхнє ефективне використання.

До *кадрових* чинників належить недостатній рівень сформованості

цифрових компетентностей педагогів, зокрема щодо педагогічного дизайну навчання з використанням імерсивних технологій, визначення їхньої дидактичної доцільності та інтеграції в структуру навчального заняття [230]. *Методичні* труднощі пов'язані з недостатньою кількістю обґрунтованих критеріїв добору та експертизи імерсивних освітніх ресурсів, що ускладнює забезпечення їхньої наукової коректності, педагогічної доцільності та відповідності навчальним цілям [452]. *Організаційними* чинниками виступають фрагментарність використання імерсивних технологій та відсутність усталених моделей їхньої інтеграції в освітні програми. *Техніко-економічні* обмеження зумовлені недостатнім рівнем матеріально-технічного забезпечення, нестабільністю окремих програмних рішень і потребою в технічній підтримці.

Подолання зазначених труднощів потребує комплексного підходу, який передбачає розвиток цифрової компетентності педагогів, використання обґрунтованих критеріїв добору імерсивних ресурсів, накопичення якісних навчальних матеріалів та підтримку професійної взаємодії вчителів. З урахуванням результатів аналізу наукових праць і проведеного педагогічного експерименту доцільно дотримуватися такої послідовності організації використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних предметів [449; 537; 573; 577]:

– *аналіз потреб і планування* – визначення тем і навчальних завдань, для яких використання імерсивних технологій є педагогічно доцільним і сприяє розв'язанню складних дидактичних проблем;

– *добір і розроблення навчальних матеріалів* – добір науково коректних, безпечних і педагогічно обґрунтованих ресурсів та навчальних програм або створення власних інтерактивних сценаріїв за відсутності готових рішень;

– *підготовка технічних умов* – забезпечення доступності необхідних цифрових засобів та перевірка їх готовності до використання в освітньому процесі;

– *поетапне використання імерсивних ресурсів* – впровадження окремих елементів імерсивного середовища в межах конкретних тем або навчальних

модулів із поступовим розширенням практики їх застосування;

– *моніторинг і корекція* – аналіз результатів навчання, рефлексія учнів та вдосконалення методики використання імерсивних технологій на основі отриманого досвіду.

Розроблені методичні рекомендації ґрунтуються на принципі людиноцентризму, відповідно до якого імерсивні технології розглядаються не як самоціль, а як засіб підтримки особистісного розвитку учня, індивідуалізації навчання та створення умов для його активної пізнавальної діяльності. Такий підхід узгоджується із засадами НУШ, де людиноцентризм визначено одним із ключових орієнтирів організації освітнього процесу [434].

Використання імерсивних технологій має враховувати індивідуальні освітні потреби учнів, рівень їхньої підготовки, навчальні інтереси, темп засвоєння матеріалу та психофізіологічні особливості. За таких умов цифрові технології не замінюють педагогічну взаємодію між учителем і учнями, а розширюють її можливості, сприяючи розвитку самостійності, відповідальності та рефлексії.

Учителю доцільно використовувати імерсивні технології під час вивчення об'єктів, процесів і явищ, які є складними для безпосереднього спостереження, потребують просторової візуалізації або пов'язані з ризиками під час проведення реального експерименту. Водночас доцільно уникати надмірного використання візуальних ефектів та когнітивного перевантаження, що можуть знижувати ефективність навчання і негативно впливати на психологічний комфорт учнів [372].

З метою підвищення результативності навчання рекомендується поєднувати використання імерсивних ресурсів із попередньою пізнавальною діяльністю учнів. Перед виконанням віртуальних експериментів, дослідженням моделей або спостереженням процесів доцільно організовувати прогнозування результатів, висування гіпотез та обговорення можливих пояснень досліджуваних явищ. За такого підходу імерсивна візуалізація виконує функцію перевірки, уточнення та поглиблення сформованих уявлень, забезпечуючи поєднання абстрактного мислення з практичним досвідом взаємодії з цифровими моделями.

Відповідно до результатів проведеного дослідження та узагальнення сучасних підходів до використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів [479] визначено основні напрями їх педагогічно доцільного застосування в освітньому процесі академічного ліцею (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Рекомендовані напрями використання імерсивного середовища у навчанні природничо-математичних предметів в академічних ліцеях

Напрямок використання	Методичні рекомендації	Очікуваний результат
Персоналізація та індивідуалізація навчання	використання варіативних сценаріїв навчання; добір завдань різного рівня складності; забезпечення доступності ресурсів для учнів із різними освітніми потребами	підвищення мотивації до навчання; врахування індивідуальних особливостей учнів; зростання навчальних досягнень.
Організація дослідницької діяльності	використання віртуальних лабораторій, симуляцій та цифрового моделювання; організація спостережень, експериментів і перевірки гіпотез в імерсивному середовищі	розвиток дослідницьких умінь, критичного мислення та навичок наукового пізнання.
Реалізація міжпредметних зв'язків і STEM-підходу	інтеграція змісту природничих дисциплін, математики та технологій через спільні проєкти, кейси й моделювання реальних процесів	формування міжпредметних компетентностей та цілісного наукового світогляду.
Організація групового навчання	використання групових дослідницьких завдань, спільного розв'язування проблем та	розвиток комунікативних умінь, навичок співпраці та командної роботи.

Напрямок використання	Методичні рекомендації	Очікуваний результат
	проектної діяльності в імерсивному середовищі	
Підтримка формувального оцінювання та рефлексії	використання інтерактивних завдань, цифрового моніторингу діяльності учнів, самооцінювання та взаємооцінювання	оперативний зворотний зв'язок, усвідомлення власного прогресу та корекція навчальної діяльності.

Запропоновані напрями використання імерсивних технологій узгоджуються з компонентами розробленої методичної системи та конкретизують шляхи їх практичної реалізації в освітньому процесі академічного ліцею. Їх упровадження може сприяти підвищенню мотивації учнів до вивчення природничо-математичних предметів, розвитку дослідницьких умінь, формуванню навичок співпраці та створенню умов для індивідуалізації навчання. Водночас реалізація зазначених напрямів потребує чіткої організації діяльності вчителя та учнів на різних етапах освітнього процесу.

Діяльність учителя щодо використання імерсивних технологій може бути представлена у вигляді трьох взаємопов'язаних етапів (рис. 4.33).

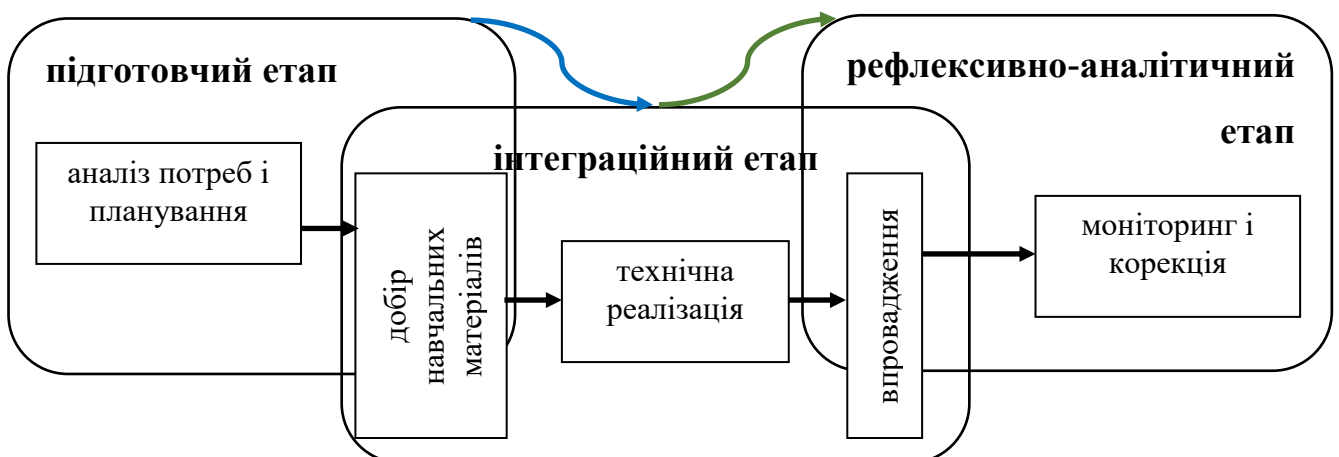


Рис. 4.33. Структурна схема використання імерсивних технологій учителем

Підготовчий етап передбачає визначення навчальних цілей і очікуваних результатів навчання, аналіз доцільності використання імерсивних технологій для

конкретної теми, добір або розроблення відповідних цифрових ресурсів, а також перевірку готовності технічних засобів до роботи. На цьому етапі особливу увагу доцільно приділяти відповідності обраних ресурсів змісту навчального матеріалу та віковим особливостям учнів.

Інтеграційний етап пов'язаний із безпосереднім використанням імерсивного середовища в освітньому процесі. Діяльність учителя спрямовується на організацію активної пізнавальної взаємодії учнів із цифровими моделями, віртуальними об'єктами та симуляціями. Залежно від поставлених цілей імерсивні технології можуть використовуватися для демонстрації процесів і явищ, проведення віртуальних експериментів, розв'язування проблемних завдань, виконання навчальних проєктів та організації дослідницької діяльності.

Рефлексивно-аналітичний етап передбачає аналіз результатів навчальної діяльності, організацію рефлексії, самооцінювання та взаємооцінювання учнів, узагальнення отриманих результатів і визначення напрямів удосконалення методики використання імерсивних технологій. Отриманий зворотний зв'язок може використовуватися для корекції навчальних матеріалів, змісту завдань і способів організації навчальної діяльності.

Відповідно до виокремлених етапів сформулюємо методичні рекомендації для вчителів щодо використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Структура методичних рекомендацій щодо використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів

Напрямок діяльності вчителя	Методичні рекомендації
<i>Підготовчий етап</i>	
Визначення цілей навчання та очікуваних результатів.	Планування навчання доцільно розпочинати з визначення предметних, ключових та міжпредметних компетентностей, формування яких передбачається в процесі вивчення конкретної теми. Рішення про

Напрямок діяльності вчителя	Методичні рекомендації
	використання імерсивних технологій рекомендується приймати лише після визначення очікуваних результатів навчання.
Вибір моделі організації навчання з використанням імерсивного середовища.	Модель організації навчання рекомендується обирати відповідно до провідної дидактичної мети заняття. Процедурну модель доцільно використовувати для поетапного формування та відпрацювання навчальних дій; інструктивно-діяльнісну – для організації діяльності за алгоритмами, інструкціями та навчальними маршрутами; функціонально-мотиваційну – для підвищення пізнавальної активності та підтримки навчальної мотивації учнів.
Вибір типу та рівня імерсивності цифрового ресурсу.	Рівень імерсивності доцільно визначати залежно від змісту навчального матеріалу, вікових особливостей учнів, складності навчальних завдань та необхідного рівня інтерактивності. Високий рівень імерсії рекомендується використовувати лише у випадках, коли він забезпечує суттєві переваги порівняно з менш імерсивними засобами.
Обґрунтування доцільності використання імерсивних технологій.	Імерсивні технології рекомендується використовувати насамперед для візуалізації просторових об'єктів, моделювання складних процесів і явищ, проведення віртуальних експериментів, дослідження недоступних або небезпечних об'єктів, а також організації навчального дослідження.
Добір імерсивних ресурсів та засобів навчання.	Обирати цифрові ресурси доцільно відповідно до дидактичних цілей, змісту навчального матеріалу, технічних можливостей закладу освіти та рівня цифрової компетентності учнів. Перевагу рекомендується надавати ресурсам, що забезпечують активну взаємодію учнів із навчальним середовищем.

Напрямок діяльності вчителя	Методичні рекомендації
Підготовка учнів до роботи в імерсивному середовищі.	Перед початком роботи необхідно ознайомити учнів із правилами використання обладнання, способами взаємодії з цифровим середовищем, вимогами безпеки та навчальними завданнями.
Формування пізнавальної мотивації.	Перед використанням імерсивного ресурсу доцільно створювати проблемні ситуації, пропонувати проблемні запитання або організовувати висунення гіпотез, які учні перевірятимуть під час роботи в імерсивному середовищі.
Інтеграційний етап	
Організація навчальної діяльності учнів.	Імерсивне середовище рекомендується використовувати як засіб активної пізнавальної діяльності. Основну увагу доцільно зосереджувати на діяльності учнів, а не на технологічних можливостях ресурсу.
Організація дослідницької діяльності	Учням рекомендується пропонувати завдання, що передбачають спостереження, вимірювання, аналіз даних, перевірку гіпотез, моделювання процесів та формулювання висновків на основі отриманих результатів.
Методичний супровід роботи з моделями.	Під час використання віртуальних моделей доцільно наголошувати учня на необхідності встановленні зв'язків між моделлю та реальним об'єктом, аналізі параметрів моделі, інтерпретації результатів спостережень і поясненні закономірностей, що вивчаються.
Інтеграція з іншими методами та засобами навчання	Використання імерсивних технологій рекомендується поєднувати з поясненням учителя, розв'язуванням задач, виконанням лабораторних робіт, навчальним проєктуванням та іншими формами навчальної діяльності.
Перенесення результатів у	Отримані в імерсивному середовищі результати доцільно використовувати як основу для розв'язування практичних

Напрямок діяльності вчителя	Методичні рекомендації
практичну діяльність.	задач, аналізу реальних ситуацій і проведення подальших досліджень.
Диференціація та індивідуалізація навчання.	Рекомендується використовувати можливості імерсивного середовища для варіювання складності завдань, темпу навчання, рівня педагогічної підтримки та способів представлення навчальних відомостей.
Контроль когнітивного навантаження.	Тривалість роботи в імерсивному середовищі доцільно визначати відповідно до складності навчальних завдань, вікових особливостей учнів та рівня їхньої підготовки, запобігаючи перевантаженню уваги й пам'яті та забезпечуючи перемежовування імерсивної діяльності з іншими видами навчальної роботи.
<i>Рефлексивно-аналітичний етап</i>	
Організація рефлексії.	Після завершення роботи рекомендується організовувати обговорення результатів діяльності, аналіз спостережень, порівняння отриманих результатів із висунутими припущеннями та узагальнення здобутого досвіду.
Формувальне оцінювання.	Доцільно оцінювати не лише кінцевий результат діяльності, а й процес виконання завдань, самостійність учнів, обґрунтованість прийнятих рішень та якість сформульованих висновків.
Самооцінювання та взаємооцінювання.	Рекомендується залучати учнів до оцінювання власної діяльності та діяльності однокласників з метою розвитку рефлексивних умінь і відповідальності за результати навчання.
Аналіз цифрових результатів діяльності.	Доцільно використовувати дані, отримані в цифровому середовищі, для виявлення навчальних труднощів, оцінювання прогресу учнів та корекції подальшої

Напрямок діяльності вчителя	Методичні рекомендації
	навчальної діяльності.
Корекція освітнього процесу.	Результати оцінювання, рефлексії та аналізу навчальної діяльності рекомендується використовувати для корекції змісту завдань, добору імерсивних ресурсів, вибору моделей організації навчання та подальшого планування освітнього процесу.

Запропоновані рекомендації визначають послідовність діяльності вчителя щодо планування та реалізації імерсивного навчання. Водночас організацію навчальної діяльності учнів доцільно здійснювати відповідно до логіки процесу навчання, яка передбачає послідовне проходження мотиваційно-актуалізаційного, пізнавально-дослідницького, практико-діяльнісного та рефлексивно-оцінювального етапів.

На мотиваційно-актуалізаційному етапі доцільно використовувати короткі AR/VR-візуалізації, інтерактивні сцени або цифрові демонстрації, які привертають увагу учнів, актуалізують наявні знання та створюють проблемну ситуацію. Важливим завданням учителя є стимулювання висунування гіпотез, прогнозування результатів і формування пізнавального інтересу до подальшого вивчення теми.

Пізнавально-дослідницький етап передбачає активну взаємодію учнів із віртуальними моделями, симуляціями та цифровими об'єктами. У процесі роботи учні можуть здійснювати спостереження, досліджувати властивості об'єктів, перевіряти висунуті припущення, аналізувати результати віртуальних експериментів та встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між явищами.

Практико-діяльнісний етап спрямований на застосування отриманих знань у процесі виконання навчальних проєктів, дослідницьких завдань і практичних робіт. Учні можуть створювати власні цифрові продукти, моделі, інтерактивні об'єкти або використовувати можливості імерсивного середовища для

розв'язання прикладних завдань. Особливого значення на цьому етапі набуває організація групової діяльності.

Рефлексивно-оцінювальний етап передбачає осмислення отриманих результатів, самооцінювання та взаємооцінювання навчальної діяльності, аналіз труднощів, які виникли під час виконання завдань, а також визначення шляхів їх подолання. Для підтримки рефлексії можуть використовуватися цифрові інструменти опитування, електронні журнали спостережень та інші засоби формуального оцінювання.

Для забезпечення ефективного використання імерсивних технологій учителю доцільно враховувати такі умови [36]:

- наявність належного технічного забезпечення та доступності необхідних цифрових ресурсів;
- достатній рівень цифрової й методичної підготовки педагогів щодо інтеграції імерсивних технологій у процес навчання;
- урахування вікових, індивідуальних і психофізіологічних особливостей учнів;
- системна інтеграція імерсивних ресурсів у структуру навчальної діяльності;
- забезпечення педагогічної доцільності, наукової коректності та безпечності цифрових навчальних матеріалів;
- поєднання імерсивних технологій з активними та дослідницькими методами навчання;
- використання інструментів моніторингу та формуального оцінювання результатів навчання.

Отже, ефективне використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів передбачає їх інтеграцію в структуру освітнього процесу як інструменту активної пізнавальної діяльності учнів. Визначальними умовами результативності є педагогічна доцільність, системність застосування, поєднання з іншими методами навчання, орієнтація на досягнення освітніх результатів та активну участь учнів у процесі пізнання.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі обґрунтовано організаційно-методичні засади реалізації методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Визначено, що ефективність інтеграції імерсивних технологій визначається характером дидактичної функції імерсивного середовища та рівнем його педагогічної інтеграції в структуру навчальної діяльності учнів.

У цьому контексті визначено три взаємодоповнювальні моделі організації навчання, класифіковані за функціональною домінантою імерсивного середовища, яка визначає його педагогічну роль у процесі навчання. Встановлено, що процедурна модель реалізує інструментально-підтримувальну функцію імерсивного середовища та забезпечує відпрацювання й варіативне застосування способів виконання навчальних дій; інструктивно-діяльнісна модель виконує структурно-утворювальну функцію, забезпечуючи поетапний перехід від керованого виконання навчальних дій до самостійної навчально-дослідницької діяльності; функціонально-мотиваційна модель реалізує концептуально-організаційну функцію імерсивного середовища, забезпечуючи цілісну організацію процесу навчання на основі мотиваційних, діяльнісних і рефлексивних механізмів навчання. Обґрунтовано, що взаємодоповнювальне використання моделей забезпечує педагогічно доцільний перехід від керованого навчання до розвитку навчальної автономії та дослідницької діяльності учнів.

Розроблено предметно-орієнтовані методики використання імерсивних технологій у навчанні математики, фізики, хімії, біології та географії, побудовані з урахуванням специфіки предметної галузі, домінантного типу навчальної діяльності та моделі педагогічної інтеграції імерсивного середовища. Так у математиці акцент зроблено на розвитку просторового та функціонального мислення через моделювання об'єктів і залежностей, у фізиці – на організації експериментально-дослідницької діяльності, у хімії – на візуалізації просторової будови речовин і перебігу хімічних процесів, у біології – на моделюванні багаторівневих біологічних систем та процесів, географії – на формуванні

просторово-аналітичних умінь у процесі конструювання знань та валідації результатів за допомогою штучного інтелекту.

Запропоновано методичні рекомендації щодо впровадження імерсивних технологій у практику академічного ліцею, які визначають алгоритм діяльності вчителя: від етапу аналізу навчальних цілей і добору цифрових ресурсів до організації імерсивної взаємодії, оцінювання результатів навчання та корекції освітнього процесу. Рекомендації спрямовані на забезпечення системного, педагогічно виваженого та безпечного використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів.

Рекомендації побудовано на засадах людиноцентричного підходу та структуровано відповідно до підготовчого, інтеграційного і рефлексивно-аналітичного етапів діяльності вчителя. Визначено напрями педагогічно доцільного використання імерсивних технологій, що охоплюють індивідуалізацію навчання, організацію дослідницької діяльності, реалізацію міжпредметних зв'язків і STEM-підходу, групову взаємодію та підтримку формувального оцінювання.

Таким чином, результати четвертого розділу конкретизують практичні механізми реалізації розробленої методичної системи, створюючи цілісний механізм педагогічної інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів відповідно до дидактичних цілей, змісту навчання та особливостей пізнавальної діяльності учнів.

Основні результати четвертого розділу опубліковано в роботах [168; 193; 195; 389; 420; 455; 496; 500; 501; 504; 505; 506; 514; 525; 527; 528 532; 533; 534; 536; 538; 572].

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧО- МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ УЧНІВ АКАДЕМІЧНИХ ЛІЦЕЇВ

Відповідно до поставлених завдань дослідження було проведено експериментальну перевірку ефективності методичної системи використання іммерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Здійснено оцінювання навчальних досягнень учнів контрольних та експериментальних груп, проаналізовано отримані результати та окреслено підстави для розроблення методичних рекомендацій щодо практичного впровадження запропонованої методичної системи.

5.1. Організація, проведення й аналіз результатів констатувального етапу експерименту

Педагогічний експеримент у межах дослідження розглядається як цілеспрямовано організований науково-практичний процес перевірки ефективності розробленої методичної системи. Експеримент передбачав поетапне вивчення стану освітньої практики, апробацію авторських методичних рішень та оцінювання їхнього впливу на результати навчальної діяльності учнів у контрольованих педагогічних умовах [396; 437].

Організація експерименту ґрунтувалася на вимогах до проведення педагогічних досліджень, зокрема щодо наукової обґрунтованості, відтворюваності, поетапності та статистичної вірогідності результатів [392; 437; 484]. Робоча гіпотеза дослідження ґрунтувалася на припущенні, що ефективність навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях зростатиме за умови цілеспрямованого впровадження розробленої методичної системи, яка передбачає інтеграцію цільового, змістового, технологічного, комунікаційно-організаційного та оцінювально-результативного компонентів.

Метою педагогічного експерименту є визначення ефективності розробленої методичної системи використання іммерсивних технологій навчання природничо-

математичних предметів учнів академічних ліцеїв; апробація методик її впровадження в процес навчання та перевірка гіпотези дослідження щодо її впливу на підвищення навчальних досягнень і розвиток просторового мислення учні.

Відповідно до поставленої мети експериментальна робота передбачала розв'язання таких завдань:

1. Виявити вихідний стан використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів та рівень готовності педагогів до їх педагогічно доцільного застосування.

2. Визначити початкові рівні навчальних досягнень, пізнавальної активності та просторового мислення учнів.

3. Забезпечити формування експериментальних і контрольних груп з урахуванням профілю навчання та рівня попередньої підготовки учнів.

4. Впровадити розроблену методичну систему використання імерсивних технологій у процес навчання учнів експериментальної групи.

5. Здійснити кількісний і якісний аналіз результатів навчальної діяльності учнів з метою перевірки гіпотези дослідження.

6. Узагальнити результати педагогічного експерименту та розробити практичні рекомендації для вчителів академічних ліцеїв щодо впровадження імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів.

Для реалізації завдань педагогічного експерименту використано комплекс емпіричних, експериментальних методів і методів математичної статистики.

Емпіричні методи (анкетування, опитування, педагогічне спостереження, тестування, оцінювання результатів навчання) застосовано для визначення рівня готовності вчителів до використання імерсивних технологій, оцінювання навчальних досягнень учнів, рівня розвитку їхнього просторового мислення, мотивації до навчання та аналізу результатів упровадження методичної системи.

Експериментальні методи використано для перевірки ефективності методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Педагогічний експеримент

охоплював констатувальний, формувальний та узагальнювальний етапи.

Методи математичної статистики застосовано для кількісного опрацювання й аналізу результатів педагогічного експерименту, перевірки статистичної значущості отриманих результатів і підтвердження гіпотези дослідження за допомогою критерію кутового перетворення Фішера.

Педагогічний експеримент із перевірки ефективності методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв проводився впродовж 2023-2026 рр. та мав поетапний характер. Його організація ґрунтувалася на логіці педагогічного експерименту, відповідала меті, завданням і гіпотезі дослідження та забезпечувала послідовний перехід від теоретико-методологічного обґрунтування і діагностики вихідного стану до цілеспрямованого формувального впливу й узагальненої оцінки результативності розробленої методичної системи.

Експериментальна робота охоплювала три взаємопов'язані етапи, зміст і завдання яких подано в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Програма та етапи науково-педагогічного експерименту

Етапи експерименту	Зміст діяльності
І – констатувальний 2023(вересень)-2025 (вересень)	1. Визначення бази дослідження та обґрунтування організаційних умов проведення експерименту. 2. Аналіз стану використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів з метою виявлення проблем і суперечностей освітньої практики. 3. Діагностика рівня готовності вчителів (анкетування, інтерв'ю) до використання імерсивних технологій. 4. Систематизація та добір імерсивних навчальних ресурсів, програмного забезпечення та технічних засобів навчання. 5. Уточнення гіпотези, визначення критеріїв, показників та

Етапи експерименту	Зміст діяльності
	вибір діагностичного інструментарію. 6. Формування експериментальних та контрольних груп. 7. Проведення вхідного контролю навчальних досягнень, рівня пізнавальної активності та просторового мислення учнів. 8. Статистична обробка та фіксація вихідних показників експерименту.
II – <i>формувальний</i> 2025 (вересень)–2026 (травень)	1. Здійснення цілеспрямованої підготовки педагогів (майстер-класи, методичний супровід) до реалізації імерсивного навчання. 2. Реалізація методичної системи в експериментальних групах. 3. Організація процесу навчання з використанням віртуальних лабораторій, симуляцій та інтерактивних платформ згідно з розробленою моделлю методичної системи. 4. Здійснення поточного моніторингу перебігу експерименту: педагогічне спостереження, аналіз продуктів діяльності та рівня залученості учнів.
III – <i>узагальнювальний</i> 2026 (січень-червень)	1. Проведення підсумкової діагностики рівнів навчальних досягнень, пізнавальної активності та просторового мислення учнів. 2. Виконання порівняльного аналізу результатів навчання в експериментальних і контрольних групах. 3. Здійснення статистичної обробки та перевірки достовірності результатів із використанням кутового перетворення Фішера. 4. Оцінювання рівнів сформованості навчальної діяльності

Етапи експерименту	Зміст діяльності
	учнів за мотиваційним та діяльнісним критеріями. 5. Узагальнення результатів експерименту, формулювання висновків про ефективність методичної системи та розроблення рекомендацій.

Констатувальний етап експерименту був спрямований на аналіз реального стану використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів, визначення вихідних умов експерименту та проєктування методичної системи їх використання в академічному ліцеї. На цьому етапі здійснювалося виявлення рівня готовності педагогів і закладів освіти до впровадження імерсивного навчання, формування контрольних та експериментальних груп, а також діагностика початкових показників навчальної діяльності учнів.

Мета констатувального етапу полягала у визначенні вихідних організаційно-педагогічних умов експерименту, діагностиці початкового рівня навчальних досягнень і психолого-педагогічних характеристик учнів (зокрема просторового мислення та пізнавальної активності), оцінюванні готовності педагогів до використання імерсивних технологій та обґрунтуванні теоретико-методичних засад проведення педагогічного експерименту.

Відповідно до мети було поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати стан та організаційно-педагогічні умови використання імерсивних технологій у ЗЗСО, зокрема оцінити їх технічну та ресурсну базу.

2. З'ясувати рівень готовності педагогів до інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів (потребу педагогів у методичній та технологічній підтримці).

3. Діагностувати вихідний стан психолого-педагогічних характеристик учнів, а саме: рівень навчальної мотивації, пізнавальної активності та розвиненості просторового мислення.

4. Визначити початковий рівень навчальних досягнень учнів ліцею з

природничо-математичних предметів, сформований у межах традиційної методики навчання.

5. Обґрунтувати теоретико-методичні засади експерименту: уточнення гіпотези, вибір критеріально-діагностичного апарату та формування контрольних та експериментальних груп.

6. Встановити вихідні кількісні та якісні показники дослідження для забезпечення об'єктивності подальшого порівняльного аналізу результатів.

З метою отримання емпіричних даних було проведено анкетування педагогів закладів загальної середньої освіти (додаток С), що дало змогу виявити рівень їхньої обізнаності з імерсивними технологіями, наявний досвід їх використання в освітньому процесі, забезпеченість технічними засобами, а також запит на професійне вдосконалення у цій сфері.

В опитуванні взяли участь учителі різних вікових категорій, серед яких найбільш численними були групи віком 26-30 років (16,4%) та 41-50 років (32,8%). Педагогічний стаж респондентів дозволяє розглядати їх як фахівців зі сформованим професійним досвідом, що забезпечує достовірність отриманих оцінок. За предметною спеціалізацією переважали вчителі математики (27,3%) та інформатики (20%), а також української мови та літератури (16,4%). Частка педагогів природничих дисциплін становила 32,7%, що свідчить про часткову мультидисциплінарність викладання. Крім того, 12,7% опитаних зазначили викладання інтегрованих курсів, а 85,5% – роботу за програмами рівня стандарту.

Створення імерсивного середовища потребує наявності апаратних та програмних ресурсів. За даними опитування: 89,1% вчителів мають доступ до інтернету в навчальному кабінеті; 92,7% забезпечені персональним комп'ютером; 87,3% дозволяють учням використовувати мобільні телефони під час навчання; 12,7% не мають додаткового обладнання (інтерактивні дошки, проєктори тощо). Ці дані свідчать про загалом позитивне ставлення педагогів до організації інноваційного навчання та готовність до використання сучасних технологій.

Переважає більшість респондентів (79,9%) знайома з поняттям «імерсивні технології». Найбільш відомими технологіями серед педагогів є [370]: віртуальна

реальність – 85,4%; доповнена реальність – 77,1%; змішана реальність – 48,1%; 360°-відео – 45,5%. Однак певна частина вчителів помилково відносить до імерсивних технологій штучний інтелект (43,9%) та хмарні сервіси (19,1%).

Досвід практичного використання імерсивних технологій найбільш характерний для вчителів історії, астрономії, фізики, географії та біології, що свідчить про їхній потенціал у візуалізації складних процесів і явищ, а також підтверджує доцільність поширення відповідних підходів на природничо-математичну освітню галузь.

За результатами опитування педагоги визначили основні переваги використання імерсивних технологій у навчанні: підвищення мотивації та зацікавленості учнів (74,5%); можливість реалізації реалістичних симуляцій навчальних процесів (65,5%); розвиток просторового мислення (58,2%); покращення розуміння й запам'ятовування навчального матеріалу (47,3%).

Серед необхідних умов ефективного впровадження імерсивних технологій респонденти виокремили: забезпечення закладів освіти відповідним апаратним і програмним оснащенням (72,7%); проходження спеціалізованих тренінгів (69,1%); наявність систематизованого банку імерсивних застосунків і методичних рекомендацій (56,4%).

Узагальнення результатів анкетування вчителів на констатувальному етапі засвідчило, що:

- 1) більшість педагогів обізнані з базовими видами імерсивних технологій, але потребують методичного супроводу для їхнього педагогічного використання;
- 2) матеріально-технічні умови більшості ЗЗСО створюють потенційні можливості для впровадження імерсивного навчання;
- 3) виявлено стійку мотивацію вчителів до професійного розвитку у сфері імерсивних технологій.

Отримані дані підтвердили доцільність створення методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів та стали підґрунтям для:

- уточнення цілей і змісту методичної системи відповідно до потреб

педагогів;

- визначення критеріїв і показників оцінювання її ефективності;
- формування програми підготовки вчителів-експериментаторів;
- добору імерсивних технологій та ресурсів для формувального етапу експерименту.

Таким чином, результати констатувального етапу засвідчили наявність організаційно-педагогічних передумов для інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів, а також підтвердили потребу в науковому обґрунтуванні педагогічних засад їх використання, визначенні структури імерсивного середовища навчання та розробленні відповідних методичних підходів. У сукупності з результатами теоретичного дослідження це підтвердило *першу часткову гіпотезу дослідження*.

Експериментальною базою дослідження були: КЗО «Криворізький ліцей «КОЛІЯ» ДОР», Криворізький Покровський ліцей КМР, Криворізький природничо-науковий ліцей, Криворізький ліцей № 71 КМР, Криворізький ліцей № 77 КМР, Криворізький ліцей № 129 КМР. Загальна кількість учасників педагогічного експерименту становила 324 учні.

Усі залучені заклади освіти функціонують в умовах профільного навчання та характеризуються типовими для ліцеїв організаційно-педагогічними умовами: профільною диференціацією, навчанням за програмами профільного рівня та рівня стандарту, а також відповідним кадровим забезпеченням. Отримані результати відображають реальні тенденції організації природничо-математичної освіти в умовах профільного навчання і можуть бути поширені на інші заклади цієї категорії.

Експериментальна перевірка ефективності розробленої методичної системи використання імерсивних технологій здійснювалася під час організації навчання учнів 10-х класів з алгебри, геометрії, фізики, хімії, біології та географії. Найбільш тривала та системна експериментальна робота з математики та фізики проводилася на базі КЗО «Криворізький ліцей «КОЛІЯ» ДОР», який є одним із передпілотних академічних ліцеїв України. Водночас залучення інших закладів

загальної середньої освіти дало змогу перевірити ефективність запропонованої методичної системи з різних предметів природничо-математичного циклу і за різних організаційно-педагогічних умов. Опис організації та результату експериментального дослідження з інтегрованого курсу «Природничі науки» подано в додатку Т.

Для проведення педагогічного експерименту в кожному закладі було сформовано контрольні та експериментальні групи. Загальний розподіл учасників дослідження за предметами та групами наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Кількісний розподіл учасників педагогічного експерименту на КГ та ЕГ

Предмет	ЗЗСО	ЕГ		КГ	
		Профіль	Кількість учнів	Профіль	Кількість учнів
Алгебра	КОЛІА	природничий, економічний, суспільно-гуманітарний	26 проф.; 45 станд. Разом 71	фізико-математичний, філологічний, художній	26 проф.; 43 станд. Разом 69
Геометрія	КОЛІА	природничий	14 проф.; 15 станд. Разом 29	фізико-математичний, художній	26 проф.; 15 станд. Разом 41
Фізика	КОЛІА	природничий, інформатичний	43 станд.	філологічний, художній	43 станд.
Хімія	КЛ № 77	історико-філологічний	27 станд.	англійської філології	26 станд.
Біологія	КПЛ	філологічний	28 станд.	історичний	29 станд.
Географія	КЛ № 129	філологічний	30 станд.	філологічний	30 станд.

До контрольної групи (КГ) з *математики* увійшли учні фізико-математичного профілю (профільний рівень), профілю української філології та художнього профілю (рівень стандарту); з *фізики* – учні профілю української філології та художнього профілю; з *хімії* – учні англійської філології; з *біології* – історичного профілю та з *географії* – учні філологічного профілю;

До експериментальної групи (ЕГ) з *математики* увійшли учні природничого профілю (біолого-математичний підпрофіль – профільний рівень,

біолого-хімічний – рівень стандарту), економічного (профільний рівень) та суспільно-гуманітарного профілів (рівень стандарту); з фізики – учні природничого та інформаційного профілів (рівень стандарту); з *хімії* – історико-філологічний; з *біології* та з *географії* – учні філологічного профілю.

У КГ процес навчання здійснювався за традиційними методиками навчання, тоді як в ЕГ на наступному формувальному етапі передбачалося системне впровадження імерсивних технологій відповідно до розробленої методичної системи.

Оскільки формування КГ та ЕГ здійснювалося в умовах профільної диференціації навчання, важливим завданням констатувального етапу стало визначення їхньої початкової зіставності за рівнем навчальних досягнень. З цією метою було проведено вхідну діагностику навчальних результатів учнів.

На початку 2025-2026 навчального року в КГ та ЕГ з алгебри, геометрії та фізики було проведено контрольний зріз знань, спрямований на визначення рівня засвоєння змісту базової середньої освіти (зразки завдань наведено в додатку Х). Тестові завдання містили як закриті, так і відкриті форми, диференційовані за рівнем складності, що дало змогу оцінити рівень предметних знань, уміння застосовувати їх у практичних ситуаціях та елементи логічного мислення. Оцінювання здійснювалося відповідно до розробленої шкали балів, що забезпечувало можливість порівняльного аналізу результатів навчання в контрольних та експериментальних групах. Результати зрізу знань наведено в таблицях 5.3-5.5 та на рис. 5.1-5.3.

Для хімії та біології показником вихідного рівня навчальних досягнень слугували результати підсумкового оцінювання за перший семестр 2025-2026 навчального року, а для географії – результати тематичного оцінювання з розділу «Країни Європи». Розподіл учнів за рівнями навчальних досягнень наведено в табл. 5.6-5.8 та на рис. 5.4-5.6.

Таблиця 5.3

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень на початку експерименту з алгебри

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-3	початковий	3	4,4%	3	4,2%
4-6	середній	31	44,9%	33	46,5%
7-9	достатній	28	40,6%	32	45,1%
10-12	високий	7	10,1%	3	4,2%
Всього		69	100%	71	100%

Таблиця 5.4

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень на початку експерименту з геометрії

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-3	початковий	1	2,4%	2	6,9%
4-6	середній	18	43,9%	15	51,7%
7-9	достатній	18	43,9%	11	37,9%
10-12	високий	4	9,8%	1	3,5%
Всього		41	100%	29	100%

Таблиця 5.5

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень на початку експерименту з фізики

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-3	початковий	2	4,6%	9	20,9%
4-6	середній	27	62,8%	28	65,1%
7-12	достатній та високий	14	32,6%	6	14,0%
Всього		43	100%	43	100%

Таблиця 5.6

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень на початку експерименту з хімії

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-3	початковий	1	3,9%	1	3,7%
4-6	середній	11	42,3%	11	40,7%
7-9	достатній	11	42,3%	11	40,7%
10-12	високий	3	11,5%	4	14,9%
Всього		26	100%	27	100%

Таблиця 5.7

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень на початку експерименту з біології

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	14	48,3%	13	46,4%
7-9	достатній	11	37,9%	10	35,7%
10-12	високий	4	13,8%	5	17,9%
Всього		29	100%	28	100%

Таблиця 5.8

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень на початку експерименту з географії

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	15	50,0%	14	46,6%
7-9	достатній	10	33,3%	11	36,7%
10-12	високий	5	16,7%	5	16,7%
Всього		30	100%	30	100%

Для перевірки відсутності статистично значущих відмінностей між КГ та ЕГ на початку педагогічного експерименту було використано кутове перетворення

Фішера, яке дає змогу порівнювати частки учнів у двох незалежних вибірках. Для статистичного аналізу було використано частку учнів, які продемонстрували достатній і високий рівні навчальних досягнень за результатами вхідної діагностики. Об'єднання цих рівнів є педагогічно доцільним, оскільки вони характеризують досягнення учнями нормативно очікуваних результатів навчання та сформованість предметних компетентностей на рівні, достатньому для подальшого успішного навчання.

Сформулюємо гіпотези:

H_0 : частка учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ та ЕГ не відрізняється;

H_1 : частка учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ та ЕГ відрізняється.

Обмеження, що накладаються на застосування кутового перетворення Фішера, дотримано: а) жодна з часток не дорівнює нулю; б) кількість спостережень у кожній вибірці перевищує 5, що дозволяє коректно здійснити порівняння.

Результати обчислення статистики вказаних вибірок наведено в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Розподіл учнів КГ та ЕГ за часткою учнів із достатнім та високим рівнями навчальних досягнень

Предмет	КГ	ЕГ	$\phi_{\text{емп}}$	Інтерпретація
Алгебра	$35/69 = 0,5072$	$35/71 = 0,493$	0,169	H_0 не відхиляється.
Геометрія	$22/41 = 0,5367$	$12/29 = 0,4138$	1,016	H_0 не відхиляється.
Фізика	$14/43 = 0,3256$	$6/43 = 0,1395$	2,081	H_0 відхиляється.
Хімія	$14/26 = 0,5385$	$15/27 = 0,5556$	0,125	H_0 не відхиляється.
Біологія	$15/29 = 0,5172$	$15/28 = 0,5357$	0,14	H_0 не відхиляється.
Географія	$15/30 = 0,5000$	$16/30 = 0,5333$	0,26	H_0 не відхиляється.

Критичне значення для рівня статистичної значущості $\alpha = 0,05$ становить $\phi_{\text{кр}} = 1,64$.

Аналіз результатів, наведених у табл. 5.9, показав, що з алгебри, геометрії, хімії, біології та географії емпіричні значення критерію не перевищують

критичного ($\phi_{\text{емп}} < \phi_{\text{кр}}$). Отже, статистично значущих відмінностей між КГ та ЕГ за відповідними показниками навчальних досягнень не виявлено, а нульову гіпотезу не відхилено. Це дає підстави вважати зазначені групи однорідними за початковим рівнем навчальних досягнень із зазначених предметів.

З фізики емпіричне значення критерію перевищує критичне ($\phi_{\text{емп}} = 2,081 > \phi_{\text{кр}} = 1,64$), що свідчить про наявність статистично значущої різниці між групами. Частка учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ є вищою, ніж в ЕГ, тому ЕГ характеризувалася нижчим початковим рівнем підготовки. Надалі ця особливість враховувалася під час аналізу результатів шляхом оцінювання не лише підсумкових показників, а й динаміки їх змін упродовж формувального етапу експерименту.

Для реалізації завдань констатувального етапу було також здійснено:

- анкетування учнів для визначення рівня навчальної мотивації та пізнавального інтересу до вивчення природничо-математичних предметів, а також рівня сформованості просторового мислення;
- опитування педагогів із метою з'ясування їхньої готовності до використання сучасних цифрових технологій;
- спостереження за навчальною діяльністю учнів під час традиційних уроків.

Анкетування учнів проводилося до впровадження методичної системи і охоплювало п'ять змістових блоків: пізнавальна активність, внутрішня мотивація, емоційне ставлення до навчання, орієнтація на досягнення та зовнішня мотивація (додаток У). Учні оцінювали власні прояви навчальної діяльності за п'ятибальною шкалою: 5 – «повністю згоден», 4 – «скоріше згоден», 3 – «важко сказати», 2 – «скоріше не згоден», 1 – «зовсім не згоден».

Пізнавальна активність. Більшість респондентів продемонстрували помірно виражений інтерес до вивчення природничо-математичних дисциплін. Учні виявляють зацікавленість у практичному застосуванні знань, проте частина з них схильна орієнтуватися на результат у вигляді оцінки, а не на сам процес пізнання, що свідчить про необхідність стимулювання усвідомленого залучення

до навчальної діяльності.

Внутрішня мотивація. Переважна більшість опитаних (понад 60%) отримують задоволення від розуміння складного матеріалу, прагнуть логічно пояснювати факти та шукати додаткові відомості за потреби. У близько 20% респондентів мотивація має ситуативний характер, що актуалізує потребу у створенні умов для підвищення навчальної ініціативи через активні методи та імерсивні технології.

Емоційне ставлення до навчання. Приблизно 70% учнів виявили позитивне емоційне ставлення до уроків, особливо до практичних завдань, демонстрацій та досліджень. Близько 30% респондентів оцінювали уроки нейтрально або стримано, що свідчить про потребу у створенні навчальних ситуацій із залученням ефекту присутності та емоційної інтерактивності.

Орієнтація на досягнення. Переважна більшість учнів виявляє наполегливість та прагне виконувати завдання якісно. Високі показники свідчать про сформованість компонентів саморегуляції навчальної діяльності, проте у частини респондентів переважають зовнішні мотиви досягнення (оцінка, схвалення), що визначає необхідність акцентування на пізнавальному досвіді, а не лише на результаті.

Зовнішня мотивація. Для більшості учнів навчання мотивоване зовнішніми чинниками – оцінкою, похвалою вчителя, схваленням батьків, а також усвідомленням важливості знань для майбутнього. Значна частина учнів демонструє поступовий перехід зовнішньої мотивації у внутрішню, орієнтовану на саморозвиток.

Узагальнені результати анкетування показали, що в більшості учнів сформована переважно позитивна, але частково зовнішньо зумовлена мотивація навчання, яка поєднується з помірним рівнем пізнавальної активності та готовністю до дослідницької діяльності. Ці дані підтвердили доцільність застосування імерсивних технологій, здатних забезпечити глибоке занурення в процес навчання, підвищення емоційної залученості та розвиток внутрішньої мотивації учнів.

До впровадження формувального етапу експерименту було проведено діагностику рівня сформованості просторового мислення учнів 10-х класів, зокрема їхньої здатності до уявного моделювання, ментальної ротації, перетворення й візуалізації тривимірних об'єктів. Оцінювання здійснювалося за діагностичною картою (додаток Ф), укладеною на основі завдань, апробованих у сучасних наукових дослідженнях [177; 362].

Оцінювання охоплювало такі компоненти просторового мислення: 1) візуалізація – здатність відтворювати просторові форми та прогнозувати результати трансформацій; 2) ментальна ротація – уміння уявно обертати об'єкти у просторі; 3) просторова орієнтація – здатність визначати положення об'єктів у тривимірному просторі; 4) просторова реконструкція – відтворення тривимірних структур за двовимірними зображеннями.

Завдання оцінювалися за шкалою балів, максимально можливий результат – 15 балів. Рівні сформованості визначалися так:

– високий (13-15 балів) – учень вільно оперує просторовими образами, здійснює точні уявні обертання, прогнозує зміни форми об'єкта при трансформаціях, розпізнає складні тривимірні фігури;

– достатній (10-12 балів) – просторові уявлення сформовані на достатньому рівні, допускаються незначні помилки при ментальних обертаннях або орієнтації у просторі;

– середній (7-9 балів) – базові просторові уявлення сформовані, проте учень потребує часу або наочних опор для розв'язання завдань;

– низький (4-6 балів) – просторове мислення недостатньо розвинене, учень може виконати лише елементарні завдання;

– початковий (0-3 бали) – просторові уявлення несформовані, учень не здатний до уявних обертів і реконструкцій об'єктів.

Результати оцінювання показали (табл. 5.17), що більшість учнів (82%) продемонстрували середній та достатній рівні сформованості просторового мислення, 12% – високий, 6% – низький рівень. Учні з початковим рівнем сформованості просторового мислення не виявлено. Отримані дані свідчать про

наявність базових умінь просторової уяви, однак виявлено труднощі з ментальними обертаннями та узагальненням просторових образів.

Усі зазначені діагностичні процедури проводилися в межах одного констатувального етапу, а порядок їх викладу в тексті зумовлений логікою аналізу отриманих результатів.

Таким чином, констатувальний етап педагогічного експерименту забезпечив визначення вихідних організаційно-педагогічних умов дослідження та встановлення початкових показників навчальної діяльності учнів. За результатами анкетування педагогів виявлено їхню позитивну налаштованість на використання імерсивних технологій за наявності потреби в методичній і технологічній підтримці. Діагностика учнів засвідчила переважно позитивне ставлення до навчання, достатній рівень пізнавальної активності та сформованість базових просторових уявлень, водночас виявивши потребу в розвитку внутрішньої мотивації та складних компонентів просторового мислення.

Це зумовило доцільність переходу до формувального етапу педагогічного експерименту, спрямованого на перевірку ефективності розробленої методичної системи.

5.2. Статистичне опрацювання та аналіз результатів формувального етапу педагогічного експерименту

Формувальний етап педагогічного експерименту було розпочато після завершення констатувального етапу та формування КГ і ЕГ. Його метою була практична апробація розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв та експериментальна перевірка її ефективності.

Завдання:

– інтегрувати імерсивні ресурси у зміст природничо-математичних предметів, забезпечивши цілісність подачі матеріалу та зв'язок із реальними природничо-математичними явищами;

– застосовувати імерсивні технології у поєднанні з активними методами навчання (дослідницькі завдання, моделювання, проєктна діяльність) для

стимулювання внутрішньої мотивації та формування дослідницьких умінь учнів;

– організувати навчальну діяльність у різних формах: індивідуальна, групова, проєктна робота, що передбачає взаємодію, співпрацю та розвиток комунікативних компетентностей;

– використовувати варіативні навчальні матеріали (цифрові платформи, кейси, інструкції, інтерактивні моделі) відповідно до вікових та когнітивних особливостей учнів для підвищення рівня самостійності та усвідомленості навчальної діяльності;

– забезпечити систематичне спостереження та діагностику процесу навчання для коригування методичних прийомів у реальному часі.

Формувальний вплив реалізовувався впродовж 2025-2026 навчального року в ЕГ шляхом системного впровадження розробленої методичної системи. Навчання здійснювалося відповідно до процедурної, інструктивно-діяльнісної та функціонально-мотиваційної моделей організації навчання з використанням імерсивного середовища. У КГ процес навчання здійснювався за традиційною методикою. Реалізація формувального етапу забезпечила практичну апробацію розробленої методичної системи як цілісної сукупності взаємопов'язаних цільового, змістового, технологічного, комунікаційно-організаційного та оцінювально-результативного компонентів. Її впровадження в освітній процес ЕГ засвідчило узгоджене функціонування всіх компонентів методичної системи та забезпечило цілісну інтеграцію імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв, чим підтверджено *другу часткову гіпотезу дослідження*.

З метою оцінювання результативності практичної реалізації методичної системи на *узагальнювальному* етапі педагогічного експерименту було проведено підсумкову діагностику. Основними показниками оцінювання її ефективності виступали рівень навчальних досягнень учнів із природничо-математичних предметів та рівень сформованості просторового мислення як одного з очікуваних результатів використання імерсивних технологій навчання. Для цього здійснювалося порівняння результатів контрольних і експериментальних груп та

статистична перевірка виявлених відмінностей.

Додатково було проаналізовано особливості навчальної діяльності та мотивації учнів експериментальних груп в умовах використання імерсивних технологій. Відповідні результати розглядалися як допоміжні характеристики, що дозволяють уточнити особливості взаємодії учнів з імерсивним середовищем та інтерпретувати отримані результати експерименту.

Для аналізу впливу розробленої методичної системи на навчальні досягнення учнів було здійснено порівняння розподілу учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень. Отримані результати наведено в табл. 5.10-5.15, а їх графічне подання – на рис. 5.1-5.6.

Таблиця 5.10

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з алгебри після завершення формувального етапу

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-3	початковий	1	1,4%	1	1,4%
4-6	середній	34	49,3%	25	35,2%
7-9	достатній	30	43,5%	38	53,5%
10-12	високий	4	5,8%	7	9,9%
Всього		69	100%	71	100%

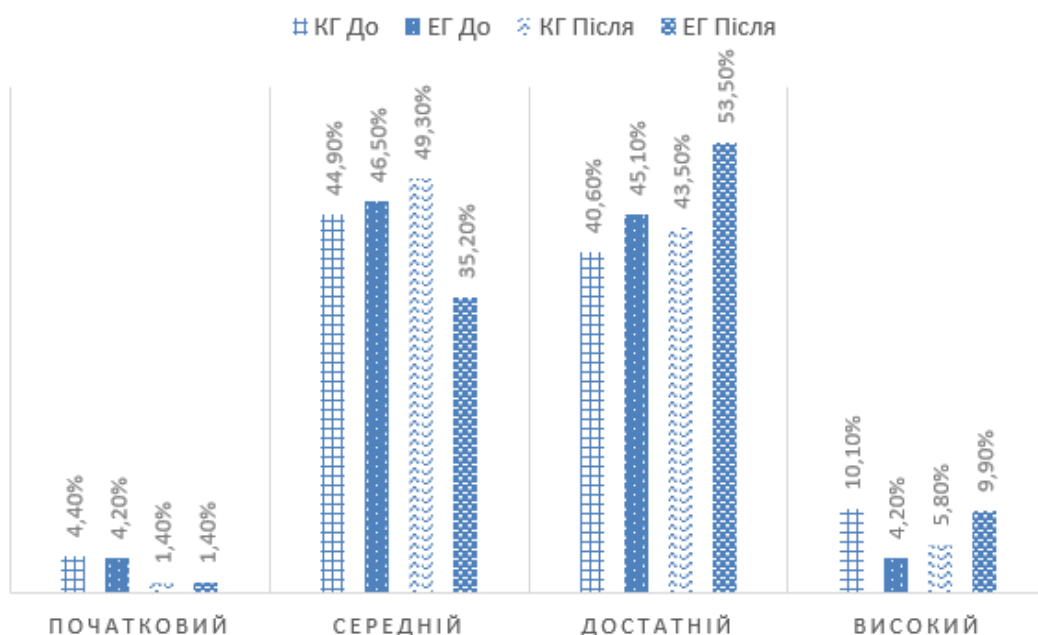


Рис. 5.1. Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з алгебри

Таблиця 5.11

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з геометрії після завершення формувального етапу

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	19	46,3%	7	24,1%
7-9	достатній	20	48,8%	19	65,5%
10-12	високий	2	4,9%	3	10,4%
Всього		41	100%	29	100%

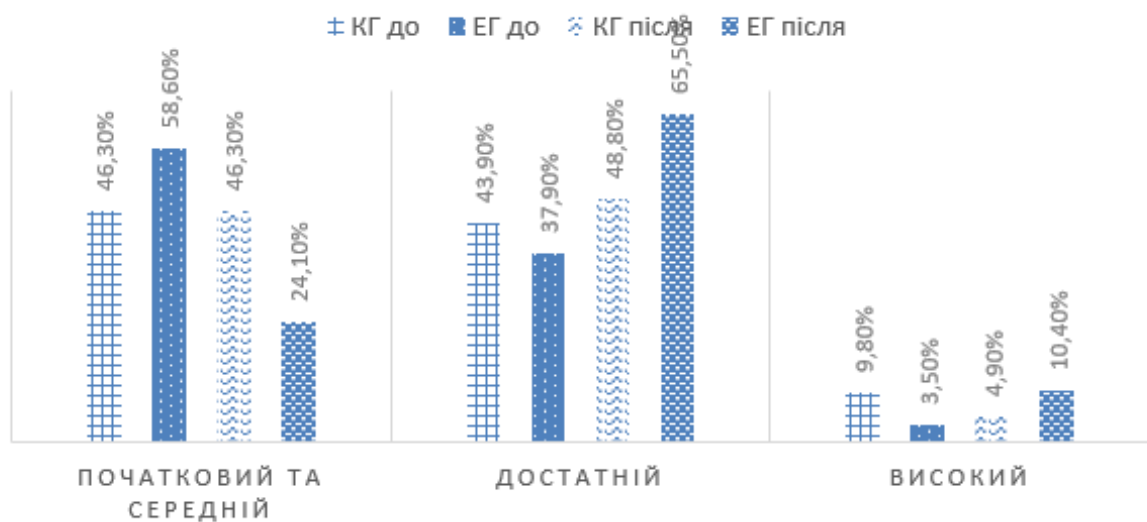


Рис. 5.2. Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з геометрії

Таблиця 5.12

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з фізики після завершення формувального етапу

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	19	44,2%	12	27,9%
7-9	достатній	23	53,5%	28	65,1%
10-12	високий	1	2,3%	3	7,0%
Всього		43	100%	43	100%

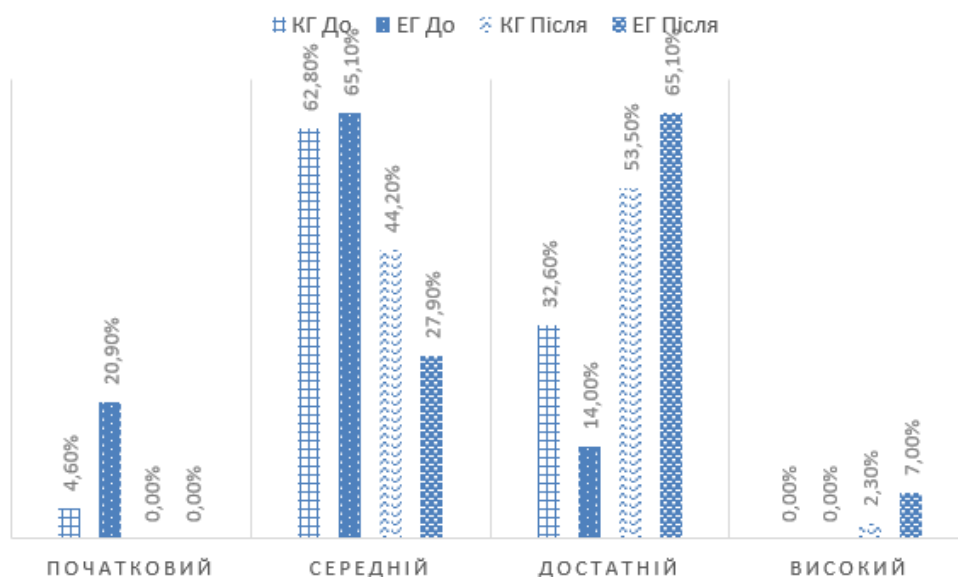


Рис. 5.3. Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з фізики

Таблиця 5.13

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з хімії після завершення формувального етапу

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-3	початковий	1	3,9%	0	0%
4-6	середній	12	46,2%	7	25,9%
7-9	достатній	11	42,3%	14	51,8%
10-12	високий	2	7,6%	6	22,3%
Всього		26	100%	27	100%

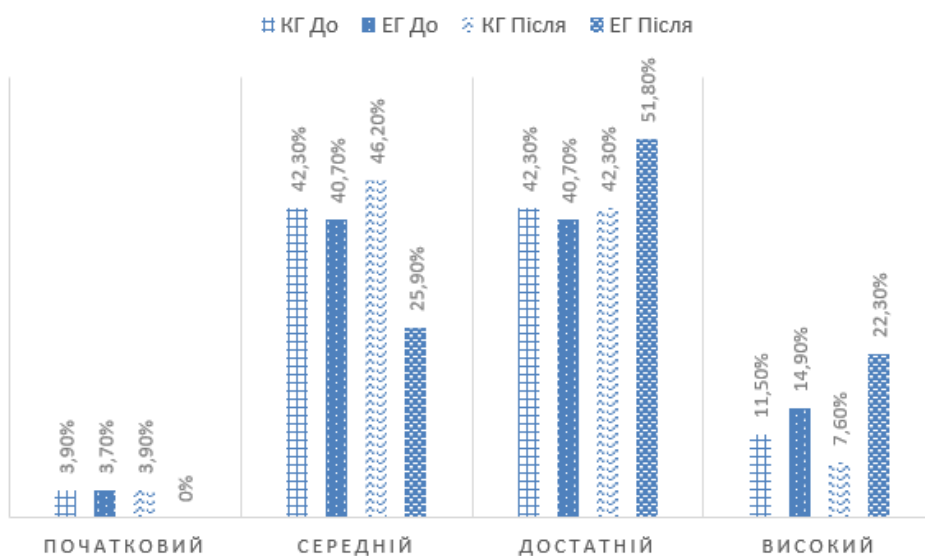


Рис. 5.4. Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з хімії

Таблиця 5.14

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з біології після завершення формувального етапу

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	15	51,7%	8	28,6%
7-9	достатній	10	34,5%	13	46,4%
10-12	високий	4	13,8%	7	25,0%
Всього		29	100%	28	100%

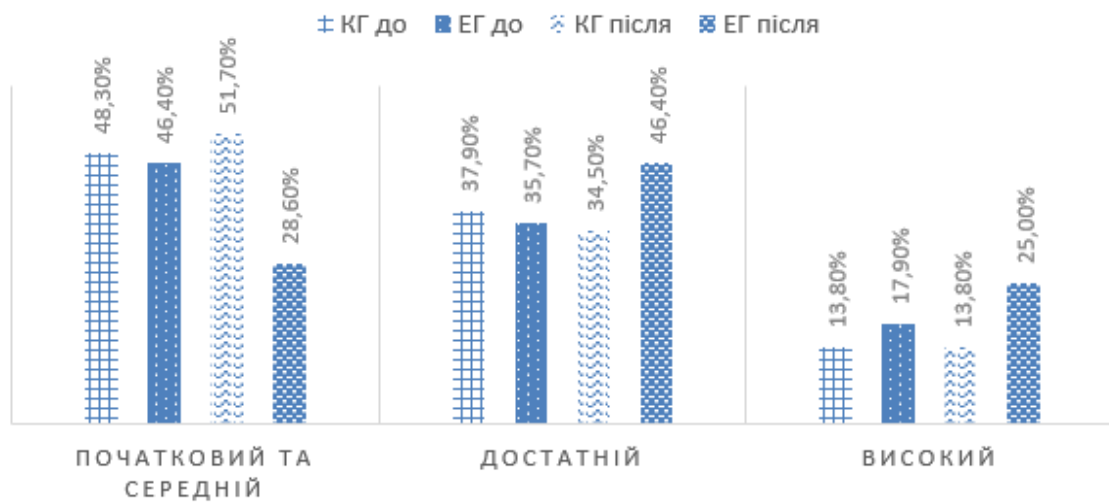


Рис. 5.5. Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з біології

Таблиця 5.15

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з географії після завершення формувального етапу

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	16	53,3%	8	26,7%
7-9	достатній	10	33,3%	14	46,6%
10-12	високий	4	13,4%	8	26,7%
Всього		30	100%	30	100%

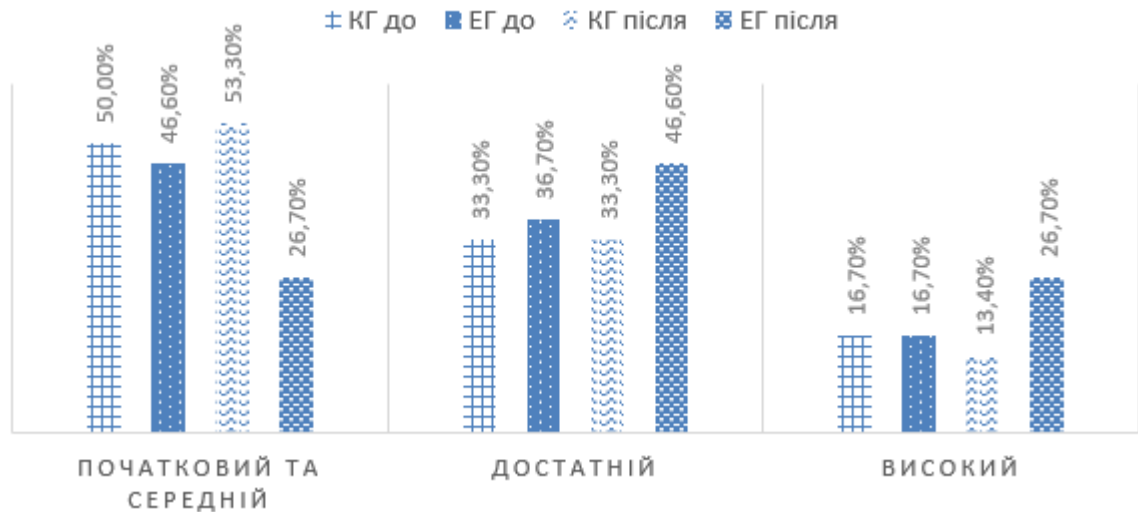


Рис. 5.6. Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями навчальних досягнень з географії

Для встановлення статистичної значущості виявлених відмінностей та перевірки припущення щодо впливу розробленої методичної системи на результативність навчання здійснено перевірку статистичних гіпотез.

Сформулюємо гіпотези:

H_0 : частка учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ та ЕГ не відрізняється;

H_1 : частка учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ та ЕГ відрізняється.

Результати обчислення статистики вказаних вибірок наведені в табл. 5.16.

Таблиця 5.16

Розподіл учнів КГ та ЕГ за часткою учнів із достатнім та високим рівнями навчальних досягнень

Предмет	КГ	ЕГ	$\Phi_{емп}$	Інтерпретація
Алгебра	$34/69 = 0,4928$	$45/71 = 0,6338$	1,688	H_0 відхиляється.
Геометрія	$22/41 = 0,5367$	$22/29 = 0,7586$	1,939	H_0 відхиляється.
Фізика	$24/43 = 0,5581$	$31/43 = 0,7209$	1,582	H_0 не відхиляється.
Хімія	$13/26 = 0,5$	$20/27 = 0,7407$	1,828	H_0 відхиляється.
Біологія	$14/29 = 0,4828$	$20/28 = 0,7143$	1,802	H_0 відхиляється.
Географія	$14/30 = 0,4666$	$22/30 = 0,7333$	2,14	H_0 відхиляється.

Критичне значення для рівня статистичної значущості $\alpha = 0,05$ становить $\varphi_{кр} = 1,64$. Результати статистичного аналізу засвідчили, що характер відмінностей між КГ та ЕГ за часткою учнів, які досягли достатнього та високого рівнів навчальних досягнень, залежить від навчального предмета.

Зокрема, з алгебри, геометрії, хімії, біології та географії зафіксовано статистично значущі відмінності ($\varphi_{емп} > \varphi_{кр}$) у зв'язку з чим нульову гіпотезу H_0 відхилено, що свідчить на користь альтернативної гіпотези H_1 . Отримані результати свідчать про статистично підтверджену перевагу ЕГ за часткою учнів, які досягли достатнього та високого рівнів навчальних досягнень.

З фізики статистично значущих відмінностей між групами не виявлено ($\varphi_{емп} < \varphi_{кр}$), тому немає підстав для відхилення нульової гіпотези H_0 . Водночас спостерігається тенденція до зростання частки учнів із достатнім та високим рівнями навчальних досягнень в ЕГ. Частка таких учнів зросла з 14,0% до 72,1%, тоді як у КГ – з 32,6% до 55,8%.

Варто враховувати, що на початковому етапі експерименту ЕГ мала нижчий рівень підготовки з фізики, що підтверджено результатами констатувального етапу. У цьому контексті відсутність статистично значущих відмінностей на завершальному етапі може розглядатися як свідчення компенсаторного потенціалу запропонованої методичної системи в умовах нижчих стартових показників ЕГ.

Оцінювання ефективності розробленої методичної системи передбачало також аналіз змін у рівнях сформованості просторового мислення учнів. Для визначення статистичної значущості відмінностей між ЕГ та КГ за цим показником використано кутове перетворення Фішера, що застосовувалося для порівняння частки учнів із достатнім і високим рівнями сформованості просторового мислення.

З метою перевірки статистичної значущості відмінностей між групами сформульовано такі гіпотези:

H_0 : частка учнів із достатнім і високим рівнями сформованості просторового мислення в ЕГ та КГ статистично не відрізняється;

H_1 : частка учнів із достатнім і високим рівнями сформованості просторового мислення в ЕГ та КГ статистично відрізняється.

Результати розподілу учнів за рівнями сформованості просторового мислення до початку та після завершення експерименту наведено в табл. 5.17 та на рис. 5.7.

Таблиця 5.17

Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями сформованості просторового мислення

Рівень	ЕГ до		КГ до		ЕГ після		КГ після	
низький	5	5,88%	4	5,8%	0	0%	3	4,35%
середній	36	42,35%	29	42,03%	25	34,12%	28	40,6%
достатній	35	41,18%	27	39,13%	41	45,88%	28	40,6%
високий	9	10,59%	9	13,04%	19	20%	10	14,45%
Разом	85	100%	69	100%	85	100%	69	100%

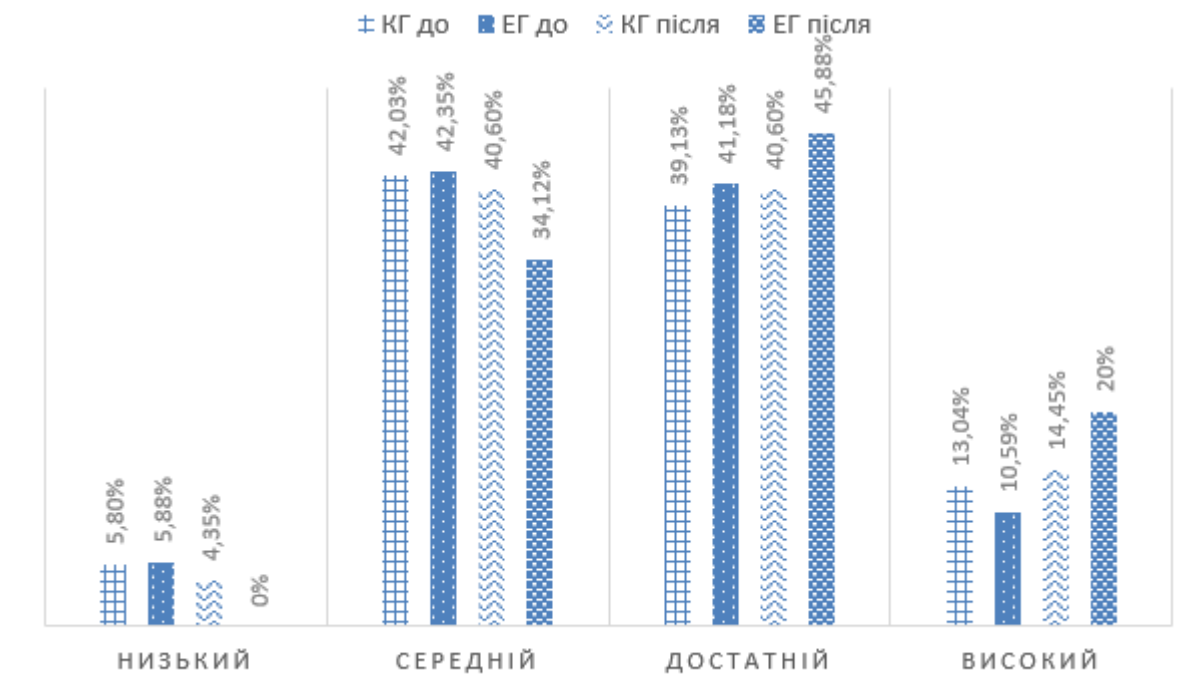


Рис. 5.7 Розподіл учнів КГ та ЕГ за рівнями сформованості просторового мислення

Результати обчислення статистики зазначених вибірок наведені в табл. 5.18.

Таблиця 5.18

Результати порівняння КГ та ЕГ за часткою учнів із достатнім і високим рівнями сформованості просторового мислення

Етап експерименту	КГ	ЕГ	$\phi_{\text{емп}}$	Інтерпретація
Констатувальний зріз	36/69 = 0,5217	44/85 = 0,5176	0,051	H_0 не відхиляється, групи однорідні.
Підсумковий зріз	38/69 = 0,5507	60/85 = 0,7059	1,992	H_0 відхиляється.

Критичне значення для рівня статистичної значущості $\alpha = 0,05$ становить $\phi_{\text{кр}} = 1,64$. На початковому етапі експерименту здійснено перевірку однорідності КГ та ЕГ за часткою учнів із достатнім і високим рівнями сформованості просторового мислення. Отримане емпіричне значення становило $\phi_{\text{емп}} = 0,051$ ($\phi_{\text{емп}} < \phi_{\text{кр}}$), що є свідчить про відсутність статистично значущих відмінностей між групами на початку експерименту, тобто їх можна вважати однорідними.

Після завершення експерименту проведено повторне порівняння частки учнів із достатнім і високим рівнями сформованості просторового мислення в КГ та ЕГ. Отримане емпіричне значення становило $\phi_{\text{емп}} = 1,992$ ($\phi_{\text{емп}} > \phi_{\text{кр}}$), що дає підставу відхилити гіпотезу H_0 та свідчить на користь альтернативної гіпотези H_1 . Виявлені відмінності є статистично значущими та мають позитивну спрямованість щодо експериментальної групи.

Отже, результати статистичного аналізу підтверджують, що після завершення експерименту частка учнів ЕГ із достатнім і високим рівнями сформованості просторового мислення була статистично значущо вищою порівняно з КГ, що свідчить про позитивний вплив розробленої методичної системи на формування просторового мислення учнів.

Додатково з метою уточнення особливостей навчальної діяльності учнів в умовах імерсивного середовища було проведено анкетування, що дало можливість оцінити показники діяльнісного та мотиваційного критеріїв навчальної діяльності (додаток Ц). Водночас зазначені показники не оцінювалися

у КГ у форматі порівняння «до та після», що обмежує можливість прямого зіставлення результатів між КГ та ЕГ. У зв'язку з цим отримані дані інтерпретуються як уточнювальні характеристики змін у навчальній діяльності учнів ЕГ, які не розглядаються як самостійний доказ ефективності методичної системи, а використовуються для конкретизації та інтерпретації результатів, отриманих за основним критерієм – навчальними досягненнями учнів.

Результати анкетування учнів ЕГ засвідчили переважання середнього та високого рівнів сформованості досліджуваних показників діяльнісного та мотиваційного компонентів навчальної діяльності. Зокрема, встановлено, що:

- 1) здатність працювати в імерсивному середовищі: високий рівень – 57,6%; середній – 23,5%; низький – 18,8%; середній бал – 3,66;
- 2) виконання практичних завдань: високий рівень – 55,3%; середній – 23,5%; низький – 21,2%; середній бал – 3,59;
- 3) самостійність і вибір стратегій: високий рівень – 65,9%; середній – 16,5%; низький – 17,6%; середній бал – 3,76;
- 4) внутрішня мотивація: високий рівень – 63,5%; середній – 23,5%; низький – 12,9%; середній бал – 3,81;
- 5) активність у взаємодії: високий рівень – 52,9%; середній – 20,0%; низький – 27,1%; середній бал – 3,49;
- 6) ставлення до навчання: високий рівень – 64,7%; середній – 21,2%; низький – 14,1%; середній бал – 3,79.

Найвищі значення зафіксовано за показниками внутрішньої мотивації (3,81), ставлення до навчання (3,79) та самостійності (3,76), що свідчить про підвищення зацікавленості учнів, розвиток їхньої суб'єктної позиції та готовність до самостійної діяльності в умовах використання імерсивних технологій.

Показники здатності працювати в імерсивному середовищі (3,66) та виконання практичних завдань (3,59) також перебувають на достатньому рівні, що підтверджує сформованість відповідних умінь.

Водночас показник активності у взаємодії (3,49) виявився найнижчим серед досліджуваних, що може свідчити про необхідність удосконалення методів

організації колективної діяльності учнів в імерсивному середовищі.

Рефлексивний критерій у межах цього етапу експерименту не підлягав окремій кількісній діагностиці, оскільки розглядався як інтегративна характеристика навчальної діяльності, що проявляється через мотиваційні та діяльнісні показники. Його оцінювання здійснювалося опосередковано на основі двох джерел даних: 1) результатів самооцінювання учнів (зокрема блоку «ставлення до навчання») та 2) педагогічного спостереження вчителя за проявами рефлексивної діяльності учнів під час роботи в імерсивному середовищі. У межах спостереження фіксувалися такі прояви, як здатність учнів усвідомлювати власні навчальні дії, виявляти та коригувати помилки, обґрунтовувати вибір навчальних стратегій і здійснювати елементи самоконтролю. Отримані результати розглядалися як якісні індикатори сформованості рефлексивного критерію та узгоджувалися з даними анкетування. Середній бал за показниками блоку «ставлення до навчання» склав 3,79, що свідчить про достатній рівень прояву рефлексивних елементів, зафіксованих у межах самооцінювання учнів, і не інтерпретується як самостійне кількісне вимірювання цього критерію.

Оцінювання мотиваційного, діяльнісного критеріїв за допомогою анкетування та рефлексивного здійснювалося лише в ЕГ, оскільки запитання безпосередньо стосувалися досвіду взаємодії з імерсивним середовищем навчання. Проведення аналогічного опитування в КГ було недоцільним через відсутність у них досвіду використання відповідних технологій, що зробило б порівняння некоректним.

Загалом результати анкетування та педагогічного спостереження свідчать про позитивні зміни в діяльнісному та мотиваційному аспектах навчальної діяльності учнів експериментальних груп. Водночас слід урахувати, що зазначені дані отримано на основі самооцінки учнів та експертного спостереження вчителя, що зумовлює певний рівень суб'єктивності. У зв'язку з цим вони використовуються як допоміжний аналітичний матеріал, який узгоджується з виявленою позитивною динамікою навчальних досягнень і опосередковано підтверджує ефективність запропонованої методичної системи.

У сукупності результати аналізу навчальних досягнень учнів, рівнів сформованості просторового мислення, а також дані анкетування та педагогічного спостереження засвідчують позитивну динаміку змін у навчальній діяльності учнів ЕГ в умовах використання імерсивних технологій. Статистично значущі відмінності між ЕГ та КГ за окремими показниками, а також виявлені позитивні тенденції за іншими досліджуваними параметрами підтверджують результативність розробленої методичної системи використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв.

Отримані результати дають підстави вважати підтвердженою гіпотезу дослідження щодо позитивного впливу використання імерсивних технологій на навчальні досягнення та розвиток просторового мислення учнів академічних ліцеїв за умови реалізації розробленої методичної системи.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі представлено результати експериментальної перевірки ефективності розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв.

Педагогічний експеримент було організовано та проведено відповідно до логіки наукового дослідження, він охоплював констатувальний, формувальний та узагальнювальний етапи. Така структура забезпечила послідовний перехід від діагностики вихідного стану освітньої практики до впровадження методичної системи та оцінювання її результативності.

Результати констатувального етапу засвідчили, що більшість педагогів обізнані з імерсивними технологіями та позитивно ставляться до їх використання в освітньому процесі. Водночас встановлено потребу в систематизованому методичному супроводі, спеціальній підготовці педагогів і забезпеченні доступу до якісних імерсивних ресурсів. Виявлено наявність базових матеріально-технічних умов для впровадження імерсивного навчання в академічних ліцеях.

Діагностика учнів показала переважно позитивне ставлення до навчання,

помірний рівень пізнавальної активності та сформованість базових компонентів просторового мислення. Водночас встановлено домінування зовнішньої мотивації та недостатній розвиток окремих складних компонентів просторового мислення, зокрема ментальної ротації та просторової реконструкції. Отримані результати підтвердили доцільність використання імерсивних технологій як засобу розвитку просторового мислення, просторової уяви та підвищення внутрішньої мотивації учнів до навчання.

Статистичний аналіз результатів констатувального етапу підтвердив порівнянність контрольних та експериментальних груп за більшістю показників навчальних досягнень. Виявлені початкові відмінності між групами з фізики були враховані під час подальшої інтерпретації результатів шляхом аналізу динаміки змін навчальних досягнень.

У процесі формувального етапу реалізовано методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів, що передбачала інтеграцію імерсивних ресурсів у зміст природничо-математичних предметів, поєднання їх з активними методами навчання, організацію різних форм навчальної діяльності учнів та методичний супровід педагогів.

Результати узагальнювального етапу засвідчили позитивну динаміку навчальних досягнень учнів експериментальних груп. Статистично значущі відмінності на користь експериментальних груп, підтверджені за допомогою критерію кутового перетворення Фішера ($\varphi_{\text{емп}} = 1,688$ для алгебри, $\varphi_{\text{емп}} = 1,939$ для геометрії, $\varphi_{\text{емп}} = 1,828$ для хімії, $\varphi_{\text{емп}} = 1,802$ для біології, $\varphi_{\text{емп}} = 2,14$ для географії при $\varphi_{\text{кр}} = 1,64$; $\alpha = 0,05$), встановлено з алгебри, геометрії, хімії, біології та географії. З фізики статистично значущих відмінностей між групами не виявлено ($\varphi_{\text{емп}} = 1,582 < \varphi_{\text{кр}} = 1,64$), проте частка учнів експериментальної групи з достатнім і високим рівнями навчальних досягнень зросла з 14,0 % до 72,1 %, тоді як у контрольній групі – з 32,6 % до 55,8 %. Це свідчить про позитивну динаміку результатів та компенсаторний потенціал розробленої методичної системи за умов нижчих стартових показників.

Аналіз показників просторового мислення також засвідчив статистично значущі відмінності для учнів експериментальних груп ($\phi_{\text{емп}} = 1,992 > \phi_{\text{кр}} = 1,64$ $\alpha = 0,05$).

Додаткові результати анкетування учнів експериментальних груп і педагогічного спостереження дали змогу виявити позитивні зміни в мотиваційному, діяльнісному та рефлексивному аспектах навчальної діяльності. Зокрема, встановлено підвищення рівня внутрішньої мотивації, самостійності, готовності до виконання практичних і дослідницьких завдань, а також здатності працювати в імерсивному середовищі. Отримані дані мають допоміжний характер щодо основного критерію ефективності – навчальних досягнень учнів – та узгоджуються з результатами статистичного аналізу.

Узагальнення результатів проведеного дослідження дало підстави підтвердити гіпотезу дослідження, відповідно до якої впровадження методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях сприяє підвищенню рівня навчальних досягнень учнів та розвитку їхнього просторового мислення. Перша часткова гіпотеза знайшла підтвердження у результатах теоретичного обґрунтування педагогічних засад використання імерсивних технологій, визначення структури імерсивного середовища навчання та аналізу організаційно-педагогічних умов їх упровадження, здійсненого на констатувальному етапі педагогічного експерименту. Друга часткова гіпотеза підтверджена результатами розроблення, реалізації та практичної апробації методичної системи, що забезпечила цілісну інтеграцію імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Третя часткова гіпотеза отримала експериментальне підтвердження на основі статистично значущого підвищення навчальних досягнень учнів та розвитку їхнього просторового мислення в експериментальних групах. Отже, результати педагогічного експерименту засвідчили ефективність розробленої методичної системи та доцільність використання імерсивних технологій як чинника підвищення якості навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дало змогу теоретично узагальнити й обґрунтувати нове розв'язання наукової проблеми використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв.

Відповідно до поставленої мети та завдань дослідження з проблеми використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв отримано такі основні *результати*: здійснено аналіз понятійно-категоріального апарату дослідження, розкрито сутність та класифікацію імерсивних технологій як педагогічного засобу навчання природничо-математичних предметів, визначено стан, переваги й обмеження їх упровадження у вітчизняній та закордонній освітній практиці; обґрунтовано дидактичні, технологічні та організаційно-педагогічні принципи, методичні підходи та психолого-педагогічні умови ефективного використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів; розроблено структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів та обґрунтовано процедурну, інструктивно-діяльнісну та функціонально-мотиваційну моделі організації навчання учнів академічних ліцеїв із використанням імерсивного середовища; обґрунтовано критерії та розроблено процедуру добору імерсивних освітніх ресурсів для навчання природничо-математичних предметів в академічному ліцеї; розроблено методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв та побудовано її модель; здійснено експериментальну перевірку ефективності розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів, оцінено результати навчальних досягнень учнів академічних ліцеїв та розроблено методичні рекомендації для вчителів.

Узагальнення результатів виконаного теоретичного й експериментального дослідження підтвердило вірогідність положень загальної та часткових гіпотез і дало підстави для таких висновків:

1. Обґрунтовано сутність імерсивних технологій як педагогічних засобів

навчання природничо-математичних предметів, дидактичний потенціал яких полягає у забезпеченні візуалізації складних і абстрактних об'єктів і процесів, підтримці дослідницької діяльності, розвитку просторового мислення, активізації пізнавальної діяльності та створенні умов для формування предметних, міжпредметних і ключових компетентностей учнів академічних ліцеїв. Це дало змогу обґрунтувати використання імерсивних технологій не лише як засобів візуалізації, а як складника сучасного освітнього процесу, орієнтованого на досягнення результатів профільного навчання.

Уточнено етапи становлення педагогічних технологій імерсивного навчання та систематизовано їхній розвиток від експериментального використання апаратних засобів до сучасної інтеграції з технологіями штучного інтелекту, що дало можливість виявити основні тенденції розвитку цього напрямку та обґрунтувати закономірність переходу від використання окремих технологічних рішень до створення педагогічно організованого імерсивного середовища навчання.

Запропоновано авторське трактування понять «імерсивні технології навчання» та «імерсивне середовище навчання», відповідно до якого імерсивні технології розглядаються як педагогічно організований комплекс цифрових технологічних засобів і програмно-апаратних рішень, спрямованих на забезпечення інтерактивної взаємодії з навчальним змістом та формування компетентностей здобувачів освіти, а імерсивне середовище навчання – як цілісна система взаємопов'язаних технологічних, змістових, організаційних і психолого-педагогічних компонентів, що забезпечує узгодженість цілей, змісту, способів взаємодії та результатів навчання. Уточнено зміст понять «імерсивне навчання», «технологічна інтеграція» та «інтеграція імерсивних технологій», що дало змогу конкретизувати понятійно-категоріальний апарат дослідження та забезпечило теоретичне підґрунтя для подальшого розроблення методичної системи використання імерсивних технологій.

Здійснено класифікацію імерсивних технологій за типом технологічної реалізації, рівнем занурення, педагогічним призначенням та характеристиками

імерсивного середовища, що дало можливість систематизувати їх за педагогічно значущими ознаками та визначити доцільні напрями використання у навчанні природничо-математичних предметів.

Аналіз і узагальнення закордонного досвіду засвідчили, що в країнах із високим рівнем цифровізації освіти використання імерсивних технологій має системний характер і підтримується на державному та інституційному рівнях, тоді як в Україні їх упровадження здійснюється переважно в межах окремих освітніх ініціатив і локальних проєктів. Це дало підстави визначити основні переваги використання імерсивних технологій – підвищення наочності навчання, розвиток дослідницьких умінь, підтримку індивідуалізації навчання та активізацію пізнавальної діяльності учнів, а також встановити чинники, що стримують їхнє широке впровадження, зокрема недостатній рівень матеріально-технічного забезпечення, потребу у спеціальній підготовці педагогів і недостатність методичного супроводу. Отримані результати обґрунтовують доцільність подальшої інтеграції імерсивних технологій у профільне навчання природничо-математичних предметів як чинника розвитку просторового мислення, дослідницької діяльності та індивідуалізації навчання.

2. Обґрунтовано теоретико-методологічні засади організації імерсивного навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях, відповідно до яких ефективність інтеграції імерсивних технологій потребує поєднання технологічних можливостей із педагогічно виваженим проєктуванням процесу навчання. Розроблено систему принципів використання імерсивних технологій, що охоплює дидактичні (педагогічної доцільності та відповідності цілям навчання, узгодженості з традиційними методами навчання, наукової коректності моделювання), технологічні (інтерактивності та мультисенсорності, аналітичності та зворотного зв'язку, технологічної безпеки й етичності) та організаційно-педагогічні (системності, поступового впровадження, доступності та персоналізації) принципи, що дало змогу визначити орієнтири педагогічно обґрунтованої інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів.

Структуровано інноваційно-трансформаційну концептуальну рамку організації імерсивного навчання, яка визначає методологічну основу розробленої методичної системи та забезпечує цілісне проєктування освітнього процесу на засадах системного, діяльнісного, особистісно орієнтованого, когнітивного, диференційованого та міждисциплінарного підходів. Її застосування дало змогу інтегрувати зазначені підходи в єдину систему наукових положень, що стало теоретичною основою проєктування ефективного імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів.

Визначено й теоретично обґрунтовано систему психолого-педагогічних умов організації навчання природничо-математичних предметів в імерсивному середовищі, що охоплює організаційно-методичну, технологічно-когнітивну та особистісно-мотиваційну групи умов і забезпечує реалізацію інноваційно-трансформаційної концептуальної рамки та ефективне функціонування методичної системи використання імерсивних технологій. Показано, що їхня комплексна реалізація створює умови для підвищення ефективності навчальної діяльності, активізації пізнавальних процесів, підтримки внутрішньої мотивації учнів та педагогічно доцільної організації імерсивного навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях.

3. Теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-компонентну модель імерсивного середовища навчання природничо-математичних предметів, необхідність створення якої зумовлена тим, що наявні моделі відображають окремі аспекти організації навчання в імерсивному середовищі, проте не забезпечують його цілісного представлення. Визначено педагогічні, технологічні, психологічні та розвивальні вимоги побудови імерсивного середовища навчання, що дало змогу сформулювати концептуальну основу його проєктування. Розроблена модель охоплює цільовий, змістово-методичний, комунікаційно-організаційний та оцінювально-результативний компоненти, забезпечуючи узгодження цілей, змісту, способів педагогічної взаємодії та результатів навчання в імерсивному середовищі.

Встановлено, що структурно-компонентна модель орієнтована на

активізацію пізнавальної діяльності учнів, організацію їхньої навчальної взаємодії, індивідуалізацію навчання засобами імерсивних освітніх ресурсів та створення умов для реалізації дослідницької діяльності, що розширює можливості педагогічно доцільної організації навчання природничо-математичних предметів.

Обґрунтовано взаємопов'язану систему моделей організації навчання з використанням імерсивного середовища, що включає процедурну, інструктивно-діяльнісну та функціонально-мотиваційну моделі. Процедурна модель характеризує способи інтеграції імерсивного середовища на окремих етапах навчання та відображає його інструментально-підтримувальну роль; інструктивно-діялісна модель репрезентує логіку поетапної організації навчальної діяльності від відтворення до самостійного виконання навчальних дій і визначає структурно-утворювальну роль імерсивного середовища; функціонально-мотиваційна модель відображає взаємозв'язок мотиваційних, діяльнісних і рефлексивних механізмів навчання та розкриває концептуально-організаційну роль імерсивного середовища. Взаємодоповнювальне використання запропонованих моделей забезпечує реалізацію різних стратегій організації навчальної діяльності відповідно до дидактичної мети, рівня підготовки учнів і характеру навчальних завдань, створюючи методичні передумови для розвитку навчальної автономії, дослідницької активності та досягнення цілей навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях.

4. Визначено систему критеріїв педагогічно доцільного добору імерсивних освітніх ресурсів для навчання природничо-математичних предметів в академічному ліцеї, що охоплює цільово-дидактичний, когнітивно-діялісний, психолого-мотиваційний, технологічно-імерсивний, організаційно-методичний та безпеково-етичний критерії. Визначено систему показників їхнього оцінювання, що дало змогу забезпечити комплексний аналіз відповідності імерсивних освітніх ресурсів цілям навчання, особливостям навчальної діяльності учнів, умовам організації освітнього процесу та вимогам педагогічної доцільності.

Розроблено процедуру педагогічно обґрунтованого добору імерсивних освітніх ресурсів, що передбачає послідовне визначення педагогічних умов і

дидактичну мету їх використання, попередній добір, комплексне оцінювання за визначеною системою критеріїв, проєктування інтеграції в освітній процес та аналіз результативності застосування. Реалізація запропонованої процедури забезпечує методично обґрунтований добір імерсивних освітніх ресурсів відповідно до цілей навчання, змісту навчального матеріалу, особливостей навчальної діяльності учнів та умов організації освітнього процесу.

Здійснено класифікацію імерсивних освітніх ресурсів за педагогічним потенціалом та систематизовано їх за функціональним призначенням у структурі методичної системи навчання природничо-математичних предметів, що створило підґрунтя для переходу від розгляду імерсивних технологій як сукупності технічних засобів до їх педагогічно обґрунтованого використання як освітніх ресурсів. Виокремлено візуалізаційно-інтерактивні, експериментально-дослідницькі, сюжетно-ігрові, інтерактивно-комунікативні та адаптивно-індивідуалізовані групи ресурсів, а також встановлено, що класифікація за педагогічним потенціалом відображає їхні дидактичні можливості, тоді як функціональна систематизація дає змогу визначати роль кожної групи ресурсів у реалізації компонентів методичної системи та організації навчальної діяльності учнів.

5. Теоретично обґрунтовано та розроблено методичну систему використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв та побудовано її модель, яка інтегрує розроблені теоретико-методологічні засади організації імерсивного навчання, структурно-компонентну модель імерсивного середовища, моделі організації навчання, систему добору імерсивних освітніх ресурсів і предметно орієнтовані методики їхнього використання в єдину систему організації освітнього процесу. Це забезпечило педагогічно цілісну інтеграцію імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів, орієнтовану на формування предметних, міжпредметних і ключових компетентностей учнів академічних ліцеїв.

Встановлено, що методична система реалізується через взаємодію цільового, змістового, технологічного, комунікаційно-організаційного та

оцінювально-результативного компонентів, кожен із яких виконує визначені функції, а їхній взаємозв'язок забезпечує цілісність проєктування, організації та оцінювання навчального процесу з використанням імерсивних технологій. Технологічний компонент забезпечує реалізацію розроблених методик використання імерсивних технологій під час навчання геометрії, алгебри, фізики, хімії, біології та географії, що забезпечує її практичну реалізацію під час навчання природничо-математичних предметів в академічному ліцеї.

Ефективне функціонування методичної системи забезпечується сукупністю теоретико-методологічних, дидактичних і ресурсно-технічних умов, що створюють підґрунтя для педагогічно доцільної інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях.

6. Здійснено експериментальну перевірку ефективності розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Результати педагогічного експерименту засвідчили статистично значуще підвищення навчальних досягнень учнів експериментальних груп та рівня розвитку їхнього просторового мислення порівняно з учнями контрольних груп, що підтвердило ефективність запропонованої методичної системи та загалом підтвердило гіпотезу дослідження.

Розроблено методичні рекомендації для вчителів щодо використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Рекомендації структуровано відповідно до підготовчого, інтеграційного та рефлексивно-аналітичного етапів діяльності вчителя й охоплюють питання добору імерсивних освітніх ресурсів, організації навчальної взаємодії, оцінювання результатів навчання та корекції освітнього процесу, що забезпечує педагогічно доцільне, системне й безпечне використання імерсивних технологій у практиці профільного навчання.

Виконане дослідження не вичерпує всіх аспектів порушеної проблеми. Перспективними напрямками подальших наукових пошуків є розроблення адаптивних моделей використання імерсивних технологій із застосуванням технологій штучного інтелекту та аналітики навчальних даних; дослідження

можливостей індивідуалізації навчання в імерсивному середовищі відповідно до індивідуальних освітніх потреб учнів; створення методичних систем використання імерсивних технологій для інших освітніх галузей, рівнів і форм здобуття освіти; розроблення інструментарію комплексного оцінювання ефективності імерсивного навчання та дослідження довготривалого впливу імерсивних технологій на результати навчання й розвиток компетентностей здобувачів освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdelmagid M., Abdullah N., Aldaba A. M. A. Exploring the Acceptance of Augmented Reality Among Tesl Teachers and Students and its Effects on Motivation Level: A Case Study in Kuwait. *Advances in Social Sciences Research Journal*. 2021. Vol. 8. No. 12. P. 23-34. DOI : <https://doi.org/10.14738/assrj.812.11356>
2. Abdelrahim F. I. Effectiveness of Immersive Learning in Enhancing Language Skills among Primary School Children. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. 2025. Vol. 23. Iss. 1. P. 249-261. DOI : <https://doi.org/10.57239/PJLSS-2025-23.1.0022>
3. Abdinejad M., Talaie B., Qorbani H. S., Dalili S. Student perceptions using augmented reality and 3D visualization technologies in chemistry education. *Journal of Science Education and Technology*. 2021. Vol. 30. P. 87-96. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>
4. Abuhammad A., Falah J., Alfalah S. F. M., Abu-Tarboush M., Tarawneh R. T., Drikakis D., Charissis V. «MedChemVR»: A Virtual Reality Game to Enhance Medicinal Chemistry Education. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2021. Vol. 5. Iss. 3. Art. 10. DOI : <https://doi.org/10.3390/mti5030010>
5. Adams E. W. Postmodernism and the three types of immersion. *Gamasutra.com* 2004 : web-resource. URL : http://designersnotebook.com/Columns/063_Postmodernism/063_postmodernism.htm (Last accessed : 25.08.2024).
6. Aggarwal D. Integration of innovative technological developments and AI with education for an adaptive learning pedagogy. *China Petroleum Processing and Petrochemical Technology*. 2023. Vol. 23. Issue 2. P. 709-714
7. Agrawal S., Simon A., Bech S., Bærentsen K., Forchhammer S. Defining Immersion: Literature Review and Implications for Research on Immersive Audiovisual Experiences. *Journal of Audio Engineering Society*. 2019. T. 68(6). P. 404-417. DOI : <https://doi.org/10.17743/jaes.2020.0039>

8. Ahmad M. K., Rana R. S. V. Integrating Virtual Reality with Artificial Intelligence for Immersive Learning. *International Journal of Web of Multidisciplinary Studies*. 2025. Vol. 2. Iss. 2. P. 15-20. URL : <https://ijwos.com/index.php/home/article/view/14> (Дата звернення : 16.08.2025).
9. Ahmadi S. B., Gilardi M. Work-in-Progress – Immersive Learning: Challenges and Trends // *Proceedings of the 10th International Conference of the Immersive Learning Research Network*. 2024. DOI : <https://doi.org/10.56198/U6C0WV2UH>
10. Akçayır M., Akçayır G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*. 2017. Vol. 20. P. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
11. Al-Abdullatif Ah. M. Modeling Students' Perceptions of Chatbots in Learning: Integrating Technology Acceptance with the Value-Based Adoption Model. *Education Sciences*. 2023. Vol 13. Iss. 11. Art. 1151. DOI : <https://doi.org/10.3390/educsci13111151>
12. Al-Ansi Ab. M., Jaboob M., Garad A., Al-Ansi Ah. Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*. 2023. Vol. 8. Iss. 1. Art. 100532. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
13. Albus P., Vogt A., Seufert T., Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*. 2021. Vol. 166. Art. 104154. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>
14. AlGerafi M. A., Zhou Y., Oubibi M., Wijaya T. T. Unlocking the potential: A comprehensive evaluation of augmented reality and virtual reality in education. *Electronics*. 2023. Vol. 12. Iss. 18. Art. 3953. DOI : <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>
15. Allen I. E., Seaman J. G. *The Distance: Online Education in the U.S.*, 2011. Babson Survey Research Group; Quahog Research Group, 2011. 40 p.
16. Altun H. K., Lee J. Immersive Learning Technologies in English Language Teaching: A Systematic Review. *International Journal of Contents*. 2020. Vol. 16. Iss. 3. P. 18-32. DOI : <https://doi.org/10.5392/IJoC.2020.16.3.018>

17. Anderson L. W., Krathwohl D. R. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman, 2001. 302 p.
18. Angelini M. L., Muñiz R., Lozano A. C. Virtual simulation in teacher education across borders. *Education and Information Technologies*. 2023. T. 29. P. 10551-10569. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12244-z>
19. Arena F., Collotta M., Pau G., Termine F. An Overview of Augmented Reality. *Computers*. 2022. Vol. 11. Iss. 2. Art. 28. DOI : <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
20. Arifiani R., Irwanto I. Augmented Reality Integrated with Mobile Learning in Chemistry Education: A Bibliometric Analysis from 2012-2022. *Journal of Educators Online*. 2024. URL : <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1427648.pdf> (Last accessed : 17.08.2025).
21. Arroyo S., Garcia A. Enhancing Educational Outcomes Through Hybrid Simulation Methods. *Radiol Technol*. 2025. 96(4):257-265. PMID: 40840025.
22. Assor A., Kaplan H., Roth G. Choice is good, but relevance is excellent: Autonomy enhancing and suppressing teacher behaviours predicting students' engagement in schoolwork. *British Journal of Educational Psychology*. 2002, Vol. 72. Iss. 2. P. 261-278. DOI : <https://doi.org/https://doi.org/10.1348/000709902158883>
23. Augmented reality in school environments. *An official website of the European Union*. URL : <https://cordis.europa.eu/project/id/027039> (Last accessed : 23.08.2024).
24. Augmented Reality interactive educational system. *An official website of the European Union*. URL : <https://cordis.europa.eu/project/id/856533> (Last accessed : 23.08.2024).
25. Aziz P. R. A., Muali C., Baharun H., Wahyudi D., Afandi M., Islam M. S., Bon A. T. Learning strategies and motivation with the ARCS model for mobile-assisted seamless. *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Singapore, March 7-11.

2021. P. 7001-7006.
26. Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B. Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2001. Vol. 21. Iss. 6. P. 34-47. DOI : <https://doi.org/10.1109/38.963459>
 27. Backlund P., Hendrix M. Educational games – are they worth the effort? A literature survey of the effectiveness of serious games // *Proceedings of the 5th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*. Poole, UK: IEEE, 2013. DOI : [10.1109/VS-GAMES.2013.6624226](https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2013.6624226)
 28. Bakhmat N., Kruty K., Tolchieva H., Pushkarova T. Modernization of future teachers' professional training: on the role of immersive technologies. *Futurity Education*. 2022. Vol. 2. No 1. P. 35-44. DOI : <https://doi.org/10.57125/FED/2022.10.11.22>
 29. Bartle R. Presence and Flow. *Society for Philosophy and Technology Quarterly Electronic Journal*. 2006. Vol. 10. Iss. 3. P. 39-54. DOI : <https://doi.org/10.5840/techne200710311>
 30. Baxter G., Hainey T. Using immersive technologies to enhance the student learning experience. *Interactive Technology and Smart Education*. 2024. Vol. 21 Iss. 3. P. 403-425. DOI : <https://doi.org/10.1108/ITSE-05-2023-0078>
 31. Beck D., Morgado L., O'Shea P. M. Educational practices and strategies with immersive learning environments: mapping of reviews for using the Metaverse. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2024. Vol. 17. P. 319-341. DOI : <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3243946>
 32. Bedenlier S., Bond M., Buntins K., Zawacki-Richter O., Kerres M. Facilitating student engagement through educational technology in higher education: A systematic review in the field of arts and humanities. *Australasian Journal of Educational Technology*. 2020. Vol. 36. No 4. P. 126-150. DOI : <https://doi.org/10.14742/ajet.5477>
 33. Bekele M. K., Pierdicca R, Frontoni E, Malinverni E. S, Gain J. A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2018. Vol. 11. No. 2. Art. 7. P. 1-36. DOI :

<https://doi.org/10.1145/3145534>

34. Berney S., Bétrancourt M., Molinari G., Hoyek N. How spatial abilities and dynamic visualizations interplay when learning functional anatomy with 3D anatomical models. *Anatomical Sciences Education*. 2015. Vol. 8. Iss. 5. P. 452-462. DOI : <https://doi.org/10.1002/ase.1524>
35. Bespartochna O., Hrubá T., Piddubna N., Pavlova I., Ovdiychuk L. Integration of innovative technologies in the professional training of teachers of literature. *Laplace em Revista (International)*. 2021. Vol. 7, No. 3C. P. 407-412. DOI : <https://doi.org/10.24115/S2446-6220202173C1635p.407-412>
36. Bhaduri S. How to Create Immersive Learning Experiences for Your Learners. *EI Powered by MPS* : web-resource. URL : <https://www.eidesign.net/how-to-create-immersive-learning-experiences-for-your-learners/> (Last accessed : 03.02.2026).
37. Bhasin B. Integration of information and communication technology in enhancing teaching and learning. *Contemporary educational technology*. 2012. Vol. 3. No. 2. P. 130-140.
38. Bhattacharjee D., Paul A., Kim J. H., Kumar K. An immersive learning model using evolutionary learning. *Computers & Electrical Engineering*. 2018. Vol. 65. P. 236-249. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.08.023>
39. Bicalho D. R., Piedade J., Matos J. F. iVRPM: Conceptual Proposal of an Immersive Virtual Reality Pedagogical Model. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. Iss. 4. Art. 2162. DOI : <https://doi.org/10.3390/app15042162>
40. Binytska K. M., Bilyakovska O. O., Yankovych O. I., Buchkivska G. V., Binytska O. P., Greskova V. V., Ocheretna I. P., Burov O. Yu, Lytvynova S. H. Implicit Potential of Immersive Technologies Implementation in the Educational Process at the Universities: World Experience. *Proceedings of the symposium on advances in educational technology*. 2020. URL : <https://www.scitepress.org/Papers/2020/109307/109307.pdf>. (Last accessed : 13.12.2024).
41. Biocca F., Levy M. R. (eds.) Communication in the Age of Virtual Reality. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1995. 401 p.

42. Bizami N. A., Zaidatun T., Kew S. N. Innovative pedagogical principles and technological tools capabilities for immersive blended learning: a systematic literature review. *Education and Information Technologies*. 2023. Vol. 28. № 2. P. 1373-1425. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11243-w>
43. Björk S., Holopainen J. *Patterns in Game Design*. Hingham, MA: Charles River Media, 2005. 418 p. URL : https://www.researchgate.net/publication/236157130_Patterns_in_Game_Design. (Last accessed : 25.09.2024).
44. Blair C., Walsh C., Best P. Immersive 360° videos in health and social care education: a scoping review. *BMC Medical Education*. 2021. Vol. 21(1). Art. 590. DOI : <https://doi.org/10.1186/s12909-021-03013-y>
45. Boel C., Rotsaert T., Valcke M., Rosseel Y., Struyf D., Schellens T. Are teachers ready to immerse? Acceptance of mobile immersive virtual reality in secondary education teachers. *Research in Learning Technology*. 2023. Vol. 31. Art. 2855. DOI : <https://doi.org/10.25304/rlt.v31.2855>
46. Bower M., Howe C., McCredie N., Robinson A., Grover D. Augmented Reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*. 2014. Vol. 51. Iss. 1. P. 1-15. DOI : <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>
47. Bowman S. L. Immersion and Shared Imagination in Role-Playing Games // *Role-Playing Game Studies*. New York, NY: Routledge, 2018. P. 379-394.
48. Braithwaite D. W., Sprague L. Conceptual Knowledge, Procedural Knowledge, and Metacognition in Routine and Nonroutine Problem Solving. *Cognitive Science*. 2021. Vol. 45. Iss. 10. DOI : <https://doi.org/10.1111/cogs.13048>
49. Burov O. Y., Pinchuk O. P., 2023. A meta-analysis of the most influential factors of the virtual reality in education for the health and efficiency of students' activity. *Educational Technology Quarterly* [Online]. 2023. Vol. 2023 No. 1. P. 58-68. DOI : <https://doi.org/10.55056/etq.435>
50. Burov O., Pinchuk O. Extended Reality in Digital Learning: Influence, Opportunities and Risks' Mitigation. *CEUR Workshop Proceedings. : Proceedings of the VI International Workshop on Professional Retraining and Life-Long*

- Learning using ICT: Person-oriented Approach (3L-Person 2021)*. 2022. Vol. 3104. P. 165-176. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3104/paper187.pdf> (Last accessed : 18.06.2026).
51. Bylieva D., Bekirogullari Z., Lobatyuk V., Nam T. How Virtual Personal Assistants Influence Children's Communication. // *Knowledge In The Information Society*. Cham: Springer, 2021. P. 112-124. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-030-65857-1_12
 52. Calvet L., Bourdin R., Prados F. Immersive technologies in higher education: Applications, challenges, and good practices // *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Education and E-Learning (ICEEL)*. 2019. P. 95-99 URL : https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10109471/1/ICEEL_19.pdf. (Last accessed : 03.02.2025).
 53. Cameron R. Towards an integrated framework for designing effective ICT-supported learning environments: the challenge to better link technology and pedagogy. *Technology, pedagogy and education*. 2006. Vol. 15(2). P. 239-255.
 54. Cao L. A meta-analysis of the impact of AR and VR technologies on mathematics learning. *Journal of Education, Humanities and Social Sciences*. 2023. Vol. 23. P. 637-649. DOI : <https://doi.org/10.54097/ehss.v23i.13133>
 55. Capecchi I., Borghini T., Bellotti M., Bernetti I. Enhancing Education Outcomes Integrating Augmented Reality and Artificial Intelligence for Education in Nutrition and Food Sustainability. *Sustainability*. 2025. Vol. 17. Iss. 5. Art. 2113. DOI : <https://doi.org/10.3390/su17052113>
 56. Carter R. Immersive Learning Benefits: Reducing Training Time and Enhancing Skill Acquisition. *XR Today. NewSletter* : web resource. March 12, 2025. URL : <https://www.xrtoday.com/mixed-reality/immersive-learning-benefits-reducing-training-time-and-enhancing-skill-acquisition/> (Last accessed : 23.07.2025).
 57. Caudell T. P., Mizell D.W. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. // *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. 1992. Vol. 2. P. 659-669. DOI : <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>

58. Chatzopoulos D., Bermejo C., Huang Z., Hui P. Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go. *IEEE Access*. 2017. Vol. 5. P. 6917-6950. DOI : <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2698164>
59. Checa D., Bustillo A. A Review of Immersive Virtual Reality Serious Games to enhance Learning and Training. *Multimedia Tools and Applications*. 2020. T. 79. № 4. P. 5501-5527. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9>
60. Chen J., Fu Z., Liu H., Wang J. Effectiveness of virtual reality on learning engagement: a meta-analysis. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT)*. 2024. Vol. 19. Iss. 1. P. 1-14. DOI : <https://doi.org/10.4018/ijwlтт.334849>
61. Chiu T. K. F. Applying the self-determination theory (SDT) to explain student engagement in online learning during the COVID-19 pandemic. *Journal of Research on Technology in Education*. 2022. Vol. 54. Iss. Sup1. P. 14-30. DOI : <https://doi.org/10.1080/15391523.2021.1891998>
62. Chocarro R., Cortiñas M., Marcos-Matás G. Teachers' attitudes towards chatbots in education: a technology acceptance model approach considering the effect of social language, bot proactiveness, and users' characteristics. *Educational Studies*. 2020. Vol. 49. Iss. 2. P. 295-313. DOI : <https://doi.org/10.1080/03055698.2020.1850426>
63. Chulpongsatorn N., Soni N., Lunding M. S., Suzuki R. Augmented Math: Authoring AR-Based Explorable Explanations by Augmenting Static Math Textbooks. *UIST '23*, October 29-November 1, 2023, San Francisco, CA, USA. DOI : <https://doi.org/10.1145/3586183.3606827>
64. Clegg B. A., Karduna A., Holen E., Garcia J., Rhodes M. G., Ortega F. R. Multimedia and Immersive Training Materials Influence Impressions of Learning But Not Learning Outcomes. *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC)*. 2022. Art. 22459. DOI : <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.05504>
65. Clegg N. Metaverse technologies are creating new opportunities for teachers to inspire students. *Meta Newsroom* : web resource. 2023, September 12. URL :

- <https://about.fb.com/news/2023/09/metaverse-technologies-education-opportunities/> (Last accessed : 03.03.2025).
66. Colreavy-Donnelly S., Ryan A., O'Connor S., Caraffini F., Kuhn S., Hasshu S. Leveraging immersive technologies to support blended learning post COVID-19 [Preprint]. 2022. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202203.0252.v1>.
 67. Connolly T. M., Boyle E. A., Macarthur E., Hainey T., Boyle J. M. A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Comput Educ.* 2012. Vol. 59. Iss. 2. P. 661-686. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
 68. Connolly M. Interactive Educational Animation in Singapore: Revolutionising Learning. *Educational Voice*. URL : <https://educationalvoice.co.uk/animation-in-singapore/> (Last accessed : 18.09.2025).
 69. Conrad M., Kablitz D., Schumann S. Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings. *Computers & Education: X Reality*. 2024. Vol. 4. Art. 100053. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053>
 70. Consoli T., Désiron J., Cattaneo A. What is “technology integration” and how is it measured in K-12 education? A systematic review of survey instruments from 2010 to 2021. *Computers & Education*. 2023. Vol. 197, Art. 104742. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104742>
 71. Copolo C. F., Hounshell P. B. Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. *Journal of Science Education and Technology*. 1995. Vol. 4. Iss. 4. P. 295-305.
 72. Crogman H. T., Cano V. D., Pacheco Ed, Sonawane R. B., Boroon R. Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Experiential Learning: Transforming Educational Paradigms. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15. Iss. 3. Art. 303. DOI : <https://doi.org/10.3390/educsci15030303>
 73. Csikszentmihalyi M. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York: Harper & Row, 1990. 303 p.
 74. Cuban L., Jandric P. The dubious promise of educational technologies: Historical

- patterns and future challenges. *E-Learning and Digital Media*. 2015. Vol. 12. Iss. 3-4. P. 425-439. DOI : <https://doi.org/10.1177/2042753015579978>
75. Dai W., Lin J., Hua L., Jin F., Li T., Tsai Y.-S., Gasević D., Chen G. Can Large Language Models Provide Feedback to Students? A Case Study on ChatGPT. *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. 2023. P. 323-325. Piscataway, NJ: IEEE, 2023. DOI : <https://doi.org/10.1109/ICALT58122.2023.00100>
 76. Daineko Y., Ipalakova M., Tsoy D., Mustafina A. Application of immersive technologies in Education. *Educational Administration: Theory and Practice*. 2024. Vol. 30. No. 5. P. 12136-12141. DOI : <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i5.5069>
 77. Dalgarno B., Lee M. J. W. What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*. 2010. Vol. 41. Iss. 1. P. 10-32. DOI : <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
 78. Daors I. Virtual reality – VR. *Theses and Dissertations*. 2020. URL : <https://knowledgecenter.ubt-uni.net/etd/1744> (Last accessed : 03.09.2024).
 79. Davies R. S., West R. E. Technology integration in schools. *Handbook of research on educational communications and technology*. Springer. 2014. P. 841-853. DOI : https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_68
 80. Daza R., Shengkai L., Morales A., Fierrez J. SMARTeVR: Student monitoring and adaptive response technology for e-learning in virtual reality. [Preprint]. 2025. arXiv. DOI : <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.10977>
 81. Defining augmented reality, history of augmented reality. URL : https://sncourseware.org/snsrcas/files/CW_6482ff14f15ce/History%20of%20augmented%20reality.pdf (Last accessed : 23.09.2024).
 82. Dengel A. What Is Immersive Learning? *8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, Vienna, Austria, 30 May–4 June 2022. DOI : <https://doi.org/10.23919/iLRN55037.2022.9815941>.
 83. Dick E. The Promise of Immersive Learning: Augmented and Virtual Reality's Potential in Education. *Information Technology & Innovation Foundation*.

- Washington, 30 Aug. 2021. URL : <https://www2.itif.org/2021-ar-vr-education.pdf> (Last accessed : 23.09.2024).
84. Dickey M. D. Teaching in 3D: Pedagogical Affordances and Constraints of 3D Virtual Worlds for Synchronous Distance Education. *Distance Education*. 2003. Vol. 24. Iss. 1. P. 105-121. DOI : <https://doi.org/10.1080/01587910303047>
 85. Dieker L. A., Lignugaris-Kraft B., Hynes M., Hughes C. E. Mixed reality environments in teacher education: Development and future applications. // *Online in Real Time: Using WEB 2.0 for Distance Education in Rural Special Education*. 2016. P. 122-131. <https://www.acres-sped.org/files/d/608dc29d-9bfe-42e9-bf19-12c0bc4642dd/acresmonograph2016.pdf#page=123> (Last accessed : 18.10.2024).
 86. Digital Education Action Plan 2021-2027. *European Commission*. 2020. 20 c. URL: <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan> (Last accessed : 18.09.2025).
 87. Ding Z. The Synergy of AI and VR for Personalized Learning. *Lecture Notes in Education Psychology and Public Media*. 2025. Vol. 93. P. 120-125. DOI : <https://doi.org/10.54254/2753-7048/2025.BO25217>
 88. Dinh H. Q. Walker N., Hodges L. F., Song Ch., Kobayashi A. Evaluating the importance of multi-sensory input on memory and the sense of presence in virtual environments. *Proceedings IEEE virtual reality*. 1999. No. 99CB36316. P. 222-228.
 89. Duyen N. N. Th., Nghia V. T. Augmented Reality in English Language Teaching: A Literature Review on Catering to Diverse Learning Styles. *International Journal of TESOL & Education*. 2025. Vol. 5. No. 1. P. 71-87. DOI : <https://doi.org/10.54855/ijte.25514>
 90. Education Resources Information Center Thesaurus. *ERIC* : website. URL : <https://eric.ed.gov/?ti=Technology+Integration> (Last accessed : 30.04.2025).
 91. Edwards A., Edwards C. The machines are coming: Future directions in instructional communication research. *Communication Education*. 2017. Vol. 66. Iss. 4. P. 487-488. <https://doi.org/10.1080/03634523.2017.1349915>
 92. Egunjobi D., Adeyeye O. Revolutionizing Learning: The Impact of Augmented Reality (AR) And Artificial Intelligence (AI) on Education. *International Journal*

- of Research Publication and Reviews*. 2024. Vol. 5. No 10. P. 1157-1170. DOI : <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.1024.2734>
93. Encyclopædia Britannica. Virtual Reality (VR). *Encyclopædia Britannica Online* : website. 2019. URL : <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality#ref884313> (Last accessed : 30.09.2024).
 94. Ergasheva G. S. Methodology for The Use of Immersive Technologies in Biology Education. *International Journal of Pedagogics*. 2025. Vol. 5. Iss. 6. P. 313-316. DOI : <https://doi.org/10.37547/ijp/Volume05Issue06-84>
 95. European Commission. *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. 2019. URL : <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai> (Last accessed : 28.09.2025).
 96. Falschlunger L., Lehner O., Treiblmaier H. InfoVis: The Impact of Information Overload on Decision Making Outcome in High Complexity Settings. *Proceedings of the Special Interest Group on Human-Computer Interaction*. Dublin, Ireland. 2016. P. 1-6. URL : <https://aisel.aisnet.org/sighci2016/3> (Last accessed : 15.12.2024).
 97. Familoni B. T., Onyebuchi N. C. Augmented and virtual reality in u.s. education: a review: analyzing the impact, effectiveness, and future prospects of ar/vr tools in enhancing learning experiences. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*. 2024. Vol. 6. Iss. 4. P. 642-663. DOI : <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i4.1043>
 98. Fang X., Ng D. T. K., Leung J. K. L., Xu H. The applications of the ARCS model in instructional design, theoretical framework, and measurement tool: a systematic review of empirical studies. *Interactive Learning Environments*. 2023. Vol. 32. Iss. 10. P. 5919-5946. DOI : <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2240867>
 99. Fernandes F., Rodrigues C. S., Teixeira E. N., Werner C. M. Immersive Learning Frameworks: A Systematic Literature Review. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2023. Vol. 16. Iss. 5. P. 736-747. DOI : <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3242553>

100. Fokides E., Antonopoulos P. Development and testing of a model for explaining learning and learning-related factors in immersive virtual reality. *Computers & Education: X Reality*. 2024. Vol. 4. Art. 100048. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100048>
101. Fowler C. Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology*. 2015. Vol 46. Iss. 2. P. 412-422. DOI : <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>
102. Fredricks J. A., Blumenfeld P. C., Paris A. H. School engagement: potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*. 2004. Vol. 74. No 1. P. 59-109.
103. Freitas S., Neumann T. The use of ‘exploratory learning’ for supporting immersive learning in virtual environments. *Computers & Education*. 2009. Vol. 52. Iss. 2. P. 343-352. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.09.010>
104. Garb Y. Virtual Reality. *Whole Earth Review*. Winter 1987. P. 118-129. URL : <https://wholeearth.info/p/whole-earth-review-winter-1987?format=spreads&index=121> (Last accessed : 08.09.2025).
105. Gargrish S., Mantri A., Kaur D. P. Augmented reality-based learning environment to enhance teaching-learning experience in geometry. *Procedia Computer Science*. 2020. Vol. 172. P. 1039-1046. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.152>
106. Garzón J. An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2021. Vol. 5. Iss. 7. DOI : <https://doi.org/10.3390/mti5070037>
107. Garzón J., Acevedo J. Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students’ learning gains. *Educational Research Review*. 2019. Vol. 27. P. 244-260. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
108. Gilbertson N. What Is Successful Technology Integration? *Edutoria* : website. URL : <https://www.edutopia.org/technology-integration-guide-description> (Last accessed : 03.01.2025).
109. Girvan C. What is a virtual world? Definition and classification. *Educational Technology Research Development*. 2018. Vol. 66. P. 1087-1100. DOI :

<https://doi.org/10.1007/s11423-018-9577-y>

110. Goldin-Meadow S. Learning through gesture. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*. 2011. Vol. 2. Iss. 6. P. 595-607. DOI : <https://doi.org/10.1002/wcs.132>
111. Gomez L. I. Immersive Virtual Reality for Learning Experiences. *Applied Degree Education and the Future of Work*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2020. P. 183-198.
112. Gómez-Trigueros I. M., Ortega-Sánchez D. El conocimiento ético profesional docente y su presencia en la inclusión de las tecnologías en el contexto educativo presente. *EduTec, Revista Electrónica De Tecnología Educativa*. 2022. No 80. P. 149-163. DOI : <https://doi.org/10.21556/edutec.2022.80.2345>
113. González-Cacho T., Abbas A. Impact of Interactivity and Active Collaborative Learning on Students' Critical Thinking in Higher Education. *IEEE revista iberoamericana de tecnologías del aprendizaje*. 2022. Vol. 17. Iss. 3. P. 254-261. DOI : <https://doi.org/10.1109/RITA.2022.3191286>
114. Graham C. R. Blended Learning Systems: Definition, Current Trends, and Future Directions // Bonk C. J., Graham C. R. (Eds.) *Handbook of Blended Learning: Global Perspectives, Local Designs*. San Francisco, CA: Pfeiffer Publishing, 2006. P. 3-21. URL: https://curtbonk.com/graham_intro.pdf (Last accessed : 02.11.2025).
115. Groff J. S. The potentials of game-based environments for integrated, immersive learning data. *European Journal of Education*. 2018. Vol. 53. Iss. 2. P. 188-201. DOI : <https://doi.org/10.1111/ejed.12270>
116. Guidelines for Mitigating Cybersickness in Virtual Reality Systems. NATO Science and Technology Organization. 2021. 194 p. URL: <https://publications.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-HFM-MSG-323/STO-TR-HFM-MSG-323-ALL.pdf> (Last accessed : 18.06.2026).
117. Häfner P. Categorisation of the benefits and limitations of immersive technologies for education. *19th International Conference on Modeling & Applied Simulation, MAS*. 2020. P. 154-159. DOI : <https://doi.org/10.46354/i3m.2020.mas.020>

118. Halkiopoulou C., Gkintoni E. Leveraging AI in E-Learning: Personalized Learning and Adaptive Assessment Through Cognitive Neuropsychology – A Systematic Analysis. *Electronics*. 2024. Vol. 13. Iss. 18. Art. 3762. DOI : <https://doi.org/10.3390/electronics13183762>
119. Hamilton D., Edgerton E., Wilson C., McKechnie J. Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education. *Journal of Computers in Education*. 2021. Vol. 8. P. 1-32. DOI : <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
120. Hamilton E. R., Rosenberg J. M., Akcaoglu M. The Substitution Augmentation Modification Redefinition (SAMR) Model: A Critical Review and Suggestions for its use. *TechTrends*. 2016. Vol. 60. P. 433-441. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11528-016-0091-y>
121. Handson Augmented Reality for Education. *MERGE Edu* : website. URL : <https://mergeedu.com/cube> (Last accessed : 31.03.2025 p.).
122. Harris J. B., Mishra P., Koehler M. J. Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge and Learning Activity Types: Curriculum-based Technology Integration Reframed. *Journal of Research on Technology in Education*. 2009. Vol. 41. Iss. 4. P. 393-416. DOI : <https://doi.org/10.1080/15391523.2009.10782536>
123. Hattie J. Timperley H. The power of feedback. *Review of Educational Research*. 2007. Vol. 77. Iss. 1. P. 81-112. DOI : <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
124. Hayes J. The Importance of VR Simulations with Analytics for Instant Feedback. *Virtual medical coaching* : web resource. 2024, 28 Mar. <https://blog.virtualmedicalcoaching.com/en/the-importance-of-vr-simulations-with-analytics-for-instant-feedback> (Last accessed : 31.10.2024 p.).
125. Hematian F., Rezaei A. M., Mohammadyfar M. A. On the effect of goal setting on self-directed learning, achievement motivation, and academic achievement among students. *Modern Applied Science*. 2017. Vol. 11. No. 1. P. 37-47. DOI : <https://doi.org/10.5539/mas.v11n1p37>
126. Henry B. Multimedia Learning. Applying Multimedia Learning to Social and Cognitive Load Theory. 2011. URL :

- https://www.researchgate.net/publication/232419576_Multimedia_Learning_Applying_Multimedia_Learning_to_Social_and_Cognitive_Load_Theory (Last accessed : 29.12.2024 p.).
127. Herpich F., Nunes F., Petri G., Tarouco L. How Mobile Augmented Reality Is Applied in Education? A Systematic Literature Review. *Creative Education*. 2019. Vol. 10. No. 7. P. 1589-1627. DOI : <https://doi.org/10.4236/ce.2019.107115>
 128. Herrera L. M. M., Ordóñez S. J., Ruiz-Loza S. Enhancing mathematical education with spatial visualization tools. *Frontiers in Education*. 2024. Vol. 9. DOI : <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1229126>
 129. Hertz M. B. What Does «Technology Integration» Mean? *Edutoria* : website. URL : <https://www.edutopia.org/blog/meaning-tech-integration-elementary-mary-beth-hertz> (Last accessed : 30.04.2025).
 130. Hilty D. M., Randhawa K., Maheu M., Rizzo A. A Review of Telepresence, Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Clinical Care. *Journal of Technology in Behavioral Science*. 2020. Vol. 5. P. 178-205. DOI : <https://doi.org/10.1007/s41347-020-00126-x>
 131. Hiltz S. R. The «Virtual Classroom»: Using Computer-Mediated Communication for University Teaching. *Journal of Communication*. 1986. Vol. 36, Iss. 2, P. 95-104. DOI : <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1986.tb01427.x>
 132. Hine E., Rezende I. N., Roberts H., Wong D., Taddeo M., Floridi L. Safety and Privacy in Immersive Extended Reality: An Analysis and Policy Recommendations. *Digital Society*. 2024. Vol. 3. Art. 33. DOI : <https://doi.org/10.1007/s44206-024-00114-1>
 133. History of Augmented Reality. *Svarmony* : web-resource. URL : <https://svarmony.com/blog/history-of-ar/> (Last accessed : 29.08.2024 p.).
 134. Hoenig W., Milanés C., Scaria L., Phan T., Bolas M., Ayanian N. Mixed reality for robotics. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2015. Hamburg, Germany, 28 September-2 October 2015. DOI : <https://doi.org/10.1109/IROS.2015.7354138>
 135. Holloway R. L. Registration Errors in Augmented Reality Systems : A dissertation

- submitted to the faculty of the University of North Carolina at Chapel Hill in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Computer Science Chapel Hill, 1995. URL : https://www.researchgate.net/profile/Frederick_Brooks_Jr/publication/2381120_Registration_Errors_in_Augmented_Reality_Systems/links/55c493da08aea2d9bdc3199c/Registration-Errors-in-Augmented-Reality-Systems.pdf (Last accessed : 17.10.2024 p.).
136. Holly M., Sommer S., Ruh T., Stadlbauer D., Rameshan C., Pirker J. The Influence of Isolation on Learning in an Immersive Laboratory Environment. *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. 2023. P. 285-289. DOI : <https://doi.org/10.1109/ICALT58122.2023.0009>.
 137. How To Use Technology in the Classroom: Benefits & Effects. *Drexel University School of Education* : web site. URL : <https://drexel.edu/soe/resources/student-teaching/advice/how-to-use-technology-in-the-classroom/> (Last accessed : 13.10.2025 p.).
 138. Huang N., Goswami P., Sundstedt V., Hu Y., Cheddad A. Personalized smart immersive XR environments: a systematic literature review. *The Visual Computer*. 2025. Vol. 41. Iss. 11. P. 8593-8626. DOI : <https://doi.org/10.1007/s00371-025-03887-9>
 139. Huang Y., Richter E., Kleickmann T., Richter D. Virtual Reality in Teacher Education from 2010 to 2020: A Review of Program Implementation, Intended Outcomes, and Effectiveness Measures. // *Bildung für eine digitale Zukunft*. Cham: Springer, 2023. P. 399-441. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-658-37895-0_16
 140. Ibiloye A. Perspectives on Blended Learning Models and Recommendations on Instructional Applications. *Academia Letters*. 2021. Art. 3377. DOI : <https://doi.org/10.20935/AL3377>
 141. IEEE Global Initiative on Ethics of Extended Reality (XR). *Ethical Considerations of Extended Reality (XR)*. IEEE Standards Association. 2022. URL : <https://standards.ieee.org/beyond-standards/ethical-considerations-of->

- extended-reality-xr/ (Last accessed : 13.10.2025 p.).
142. Immersive Education Initiative. Immersive Education for Remote Learners. URL : <https://immersivededucation.org/remote> (Last accessed : 19.09.2025 p.)
 143. Immersive Learning Environments (ILEs). *Gartner*. Available online: URL : <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/immersive-learning-environments-iles> (Last accessed : 17.10.2025 p.).
 144. Innovating Education and Educating for Innovation. The Power of Digital Technologies and Skills. *OECD Publishing*, Paris. 2016. 152 p. DOI : <https://doi.org/10.1787/9789264265097-en>
 145. Intelligent Immersion: Integrating AI and XR for Enhanced Military Training and Decision-Making. *RSDI* : website, 02.09.2025. URL : <https://rsdi.ae/en/publications/intelligent-immersion-integrating-ai-and-xr-for-enhanced-military-training-and-decision-making> (Last accessed : 30.10.2025).
 146. Ip H., Li R. C. Defining Virtual Reality enabled Learning. *International Journal of Innovation and Learning*. 2022. Vol. 31. No 3. P. 291-306. DOI : <https://doi.org/10.1504/IJIL.2022.10044241>
 147. Ironsi Ch. S. Investigating the use of virtual reality to improve speaking skills: insights from students and teachers. *Smart Learning Environments*. 2023. Vol. 10. Art. 53. P. 53-58. DOI : <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00272-8>
 148. ISO/IEC TR 23842-1:2020 Information technology for learning, education and training – Human factor guidelines for virtual reality content Part 1: Considerations when using VR content. URL : <https://www.iso.org/standard/77140.html> (Last accessed : 11.11.2024 p.).
 149. ISO/IEC TR 23844:2023. *Information technology for learning, education, and training – Immersive content and technology*. Geneva: International Organization for Standardization, 2023. Retrieved from URL : <https://www.iso.org/standard/77144.html> (Last accessed : 11.11.2024 p.).
 150. Jackson S.A., Csikszentmihalyi M. *Flow in sports*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1999. 368 p.
 151. Jalili N. Three ways AI and immersive technology will revolutionise personalised

- learning. *Times Higher Education*. 2024. URL : <https://www.timeshighereducation.com/campus/three-ways-ai-and-immersive-technology-will-revolutionise-personalised-learning> (Last accessed : 24.03.2025).
152. Javornik A. The Mainstreaming of Augmented Reality: A Brief History. *Harvard Business Review Home* : web-resource. 2016, October 04. URL : <https://hbr.org/2016/10/the-mainstreaming-of-augmented-reality-a-brief-history> (Last accessed : 21.03.2024).
153. Jensen L., Konradsen F. A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*. 2018. Vol. 23. Issue 4. P. 1515-1529. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
154. Jiang H., Zhu D., Chugh R., Turnbull D., Jin W. Virtual reality and augmented reality-supported K-12 STEM learning: trends, advances and challenges. *Education and Information Technologies*. 2025. Vol. 30. P. 12827-12863. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13210-z>
155. Jin S., Huang J., Zhong Z. Application of Immersive Technologies in Primary and Secondary Education. *Frontiers of Digital Education*. 2024. Vol. 1. Iss. 2. P. 142-152. DOI : <https://doi.org/10.1007/s44366-024-0001-3>
156. Johnson-Glenberg m. C. Immersive VR and Education: Embodied Design Principles That Include Gesture and Hand Controls. *Frontiers in Robotics AI*. 2018. Vol. 5. DOI : <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00081>
157. Jong N., Popeijus H. E., Adam T. C., Beucken T., Jongen S. Immersive VR exploration of human cells: Experiences of second-year Bachelor of Health Sciences students using 360-degree video in PBL. *Computers & Education: X Reality*. 2025. Vol. 6. Art. 100095. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100095>
158. Kamarudin M. Z., Mat Noor M. S. A., Omar R. A scoping review of the effects of a technology-integrated, inquiry-based approach on primary pupils' learning in science. *Research in Science & Technological Education*. 2024. Vol. 42. Iss. 3. P. 828-847, DOI : <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2138847>

159. Kancherla A., Rolland J., Wright D., Burdea G. A Novel Virtual Reality Tool for Teaching Dynamic 3D Anatomy. *International Conference on Computer Vision, Virtual Reality, and Robotics in Medicine*. 1995. P. 163-169.
160. Keller Ch. Virtual learning environments: three implementation perspectives. *Journal of Educational Media*. 2005. Vol. 30. Iss. 3. P. 299-311. DOI : <https://doi.org/10.1080/17439880500250527>
161. Keller J. M. Motivation, Learning, and Technology: Applying the ARCS-V Motivation Model. *Participatory Educational Research (PER)*. 2016. Vol. 3. Iss. 2. P. 1-13. DOI : <http://dx.doi.org/10.17275/per.16.06.3.2>
162. Kenwright B. Virtual reality: ethical challenges and dangers [opinion]. *IEEE Technology and Society Magazine*. 2018. Vol. 37. Iss. 4. P. 20-25.
163. Kim H. W., Hock Ch. Ch., Sumeet G. Value-based adoption of mobile internet: an empirical investigation. *Decision support systems*. 2007. Vol. 43. Iss. 1. P. 111-126. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2005.05.009>
164. Kim T. W. Application of Artificial Intelligence Chatbots, Including ChatGPT, in Education, Scholarly Work, Programming, and Content Generation and Its Prospects: A Narrative Review. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*. 2023. Vol. 20. P. 1-8. DOI : <https://doi.org/10.3352/jeehp.2023.20.38>
165. Kirkley S. E, Kirkley J. R. Creating next generation blended learning environments using mixed reality, video games and simulations. *TechTrends*. 2005. Vol. 49. Iss. 3. P. 42-53.
166. Kiv A. E. et al. From cloud computing to quantum informatics: Advances in educational technology at CoSinE 2024. *Proceedings of the 11th Illia O. Teplytskyi Workshop on Computer Simulation in Education (CoSinE 2024) co-located with XVI International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 15, 2024. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3820. P. 1-12. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3820/paper000.pdf> (Last accessed : 02.02.2026).
167. Kiyanovska N., Rashevskaya N. Using LMS for Supporting Training Mathematics in Higher Education. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 9. C. 593-598.

- URL : http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_9/095_Natalia-Kiyanovska.pdf (Last accessed : 02.02.2026).
168. Kiyanovska N., Rashevskaya N., Tkachuk V. Mobile technologies in education. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. № 5. C. 40-43. http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2016_5/006Kiyanovska.pdf (Last accessed : 02.02.2026).
 169. Kolloffel B., Eysink T. H. S., De Jong T. Comparing the effects of representational tools in collaborative and individual inquiry learning. *International Journal Computer-Supported Learning*. 2011. Vol. 6. P. 223-251.
 170. Kravchenko S. Technology of Education and Training in the USA: Strategic Dimension. *Ukrainian Educational Journal*. T. 4. P. 26-34. DOI : <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2023-4-26-34>
 171. Krevelen van D.W.F., Poelman R. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*. 2010, Vol. 9. № 2. P. 1-20. DOI : <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>
 172. Krueger M. W. The Artistic Origins of Virtual Reality. *Machine Culture*. 1993. P. 148-149.
 173. Krüger J. M. Adaptive learning and instruction with augmented reality: A scoping review. *Immersive Learning Research – Academic. 10th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, 2025. Part 1. P. 156–166. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-031-80475-5_11
 174. Krüger J. M., Palzer K., Bodeme D. Learning with augmented reality: Impact of dimensionality and spatial abilities. *Computers and Education Open*. 2022. Vol. 3. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100065>
 175. Kudryavtseva E., Kuzminov R., Abuzyarova D. Immersive reading as a contemporary technique in lifelong learning. *15th International Conference on Education and New Learning Technologies*. 2023. Spain : EDULEARN23. P. 716-722. DOI : <https://doi.org/10.21125/edulearn.2023.0282>
 176. Kuhail M. A., ElSayary A., Farooq S., Alghamdi A. Exploring Immersive Learning Experiences: A Survey. *Informatics*. 2022. Vol. 9. Iss. 4. Art. 75. DOI :

<https://doi.org/10.3390/informatics9040075>

177. Kurt G., Önel F., Çakıoğlu Özge. An investigation of Middle School Students' Spatial Reasoning Skills. *International Electronic Journal of Elementary Education*. 2023. Vol. 16. Iss. 1. P. 123-141. DOI : <https://doi.org/10.26822/iejee.2023.319>
178. Kuznetsova H., Danylchenko I., Zenchenko T., Rostykus N., Lushchynska O. Incorporating innovative technologies into higher education teaching: Mastery and implementation perspectives for educators. *Multidisciplinary Reviews* : Published Online. 2024. DOI : <https://doi.org/10.31893/multirev.2024spe027>
179. Lai J. W., Cheong K. H. Educational opportunities and challenges in augmented reality: Featuring implementations in physics education. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 43143-43158. DOI : <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3166478>
180. Laurens-Arredondo L. Mobile augmented reality adapted to the ARCS model of motivation: a case study during the COVID-19 pandemic. *Education and Information Technologies*. 2022. Vol. 27. Iss. 6. P. 7927-7946. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10933-9>
181. Lawlor K. B., Hornyak M. J. Smart goals: How the application of smart goals can contribute to achievement of student learning outcomes. *Developments in business simulation and experiential learning*. 2012. Vol. 39. P. 259-267.
182. Lee H.-G., Chung S., Lee W.-H. Presence in virtual golf simulators: The effects of presence on perceived enjoyment, perceived value, and behavioral intention. *New Media & Society*. 2013. Vol. 15. Iss. 6. P. 930-946. DOI : <https://doi.org/10.1177/1461444812464033>
183. Lekan S. Virtual Environments, Render Realism and Their Effect on Spatial Memory : Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle, WA, USA, 2016.
184. Lescop Laurent 360° vision, from panoramas to VR. *Envisioning architecture: space / time / meaning*. 2017. P. 226-233.
185. Leveraging the European XR industry technologies to empower immersive learning and training. *European Commission*. URL : <https://cordis.europa.eu/project/id/101092851> (Last accessed : 17.09.2025).

186. Li K.-C., Chen C.-T., Cheng S.-Y., Tsai C.-W. The Design of Immersive English Learning Environment Using Augmented Reality. *Universal Journal of Educational Research*. 2016. Vol. 4. Iss. 9. P. 2076-2083. DOI : <https://doi.org/10.13189/ujer.2016.040919>
187. Li Y., Wang A., Wu Y., Han N., Huang H. Impact of the COVID-19 Pandemic on the Mental Health of College Students: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*. 2021. Vol. 12. DOI : <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.669119>
188. Lichtenberger-Majzikné K., Fischer A. The Role of Feedback in Developing Reflective Competence. *Practice and Theory in Systems of Education*. 2017. Vol. 12. Iss. 3. P. 119-127. DOI : <https://doi.org/10.1515/ptse-2017-0012>
189. Lindgren R., Tscholl M., Wang S., Johnson E. Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education*. 2016. Vol. 95. P. 174-187. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001>
190. Liu R., Wang L., Lei J., Wang Q. Effects of an immersive virtual reality-based classroom on students' learning performance in science lessons. *British Journal of Educational Technology*. 2020. Vol. 51. Iss. 6. P. 2034-2049. DOI : <https://doi.org/10.1111/bjet.13028>
191. Luciano A. M. S., Ribeiro A.A., Balbino R. O., Kalinke M. A. A realidade aumentada como uma possibilidade para o trabalho com sólidos geométricos. *ACTIO Docência em Ciências*. 2024. Vol. 9. No 1. P. 1-17. DOI : <https://doi.org/10.3895/actio.v9n1.18072>
192. Lui M., Mcewen R., Mullally M. Immersive virtual reality for supporting complex scientific knowledge: Augmenting our understanding with physiological monitoring. *British Journal of Educational Technology*. 2020. Vol. 51. Iss. 6. P. 2180-2198. DOI : <https://doi.org/10.1111/bjet.13022>
193. Lytvynova S., Rashevskaya N. Immersive learning tools for teaching mathematics to high school students in general secondary education institutions. *Proceedings of the 7th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu*

- 2024). Kryvyi Rih, Ukraine, May 14, 2024. CEUR Workshop Proceedings, Vol-3918. P. 29-42. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3918/paper004.pdf> (Last accessed : 02.02.2026).
194. Lytvynova S., Rashevskaya N. Mobile Learning by Students in the Conditions of Martial Law. *Proceedings of the 12th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 12, 2025. CEUR Workshop Proceedings, Vol-4043. P. 116-131. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-4043/paper02.pdf> (Last accessed : 02.02.2026)
 195. Lytvynova S., Rashevskaya N., Proskura S. The use of artificial intelligence in teaching students programming languages. *3L-Person 2024: IX International Workshop on Professional Retraining and Life-Long Learning using ICT: Person-oriented Approach, co-located with the 19th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2024)* September 23, 2024, Lviv, Ukraine. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3781. P. 10-29. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3781/paper01.pdf> (Last accessed : 02.02.2026)
 196. Lytvynova S., Soroko N. Interaction in an educational environment with virtual and augmented reality. *ICT and Learning Tools in Secondary Education*. 2023. Vol. 98. No 6. P. 13-30. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v98i6.5433>
 197. Ma L. An Immersive Context Teaching Method for College English Based on Artificial Intelligence and Machine Learning in Virtual Reality Technology. *Mobile Information Systems*. 2021. Vol. 2. P. 1-7. DOI : <https://doi.org/10.1155/2021/2637439>
 198. Maas M. J., Hughes J. M. Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: A review of the literature. *Technol. Pedagog. Educ.* 2020. Vol. 29. Iss. 2. P. 231-249. DOI : <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>
 199. Macleod L. Making SMART goals smarter. *Physician Executive*. 2013. Vol. 38. Iss. 2. P. 68-72.
 200. Madathil K. C., Frady K., Hartley R., Bertrand J., Alfred M., Gramopadhye A. An Empirical Study Investigating the Effectiveness of Integrating Virtual Realitybased Case Studies into an Online Asynchronous Learning Environment.

- Computers in Education Journal*. 2017. Vol. 8. Iss. 3. URL : <https://artillry.co/wp-content/uploads/2018/10/Computers-in-Educational-Journal-VR-in-Learning.pdf>
201. Maiti M., Priyaadharshini M., Harini S. Design and evaluation of a revised ARCS motivational model for online classes in higher education. *Heliyon*. 2023. Vol. 9. Iss. 12. e22729. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22729>
 202. Makhija A., Jha M., Richards D., Bilgin A. Work-in-Progress – Using Feedback To Support Learning Statistics in Higher Education Within a Game-Based Learning Environment. *9 the International Conference of the Immersive Learning Research Network Academic Proceedings iLRN2023*. 2023. DOI : <https://doi.org/10.56198/ZH3JOZF14>
 203. Makransky G., Petersen G. B. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*. 2021. Vol. 33. P. 937-958. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
 204. Makransky G., Petersen G. B. The Theory of Immersive Collaborative Learning (TICOL). *Educational Psychology Review*. 2023. Vol. 35. Art. 103. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09822-5>
 205. Makransky G., Terkildsen T. S., Mayer R. E. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*. 2019. Vol. 60. P. 225-236. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
 206. Maroukhas A., Troussas C., Krouska A., Sgouropoulou C. How personalized and effective is immersive virtual reality in education? A systematic literature review for the last decade. *Multimedia Tools and Applications*. 2024. Vol. 83. Iss. 6. P. 18185-18233. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15986-7>
 207. Maroukhas A., Troussas Ch., Krouska A., Sgouropoulou C. Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade. *Electronics*. 2023. Vol. 12. Iss. 13. DOI : <https://doi.org/10.3390/electronics12132832>
 208. Massa^abi M., Layouni O., Oueslati W. B. M., Alahmari F. An Immersive System

- for 3D Floods Visualization and Analysis. *Virtual Learning Environments for Promoting Self Transformation: Iterative Design and Implementation of Philadelphia Land Science*. Immersive Learning Research Network 4th International Conference, iLRN 2018 Missoula, MT, USA, June 24-29, 2018. P. 69-79. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-319-93596-6_5
209. Mayer R. E. ed. *The Cambridge handbook of multimedia learning*. N. Y. : Cambridge University Press, 2005. 647 p.
210. Mayer R. E., Fiorella L., Stull A. Five ways to increase the effectiveness of instructional video. *Educational Technology Research and Development*. 2020. Vol. 68. No 3. P. 837-852. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09749-6>
211. McGivney E., Queiroz A., Miller M., Liu S., Beams B., Han E., Woolsey E., Frazier K., Petersen X., Hancock J., Bailenson J. Complexity of Agency in VR Learning Environments: Exploring Associations with Interactivity, Learning Outcomes, and Affect. *Immersive Learning Research Network Conference (iLRN 2025) Proceedings*. Cham: Springer, 2025. P. 65-79. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-031-80475-5_5
212. McGowin G. Mind the Gap! Advancing Immersion in Virtual Reality – Factors, Measurement, and Research Opportunities. McGowin G. *HFES*. 2024. Vol. 68. Iss. 1. DOI : <https://doi.org/10.1177/10711813241278833>
213. McGowin G., Fiore S. M., Oden K. Towards a Theory of Learning in Immersive Virtual Reality: Designing Learning Affordances with Embodied, Enactive, Embedded, and Extended Cognition. *Bridging the XR Technology-to-Practice-Gap: Methods and Strategies for Blending Extended Realities into Classroom Instruction*. 2023. Vol. I. Chapter 3. Publisher: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). P. 35-54.
214. McLellan H. Virtual realities / *The Handbook of Research for Educational Communications and Technology*. Bloomington, AECT. 2001. URL : <https://members.aect.org/edtech/ed1/15/index.html> (Last accessed : 17.09.2024).
215. Mehiri R. Gardner’s Multiple Intelligences Theory: Implications for Teachers and Students. *Altralang Journal*. 2020. Vol. 02. Iss. 01. P. 259-275. DOI :

- <https://doi.org/10.52919/altralang.v2i01.64>
216. Merchant Z., Goetz E. T., Cifuentes L., Keeney-Kennicutt W., Davis T. J. Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computer & Education*. 2014. Vol. 70. P. 29-40.
 217. Merino C., Marzábal A., Quiroz W., Pino S., López-Cortés F., Carrasco X., Miller B. G. Use of augmented reality in chromatography learning: how is this dynamic visual artifact fostering the visualization capacities of chemistry undergraduate students? *Frontiers in Education*. 2022. Vol. 7. DOI : <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.932713>
 218. Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*. 1994. Vol. E77-D, No. 12. P. 1321-1329.
 219. Mishra P., Koehler M. J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*. 2006. Vol. 108. Iss. 6. P. 1017-1054.
 220. Mitrakas N., Tsihouridis C., Vavougiou D. Using Mixed Reality in the Educational Practice: An Inquiry-Based Process of the Fluid Expansion–Contraction Phenomena by Pre-Service Teachers. *Education Sciences*. 2024. Vol. 14. Iss. 7. Art. 754. DOI : <https://doi.org/10.3390/educsci14070754>
 221. Mohib U., Sareer U. A., Muhammad M., Utkurbek S., Habib K., Salman K., Habib U. Serious games in science education: a systematic literature review. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*. 2022 Vol. 4. Iss. 3. P. 189-209. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.02.001>
 222. Montero C. S., Goagoses N., Winschiers-Theophilus H., Pope N., Suovuo T., Rötönen E., Sutinen E. Supporting academic engagement through immersive technologies. *Education and New Developments*. 2022. P. 101-105. DOI : <https://doi.org/10.36315/2022v2end022>
 223. Morley D., Bettles S., Derham C. The exploration of students' learning gain following immersive simulation – the impact of feedback. *Higher Education Pedagogies*. 2019. Vol. 4. Iss. 1. P. 368-384. DOI :

- <https://doi.org/10.1080/23752696.2019.1642123>
224. Mulenga R., Shilongo H. Hybrid and Blended Learning Models: Innovations, Challenges, and Future Directions in Education. *Acta Pedagogica Asiana*. 2025. Vol. 4. Iss. 1. P. 1-13. DOI : <https://doi.org/10.53623/apga.v4i1.495>
 225. Muzata A. R., Singh G. Stepanov M. S., Musonda I. Immersive Learning: A Systematic Literature Review on Transforming Engineering Education Through Virtual Reality. *Virtual Worlds*. 2024. Vol. 3. Iss. 4. P. 480-505. DOI : <https://doi.org/10.3390/virtualworlds3040026>
 226. Mystakidis S., Christopoulos A. Teacher Perceptions on Virtual Reality Escape Rooms for STEM. *Education Information*. 2022. Vol. 13. Iss. 3. Art. 136. DOI : <https://doi.org/10.3390/info13030136>
 227. Mystakidis S., Lympouridis V. Immersive Learning. *Encyclopedia*. 2023. Vol. 3. Iss. 2. P. 396-405. DOI : <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020026>
 228. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. How People Learn II: Learners, Contexts, and Cultures. Washington, DC: The National Academies Press. 346 p. DOI : <https://doi.org/10.17226/24783>
 229. Nicol D. J., Macfarlane-Dick D. Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. *Studies in Higher Education*. 2006. Vol. 31. Iss. 2. P. 199-218. DOI: <https://doi.org/10.1080/03075070600572090>
 230. Nikou S. A., Perifanou M., Economides A. A. Development and validation of the teachers' augmented reality competences (TARC) scale. *Journal of Computers in Education*. 2023. Vol. 11. No. 4. P. 1041-1060. DOI : <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00288-6>
 231. Nikou S. A., Perifonau M., Economides A. A. Exploring Teachers' Competences to Integrate Augment Reality in Education: Results from an International Study. *TechTrends*. 2024. Vol. 68. Iss. 4. P. 1208-1221. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11528-024-01014-4>
 232. Nilsson N. C., Nordahl R., Serafin S. Immersion Revisited: A Review of Existing Definitions of Immersion and Their Relation to Different Theories of Presence.

- Human Technology*. 2016. Vol. 12. No. 2. P. 108-134.
233. Noll A. M. Choreography and Computers. *Dance Magazine*, January 1967. URL : <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=4997> (Last accessed : 21.08.2024).
 234. Noll A. M. Man-Machine Tactile Communication. *SID Journal*. July/August 1972. P. 5-30.
 235. Noll A. M. Real-Time Interactive Stereoscopy. *SID Journal*. September/October 1972. P. 14-22.
 236. Noll A. M. Teleportation through Telecommunication. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. November 1976. P. 754-756.
 237. Norton C., Cameron I., Crosthwaite C., Balliu N., Tade M., Shallcross D., Hoadley A., Barton G., Kavanagh J. Development and deployment of an immersive learning environment for enhancing process systems engineering concepts. *Education for Chemical Engineers*. 2008. Vol. 3. Iss. 2. P. e75-e83 DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ece.2008.04.001>
 238. Nurgazin A., Wendt J. A., Sholpan K., Tokpanov E. Teachers' Perspectives on the Use of Artificial Intelligence and Immersive Technology in the Process of Teaching Geography. *National Center for Higher Education Development*. 2025. Vol. 2. Iss. 50. P. 63-79. DOI:10.59787/2413-5488-2025-50-2-63-79
 239. OECD. PISA 2022: Insights and Interpretations // *OECD*. – Paris : OECD Publishing, 2023. 72 p. URL : https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/support-materials/2023/12/pisa-2022-results-volume-i_76772a36/PISA%202022%20Insights%20and%20Interpretations.pdf (Last accessed : 30.11.2024).
 240. OGREZEANU A. Models of technology adoption: an integrative approach. *Network Intelligence Studies*. 2015. Vol. III. Iss. 1 (5). P. 55-67.
 241. OJE A. V., HUNSU N. J., FIORELLA L. A systematic review of evidence-based design and pedagogical principles in educational virtual reality environments Author links open overlay panel. *Educational Research Review*. 2025. Vol. 47.

- Art. 100676. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100676>
242. Osadchyi V. V., Chemerys H. Y., Osadcha K. P., Kruhlyk V. S., Koniukhov S. L., Kiv A. E. Conceptual model of learning based on the combined capabilities of augmented and virtual reality technologies with adaptive learning systems. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2731. P. 328-340. DOI : <https://doi.org/10.31812/123456789/4417>
 243. Oyelere S., Bouali N., Kaliisa R., Obaido G., Yunusa A., Jimoh E. Exploring the trends of educational virtual reality games: a systematic review of empirical studies. *Smart Learning Environments*. 2020. Vol. 7. Iss. 1. P. 1-22. DOI : <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00142-7>
 244. Paiva D. C., Jasbick D. L., Tori R. Educação sem distância: as tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem. *Revista Inter-Ação*. 2017. V. 42. N. 1. P. 233-237.
 245. Palamar S., Brovko K., Semerikov S. Enhancing Foreign Language Learning in Ukraine: Immersive Technologies as Catalysts for Cognitive Interest and Achievement. *Information Technology and Implementation (IT&I-2023)*, 2023. P. 69-81.
 246. Pan Zh., Cheok A. D., Yang H., Zhu J., Shi J. Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers & Graphics*. 2006. Vol. 30. Iss. 1. P. 20-28. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cag.2005.10.004>
 247. Papalazarou N., Lefkos I., Fachantidis N. The effect of physical and virtual inquiry-based experiments on students' Attitudes and learning. *Journal of Science Education and Technology*. 2024. Vol. 33. Iss. 3. P. 349-364. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10088-3>
 248. Parmaxi A., Athanasiou A., Demetriou A. A. Introducing a student-led application of Google Expeditions: an exploratory study. *Educational Media International*. 2021. Vol. 58. Iss. 3. P. 1-23. DOI : <https://doi.org/10.1080/09523987.2021.1908497>
 249. Parong J., Mayer R. E. Learning about history in immersive virtual reality: Does immersion facilitate learning? *Educational Technology Research and*

- Development*. 2021. Vol. 110. Iss. 6. P. 785-797. DOI : <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
250. Partarakis N., Zabulis X. A Review of Immersive Technologies, Knowledge Representation, and AI for Human-Centered Digital Experiences. *Electronics*. 2024. Vol. 13. Iss. 2. Art. 269. DOI : <https://doi.org/10.3390/electronics13020269>
 251. Passig D., Tzuriel D., Eshel-Kedmi G. Improving children's cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D immersive virtual reality environments. *Computers & Education*. 2016. Vol. 95. P 296-308. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.009>
 252. Peña-Acuña B., Rubio-Alcalá F. D. Ethical approach to the use of immersive technologies. Advance about digitalisation of multilingual programs in the EHEA. *Frontiers in Virtual Reality*. 2024. Vol. 5. Art. 1357595. DOI : <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1357595>
 253. Perels F., Dörrenbächer-Ulrich L., Landmann M., Otto B., Schnick-Vollmer K., Schmitz B. Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. // Wild E., Möller J. (Eds.) *Pädagogische Psychologie*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2020. P. 45-66. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_3
 254. Perifonau M., Economides A. A., Nikou S. A. Teachers' Views on Integrating Augmented Reality in Education: Needs, Opportunities, Challenges and Recommendations. *Future Internet*. 2023. Vol. 15. Iss. 1. Art. 20. DOI : <https://doi.org/10.3390/fi15010020>
 255. Petersen G. B., Petkakis G., Makransky G. A study of how immersion and interactivity drive VR learning. *Computers & Education*. 2022. Vol. 179. Art. 104429. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104429>
 256. Pinchuk O. P., Tkachenko V. A., Burov O. Yu. AV and VR as Gamification of Cognitive Tasks. *Proc. 15 th Int. Conf. ICTERI*. 2019. Vol. 2387. P. 437-442. URL : <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190437.pdf> (Last accessed : 17.06.2025).
 257. Pinchuk O., Burov O., Ahadzhanova S., Logvinenkoet V. VR in education: ergonomic features and cybersickness. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Cham : Springer International Publishing, 2020.

- C. 350-355. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-030-50896-8_50
258. Pinter L., Siddiqui M. F. H. Enhancing Calculus Learning through Interactive VR and AR Technologies: A Study on Immersive Educational Tools. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2024. Vol 8. Iss. 3. Art 19. DOI : <https://doi.org/10.3390/mti8030019>
 259. Pisapia N., Penazzi G., Ibarra J. I., Rastelli C. Immersive Cave Environments in VR: A Tool for Exploring Altered States of Consciousness and Creativity in Archaeology. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. Iss. 24. Art. 11916. DOI : <https://doi.org/10.3390/app142411916>
 260. Pitsikalis S., Lasica I.-E., Kostas A., Vitsilaki Ch. Educational Design Guidelines for Teaching with Immersive Technologies – Updating Learning Outcomes of the European Qualification Framework. *Trends in Higher Education*. 2024. Vol. 3. Iss. 4. P. 1091-1108. DOI : <https://doi.org/10.3390/higheredu3040064>
 261. Pittman T., Gaines T. Technology integration in third, fourth and fifth grade classrooms in a Florida school district. *Educational Technology Research & Development*. 2015. Vol. 63. Iss. 4. P. 539-554. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9391-8>
 262. Polanin J. R., Austin M., Taylor J. A., Steingut R. R., Rodgers M. A., Williams R. Effects of the 5E Instructional Model: A Systematic Review and Meta-Analysis. *AERA Open*. 2024. Vol. 10. No. 1, P. 1-16 DOI : <https://doi.org/10.1177/23328584241269866>
 263. Potapchuk O., Hevko I., Lutsyk I. Preparation of fu-ture teachers for the use of immersive technologies in professional activities. *Information Technologies and Learning Tools*. 2025. Vol. 110, № 6. P. 151-164. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6257>
 264. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrović V. M., Jovanović K. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers and Education*. 2016. Vol. 95. P. 309-327. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
 265. Poupard M., Larrue F., Sauzéon H., Tricot A. A systematic review of immersive

- technologies for education: effects of cognitive load and curiosity state on learning performance. *HAL open science*. 2025. ffhal-03906797v1f. URL : <https://hal.science/hal-03906797v1>. (Last accessed : 14.06.2024).
266. Queiroz A. C. M., Fauville G., Herrera F. Leme M. I., Bailenson J. N. Do Students Learn Better With Immersive Virtual Reality Videos Than Conventional Videos? A Comparison of Media Effects With Middle School Girls. *Technology, Mind, and Behavior*. 2022. Vol. 3. Iss. 3. P. 468-484. DOI : <https://doi.org/10.1037/tmb0000082>
267. Queiroz A., Bailenson J., Blair K., Schwartz D., Thille C., Wagner A. Self-review and feedback in virtual reality dialogues increase language markers of personal and emotional expression in an empathetic communication training experience. *Computers & Education: X Reality*/ 2025. Vol. 7. Art. 100108. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100108>
268. Queiroz A., McGivney E., Liu S., Anderson C., Beams B., DeVeaux C., Frazier K., Han E., Miller M., Petersen X., Woolsey E., Hancock J., Bailenson J. Collaborative Tasks in Immersive Virtual Reality Increase Learning. *Proceedings of the 16th International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning-CSCL* 2023. URL : https://vhil.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj29011/files/media/file/cscl2023_learning_ivr.pdf. (Last accessed : 03.09.2024).
269. Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*. 2020. Vol. 147. Art. 103778. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
270. Rahman H., Wahid S. A., Ahmad F., Ali N. Game-based learning in metaverse: Virtual chemistry classroom for chemical bonding for remote education. *Education and information Technologies*. 2024. Vol. 29. P. 19595-19619. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12575-5>
271. Randall D. S., West R. E. Technology integration in schools. In *Handbook of research on educational communications and technology*. 2014. P. 841-853.

272. Rashevskа N. Immersive educational technologies as a part of the immersive mathematical environment of a student. *Імерсивні технології в освіті : IV Міжнародна науково-практична конференція* (Київ, 30 квітня 2024 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2024. С. 36-39.
273. Rashevskа N. V., Kiianovskа N. M. Improving blended learning in higher technical education institutions with mobile and cloud-based ICTs. *Educational Dimension*. 2023. Т. 9. С. 13-31. DOI : <https://doi.org/10.31812/ed.608>
274. Rashevskа N. V., Semerikov S. O. From philosophical immersion to digital reality: A unified theoretical framework for understanding and classifying immersive technologies in education. *Computers & Education: X Reality*. 2026. Vol. 8 Art. 100147. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2026.100147>
275. Rashevskа N. V., Semerikov S. O., Zinonos N. O., Tkachuk V. V., Shyshkina M. P. Using augmented reality tools in the teaching of two-dimensional plane geometry. *AREdu 2020. Augmented Reality in Education 2020*. Proceedings of the 3rd International Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine, May 13, 2020. CEUR Workshop Proceedings, Vol 2731. P. 79-90. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-2731/paper03.pdf> (Last accessed : 02.02.2026).
276. Rashevskа N. V., Soloviev V. N. Augmented Reality and the Prospects for Applying Its in the Training of Future Engineers. *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education*. Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, Vol 2257. P. 192-197. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-2257/paper18.pdf> (Last accessed : 02.02.2026).
277. Rashevskа N., Tkachuk V. Technological conditions of mobile learning at high school. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. С. 161-164. URL : https://www.researchgate.net/publication/326851756_Technological_conditions_of_mobile_learning_in_high_school (Last accessed : 02.02.2026).
278. Rauschnabel P. A., Felix R., Hinsch C., Shahab H., Alt F. What Is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality. *Computers in Human Behavior*. 2022. Vol. 133. Art. 107289. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107289>
279. Rellia M. The use of augmented reality in teaching geography at primary level.

- European *Journal of Alternative Education Studies*. 2022. Vol. 7. Iss. 1. P. 44-55.
DOI : <https://doi.org/10.46827/ejae.v7i1.4174>
280. Rezai A., Ahmadi R., Ashkani P., Hosseini G. H. Implementing active learning approach to promote motivation, reduce anxiety, and shape positive attitudes: A case study of EFL learners. *Acta Psychologica*. 2025. Vo. 253. Art. 104704. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.104704>
 281. Richards D., Taylor M. A Comparison of learning gains when using a 2D simulation tool versus a 3D virtual world: An experiment to find the right representation involving the Marginal Value Theorem. *Computers & Education*. 2015. Vol. 86. P. 157-171. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.009>
 282. Rizki I. A., Mirsa F. R., Islamiyah A. N., Saputri A. D., Ramadani R., Habibullo M. Ethnoscience-enhanced physics virtual simulation and augmented reality with inquiry learning: Impact on students' creativity and motivation Author links open overlay panel. *Thinking Skills and Creativity*. 2025. Vol. 57. Art. 101846. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.101846>
 283. Roberts C. Implementing Educational Technology in Higher Education: A Strategic Approach. *The Journal of Educators Online*. 2008. Vol. 5. Iss. 1. DOI : <https://doi.org/10.9743/JEO.2008.1.1>
 284. Rodríguez R. M. Implementación process of technology in education: the case of blackboard 9.1 in the university of Manchester. *Actualidades Investigativas en Educación*. 2013. Vol. 13. No 3. URL : https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-47032013000300007 (Last accessed : 30.04.2025).
 285. Rosenblum L. J., Cross R. A. The challenge of virtual reality. *Visualization & Modeling*. 1997. P. 325-399.
 286. Rus B. A., Sita V A Review on Augmented Reality in Education and Geography: State of the Art and Perspectives. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. Iss. 13. Art. 7574. DOI : <https://doi.org/10.3390/app15137574>
 287. Sala N. Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Education: A Brief Overview. In book: *Current and Prospective Applications of Virtual Reality*

- in Higher Education*. 2021. P. 48-73. DOI : <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4960-5.ch003>
288. Sandoval-Henríquez F. J., Badilla-Quintana M. G. How elementary students experience the use of immersive technology. *International Journal of Learning Technology*. 2022. Vol. 17. No 2. P. 115-132. DOI : <http://doi.org/10.1504/IJLT.2022.125076>
 289. Savytska I., Tryfonova O., Feltsan I., Alekseiko V., Ahiy Y. Immersive technologies in the educational space. *Amazonia Investiga*. 2024. Vol. 13. Iss. 75. P. 343-358. DOI : <https://doi.org/10.34069/AI/2024.75.03.29>
 290. Savytska I., Tryfonova O., Feltsan I., Alekseiko V., Ahiy Y. Immersive technologies in the educational space. *Amazonia Investiga*, 2024. Vol. 13. Iss. 75. P. 343-358. DOI : <https://doi.org/10.34069/AI/2024.75.03.29>
 291. Schuster C., Stebner F., Leutner D., Wirth J. Transfer of metacognitive skills in self-regulated learning: an experimental training study. *Metacognition and learning*. 2020 Vol. 15. Iss. 2 P. 455-477. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11409-020-09237-5>
 292. Segovia K. Y., Bailenson J.N. Virtually true: Children's acquisition of false memories in virtual reality. *Media Psychology*. 2009. Vol. 12. Iss. 4. P. 371-393. DOI : <https://doi.org/10.1080/15213260903287267>
 293. Selwyn N. *Education and technology: Key issues and debates*. 3rd ed. London: Bloomsbury Academic, 2021. 221 p.
 294. Selzer M. N., Gazcon N. F., Larrea M. L. Effects of virtual presence and learning outcome using low-end virtual reality systems. *Displays*. 2019. Vol. 59. P. 9-15. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.displa.2019.04.002>
 295. Semerikov S. O. et al. Design methodology for immersive educational resources. *Educational dimension*. 2022. Vol. 58. P 176-199. DOI : <https://doi.org/10.31812/educdim.4716>
 296. Semerikov S. O., Foki M. V., Shepiliev D. S., Mintii M. M., Mintii I. S., Kuzminska O. H. Teaching WebAR development with integrated machine learning: a methodology for immersive and intelligent ed-ucational experiences.

- Educational Dimension*. 2024. T. 10. P. 198-234. DOI : <https://doi.org/10.55056/ed.660>
297. Semerikov S. O., Kiianovska N. M., Rashevskaya N. V. The early history of computer-assisted mathematics instruction for engineering students in the United States: 1965-1989. *Educational Technology Quarterly*, 2021. Vol. 2021. Iss. 3. P. 360-374. DOI : <https://doi.org/10.55056/etq.18>
 298. Serna A. Supporting meaningful and adapted experience to foster motivation and sustained engagement. *Institut National des Sciences Appliquées de Lyon; Université Claude Bernard Lyon 1*, 2024. fftel-04928304. https://hal.science/tel-04928304v1/file/HDR_SERNA.pdf (Last accessed : 30.09.2025).
 299. Serrano-Ausejo E., Marell-Olsson E. Opportunities and challenges of using immersive technologies to support students' spatial ability and 21st-century skills in K-12 education. *Education and Information Technologies*. 2023. Vol. 29. Iss. 5. P. 5571-5597. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11981-5>
 300. Shakibamanesh A. Improving results of urban design research by enhancing advanced semi-experiments in virtual environments. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*. 2015. Vol. 24. No. 2. P. 131-141.
 301. Shevchuk I., Filippova L., Krasnova A., Bazyl O. Virtual pedagogy: scenarios for future learning with VR and AR technologies. *Futurity Education*. 2023. Vol. 3. No 4. P. 95-117. DOI : <https://doi.org/10.57125/FED.2023.12.25.06>
 302. Shippee M., Lubinsky J. Training and learning in virtual reality: Designing for consistent, replicable, and scalable solutions. *The International Conference on Electrical, Computer, and Energy Technologies (ICECET 2021)*, Cape Town, South Africa, 9-10 December 2021. DOI : <https://doi.org/10.1109/ICECET52533.2021.9698487>
 303. Siddiqi M. M. Future of digital education: inclusive, immersive, equitable. *MediaSpace: DME Media Journal of Communication*. 2024. Vol. 5. No 1. P. 8-24. DOI : <https://doi.org/10.53361/dmej.v5i01.02>
 304. Silaiyappan S., Palaniyandi S. Immersive Learning Technology for Teacher Education: A Systematic Literature Review. *Journal of Learning for Development*.

2025. Vol. 12. No 1. P. 56-75. DOI : <https://doi.org/10.56059/jl4d.v12i1.1500>
305. Simonetti M., Perri D., Amato N., Gervasi O. Teaching Math with the Help of Virtual Reality. *International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2020)*. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 12255. Cham: Springer, 2020. P. 799-809. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-030-58820-5_57
306. Skulmowski A. Ethical issues of educational virtual reality. *Computers & Education: X Reality*. 2023. Vol. 2. Art. 100023. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100023>
307. Slater M. A note on presence terminology. *Presence-Connect*. 2003. Vol. 3. No 3. P. 1-5.
308. Slater M., Gonzalez-Liencre C., Haggard P., Vinkers C., Gregory-Clarke R., Jelley S., Watson Z., Graham B., Schwarz R., Steptoe W., Szostak D., Halan Sh., Fox D., Silver J. The ethics of realism in virtual and augmented reality. *Frontiers in Virtual Reality*. 2020. Vol. 1. DOI : <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.00001>
309. Slater M., Sanchez-Vives M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*. 2016. Vol. 3. Art. 74. DOI : <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
310. Smart Nation 2.0: A Thriving Digital Future for All. Singapore: Ministry of Digital Development and Information, 2024. 96 p.
311. Smith C., Watson A., Connell L. Neurological physiotherapy. *Tidy's Physiotherapy (Fifteenth Edition)*. 2013. P. 579-604. DOI : <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4344-4.00026-2>
312. Smithsonian Institution. Painting – Perspective (Alberti) National Museum of American History : вебсайт. URL : <https://americanhistory.si.edu/collections>
313. Smutny P. Learning with virtual reality: a market analysis of educational and training applications. *Interactive Learning Environments*. 2023. Vol. 31. Iss. 10. P. 6133-6146. DOI : <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2028856>
314. Somrak A., Guna J. Pregled naprav, tehnologij in področij uporabe navidezne, izboljšane in mešane resničnosti. *Elektrotehniški vestnik*. 2018. T. 85(1-2). P 54-

61.

315. Song Y., Wu K., Ding J. Developing an immersive game-based learning platform with generative artificial intelligence and virtual reality technologies – «LearningverseVR». *Computers & Education: X Reality*. 2024. Vol. 4. Art. 100069. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100069>
316. Soroko N. Features of organizing steam educational projects using immersive technologies. *Фізико-математична освіта*. 2024. Том 39. № 2. С. 51-59. DOI : <https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i2-07>
317. Soroko N. Using metaverse for steam education. *Імерсивні технології в освіті : IV Міжнародна науково-практична конференція*. 2024. Київ : ІЦО НАПН України. С. 52-54.
318. Southgate E. et al. Embedding immersive virtual reality in classrooms: Ethical, organisational and educational lessons in bridging research and practice. *International Journal of Child-Computer Interaction*. 2019. Vol. 19. P. 19-29. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.10.002>
319. Speicher M., Hall B. D., Nebeling M. What is Mixed Reality? *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings*. 2019. Glasgow, Scotland, UK. ACM, New York, USA. Paper No.537, Pages 1-15. DOI : <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>
320. Stanford University Virtual Human Interaction Lab. *Stanford studies virtual reality kids and the effects of make-believe* : website. <https://vhil.stanford.edu/news/stanford-studies-virtual-reality-kids-and-effects-make-believe-cbs-news> (Last accessed : 05.02.2026).
321. Steed A., Archer D., Izzouzi L., Numan N., Shapiro K., Swapp D., Lammiman D., Lindeman R. Immersive competence and immersive literacy: Exploring how users learn about immersive experiences. *Frontiers in Virtual Reality*. 2023. Vol. 4. Art. 1129242. DOI : <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1129242>
322. Steidtmann L., Kleickmann T., Steffensky M. Declining interest in science in lower secondary school classes: Quasi-experimental and longitudinal evidence on the role of teaching and teaching quality. *JRST*. 2023. Vol. 60. Iss. 1. P. 164-195.

DOI : <https://doi.org/10.1002/tea.21794>

323. Stracke C. M., Bothe P., Adler S., Heller E. S. Immersive virtual reality in higher education: a systematic review of the scientific literature. *Springer Nature*. 2025. Vol. 29. Art. 64. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01136-x>
324. Su Y.-S., Cheng H.-W., Lai C.-F. Study of Virtual Reality Immersive Technology Enhanced Mathematics Geometry Learning. *Frontiers in psychology*. 2022. Vol. 13. P. 760418-760418. DOI : <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.760418>
325. Sung J. S., Huang W. D. Motivational Design for Inclusive Digital Learning Innovation: A Systematic Literature Review. *The Journal of Applied Instructional Design*. 2022. P. 113-129. DOI : <https://doi.org/10.59668/377.8287>
326. Sutherland I. E. A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference*. December 9-11, 1968. Part I. – Washington : Thompson Books, 1968. P. 757-764.
327. Sutherland I. The Ultimate Display. *National Computer Conference*. 1965. IFIPS. P. 506-508.
328. Sviridova E., Yastrebova E., Bakirova G., Rebrina F. Immersive technologies as an innovative tool to increase academic success and motivation in higher education. *Digital Learning Innovations*. 2023. Vol. 8. DOI : <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1192760>
329. Sweller J. Evolution of human cognitive architecture. *The psychology of learning and motivation*. 2003. Vol. 43. P. 215-266.
330. Tene T, Marcatoma Tixi J. A, Palacios Robalino M., Salazar M., Gomez C., Bellucci S. Integrating immersive technologies with STEM education: a systematic review. *Frontiers Education*. 2024. Vol. 9. DOI : <http://doi.org/10.3389/feduc.2024.1410163>
331. Thabrew H., Chubb L., Kumar H., Fouché Ch. Immersive Reality Experience Technology for Reducing Social Isolation and Improving Social Connectedness and Well-being of Children and Young People Who Are Hospitalized: Open Trial. *JMIR Pediatrics and Parenting*. 2022. Vol. 5 No 1. e29164. DOI : <http://doi.org/10.2196/29164>

332. Thangavel S., Sharmila K., Sufina K. Revolutionizing Education Through Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR): Innovations, Challenges and Future Prospects. *Asian journal of interdisciplinary research*. 2025. Vol. 8. Iss. 1. P. 1-28. DOI : <https://doi.org/10.54392/ajir2511>
333. The Epic Story Of Cinéorama, VR Cinema's Ancestor. *VRROOM* : web-resource. 2016-09-09. URL : <https://web.archive.org/web/20171027025052/https://www.vrroom.buzz/vr-news/entertainment/epic-story-cineorama-vr-cinemas-ancestor> (Last accessed : 15.08.2024).
334. The Potential of the Digital Educational Environment to Enhance Distance Education in Ukrainian School / O. Ovcharuk, O. Hrytsenchuk, N. Soroko, O. Kravchyna, M. Leshchenko. *Digital Technologies in Education II: Selected Cases*. Cham : Springer Nature Switzerland, 2026. P. 27-40.
335. The promise of immersive learning: Augmented and Virtual Reality's Potential in Education. Information technology and innovation foundation. Washington, DC, 2021. 27 p. URL : <https://www2.itif.org/2021-ar-vr-education.pdf> (Last accessed : 31.08.2024).
336. Tomić M. K., Aberšek B., Pesek I. GeoGebra as a spatial skills training tool among science, technology engineering and mathematics students. *Computer Applications in Engineering Education*. 2019. Vol. 27. Iss. 6. P. 1506-1517. DOI : <https://doi.org/10.1002/cae.22165>
337. Transforming American Education National Education Technology Plan 2010. U.S. Department of Education Office of Educational Technology Learning Powered by Technology. URL : <https://www.ed.gov/sites/default/files/netp2010.pdf> (Last accessed : 10.10.2024).
338. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. *UNDP*. Electronic Resource. 2018. URL : <https://www.undp.org/ukraine/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development?gclid=Cj0KCQiAuqKqBhDxARIsAFZELmJjSYqNWTkccPmi5wb>

BiXXEkEtAHO8_LaNSdd-AnDi6ZrXq-dJDck4aAsEYEALw_wcB (Last accessed : 10.10.2024).

339. Turan Z., Karabey S. C. The use of immersive technologies in distance education: A systematic review. *Education and Information Technologies*. 2023. Vol. 28. P. 16041-16064. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11849-8>
340. UNESCO ICT Competency Framework for Teachers. (2018). Paris: UNESCO. URL : https://teachertaskforce.org/sites/default/files/2020-07/ict_framework.pdf (Last accessed : 12.10.2024).
341. United States Patent Office. Patented Aug/ 28, 1962. URL : <https://web.archive.org/web/20161008073714/http://www.mortonheilig.com/SensoramaPatent.pdf> (Last accessed : 03.09.2024).
342. Uriarte-Portillo A., Ibáñez M.-B., Zatarain-Cabada R., Barrón-Estrada M.-L. Higher Immersive Profiles Improve Learning Outcomes in Augmented Reality Learning Environments. *Information*. 2022. Vol. 13. Iss 5. Art. 218. DOI : <https://doi.org/10.3390/info13050218>
343. Vaishnavi S., Ajit I. Journeying Beyond Classroom Walls: Investigating the Impact of 360-Degree VR Videos in Fostering Experiential Learning in Tourism Education. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*. 2024. Vol. 23. No. 5. P. 284-308. DOI : <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.5.15>
344. Volpe G., Gori M. Multisensory interactive technologies for primary education: From science to technology. *Frontiers in psychology*. 2019. Vol. 10. Art. 1076. DOI : <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01076>
345. Wei J., Siegel E., Sundaramoorthy P., Gomes A., Zhang S., Vankipuram M., Smathers K., Ghosh S., Horii H., Bailenson J., Ballagas R. Cognitive Load Inference Using Physiological Markers in Virtual Reality. *2025 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. 2025. P. 759-769. DOI : <https://doi.org/10.1109/VR59515.2025.00098>
346. Weibel D., Wissmath B. Immersion in Computer Games: The Role of Spatial Presence and Flow. *International Journal of Computer Games Technology*. 2011.

- Vol. 2011. Iss. 1. Art. 282345. DOI : <https://doi.org/10.1155/2011/282345>
347. Weibel D., Wissmath B., Habegger S., Steiner Y., Groner R. Playing online games against computer- vs. human-controlled opponents: effects on presence, flow, and enjoyment. *Computers in Human Behavior*. 2008. Vol. 24, No. 5, P. 2274-2291.
 348. Welsh J., Harmes J. C., Winkelman R. Florida's technology integration matrix. *Principal Leadership*. 2011. Vol. 12. Iss. 2. P. 69-73.
 349. What Technology Integration Is and Why It Matters. *Heinemann* : blog, July 1, 2020. URL : <https://blog.heinemann.com/what-technology-integration-is-and-why-it-matters> (Last accessed : 15.01.2025).
 350. Whewell E., Caldwell H., Garrett B., Malloch G. Digital Learning Across Boundaries: Immersive technologies supporting change making in an international context. *Education and Learning Innovation Archives*. 2021. No. 27. P. 19-32. DOI : <https://doi.org/10.7203/realia.27.18019>
 351. White Paper: Guidelines for Developing VR and AR Based Education and Training Systems. ISO/IEC JTC 1/VR AR for Education Ad Hoc Group. 2019. URL : https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/developing_standards/who_develops_standards/docs/White_Paper_VRAR.pdf (Last accessed : 12.10.2024).
 352. Whyte A. Blended learning and the 21st century classroom. 2018. URL : <https://evolvetreanment.com/blog/blended-learning-21st-century-classroom/> (Last accessed : 23.11.2024).
 353. Witmer B. G., Singer M. J. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1998. Vol. 7. No 3. P 225-240.
 354. Wohlgenannt I., Simons A., Stieglitz S. Virtual Reality. *Business & Information Systems Engineering*. 2020. Vol. 62. P. 455-461. DOI : <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00658-9>
 355. Woods E., Billinghamurst M., Looser J., Aldridge G., Brown D., Garrie B., Nelles C. Augmenting the science centre and museum experience. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in*

- Australasia and South East Asia (GRAPHITE '04)*. 2004. P. 230-236. DOI : <https://doi.org/10.1145/988834.988873>
356. Wu B., Yu X., Gu X. Effectiveness of immersive virtual reality using headmounted displays on learning performance : A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*. 2020. Vol. 51. Iss. 6. P. 1991-2005. DOI : <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>
357. Wu C. H., Tang Y. M., Tsang Y. P., Chau K. Y. Immersive Learning Design for Technology Education: A Soft Systems Methodology. *Frontiers in Psychology*. 2021. Vol. 12. DOI : <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.745295>
358. Xeferis S., Palaigeorgiou G., Tsorbari A. A Learning Environment for Geography and History Using Mixed Reality, Tangible Interfaces and Educational Robotics. *ICL2018 – 21th International Conference on Interactive Collaborative Learning* 25-28 September 2018, Kos Island, Greece. 2018. P. 1390-1401. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-030-11935-5_11
359. Xing Y., Liang Z., Shell J., Fahy C. Historical Data Trend Analysis in Extended Reality Education Field. *IEEE 7th International Conference on Virtual Reality (ICVR)*. 2021. P 434-440. DOI : <https://doi.org/10.1109/ICVR51878.2021.9483828>
360. XR Classroom for Emotional and Cognitive Learning. *HundrED*. URL : <https://hundred.org/fi/innovations/xr-classroom-for-emotional-and-cognitive-learning> (Last accessed : 17.09.2025).
361. Xu X., Kang J., Yan L. Understanding embodied immersion in technology-enabled embodied learning environments. *Journal of Computer Assisted Learning*. 2022. Vol. 38. Iss 1. P. 103-119. DOI : <https://doi.org/10.1111/jcal.12594>
362. Xu T., Sun S., Kong Q. Spatial Reasoning and Its Contribution to Mathematical Performance Across Different Content Domains: Evidence from Chinese Students. *Journal of Intelligence*. 2025. Vol. 13. Iss. 4. Arct. 41. DOI : <https://doi.org/10.3390/jintelligence13040041>
363. Yang Ch., Zhang J., Hu Y., Yang X., Chen M., Shan M., Li L. The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education:

- a met-analysis. *International Journal of STEM Education*. 2024. Vol. 11. Art. 28. DOI : <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00487-2>
364. Yaseen H., Mohammad A. S., Ashal N., Abusaimh H., Ali A., Sharabati A. The Impact of Adaptive Learning Technologies, Personalized Feedback, and Interactive AI Tools on Student Engagement: The Moderating Role of Digital Literacy. *Sustainability*. 2025. Vol. 17. Iss. 3. Art. 1133. DOI : <https://doi.org/10.3390/su17031133>
 365. Yli-Panula E., Jeronen E., Lemmetty P. Teaching and Learning Methods in Geography Promoting Sustainability. *Education Sciences*. 2019. Vol. 10. Iss. 1. Art. 5. DOI : <https://doi.org/10.3390/educsci10010005>
 366. Young W., Stehle S., Walsh B. Y., Tiri E. Exploring virtual reality in the higher education classroom: Using VR to build knowledge and understanding. *Universal Computer Science*. 2020. Vol. 26. Iss. 8. P. 904-928. DOI : <https://doi.org/10.3897/jucs.2020.049>
 367. Yu N., Shi W., Dong W., Kang R. The Impact of Virtual Reality Immersion on Learning Outcomes: A Comparative Study of Declarative and Procedural Knowledge Acquisition. *Behavioral Sciences*. 2025. Vol. 15. Iss. 10. Art. 1322. DOI : <https://doi.org/10.3390/bs15101322>
 368. Zallio M., Huang, T., Osaki Y., Hong S., Chang X., Liu W., Ohashi T. The Ethics of Immersion: A Scoping Review of VR and AR Technologies. *Accessibility, Assistive Technology and Digital Environments : International Conference*. AHFE International, USA. 2024. Vol. 121. P. 91-101. DOI : <https://doi.org/10.54941/ahfe1004617>
 369. Zhang M-H, Liu Z-Y, Li Y. Can Immersive Virtual Reality-enabled Science Education Improve Student Learning Outcomes Effectively? –A Meta-Analysis Based on 44 Domestic and Foreign Empirical Papers from 2011-2022. *Modern Educational Technology*. 2024. Vol. 34. Iss. 6. P. 71-80. DOI : [10.3969/j.issn.1009-8097.2024.06.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-8097.2024.06.008)
 370. Аналітичні матеріали з питань використання імерсивних технологій у закладах загальної середньої освіти / О. Ю. Буров, С. Г. Литвинова,

- Ю. Г. Носенко, А. С. Сухіх. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 60 с.
371. Ангелов Я. С. Застосування імерсивних технологій у підготовці вчителів у закладах вищої освіти: синергія доповненої, віртуальної та змішаної реальності. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2025. Вип. 76. С. 55-64. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-76-55-64>
 372. Антоненко А. О., Алексєєва Г. М., Смоліна І. С. VR та AR технології в освітньому процесі: практичний аспект. *Proceedings of the International Conference «Recent Advances In Science»* (February 15-16, 2023, Boston, USA). LIU. 2023. С. 12-17.
 373. Антонова О. Є. Педагогічні технології та їх класифікація як наукова проблема. *Сучасні технології в освіті*. 2015. Вип. 2.Ч. 1. С. 8-15.
 374. Антонюк Д. С. Система проєктування і використання цифрових освітніх ресурсів економіко-управлінської підготовки майбутніх магістрів галузі інформаційних технологій : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.10 /Інститут цифровізації освіти НАПН України. К., 2026. 514 с.
 375. Артюшина М. В. Методи і прийоми мотивування і стимулювання навчальної діяльності студентів. *Вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка*. 2013. Вип. 3. С. 25-32.
 376. Барановська О. В. Змішане навчання у початковій школі: нові форми взаємодії : методичні рекомендації. Київ : «Фенікс», 2021. 64 с.
 377. Баценко С. В., Рашевська Н. В. Змішане навчання: теоретичний аналіз поняття та можливості впровадження в процес навчання в закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 216. С. 92-97. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-92-97>
 378. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти : монографія. Київ : Атіка, 2008. 684 с.
 379. Биков В., Рогушина Ю., Кохан О., Євтушок І., Литовченко О. Онтологічний підхід до аналізу цифрових навичок користувачів аналітичних порталів: досвід опитування редакторів УЕЕО. *Науковий вісник Мелітопольського*

- державного педагогічного університету. Серія : Освіта. 2025. № 2 (35). С. 23-34.*
380. Бичко Г., Терещенко В. Навчальні втрати: сутність, причини, наслідки та шляхи подолання. *Український центр оцінювання якості освіти*. 2023. URL : https://testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Learning-losses_Ukraine.pdf (Дата звернення : 02.11.2024).
 381. Богачков Ю. М., Букач А. В., Ухань П. С. Комплексне застосування гугл клас для створення варіативних дистанційних курсів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020. Том 76. № 2. С. 290-303. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v76i2.3338>
 382. Богачков Ю. М., Ухань П. С. Імерсивний синтетичний простір навчання із застосуванням елементів VR. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2023. Том 94. № 2. С. 178-200. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v94i2.5154>.
 383. Боса В. П. Використання імерсивних методів навчання та кейс-методу в професійній підготовці філологів. *Інноваційна педагогіка*. 2020. Вип. 29. Т. 1. С. 43-47. DOI : <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2020/29-1.8>
 384. Ботузова Ю. В. Можливості використання імерсивних технологій у навчанні математики. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 212. С. 14-19. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-212-14-19>
 385. Бохан Ю. В., Форостовська Т. О. Віртуальний лабораторний практикум як засіб вивчення природничих дисциплін. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2021. Вип. 194. С. 74-78. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2021-1-194-74-78>
 386. Бугайчук К. Л. Змішане навчання: теоретичний аналіз та стратегія впровадження в освітній процес вищих навчальних закладів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2016. Т. 54. Вип. 4. С. 1-18.
 387. Вакалюк Т. А. Теоретико-методичні засади проектування і використання хмаро орієнтованого навчального середовища у підготовці бакалаврів інформатики : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.10 / Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України. К., 2019. 614 с.

388. Використання генеративного штучного інтелекту для розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти : аналітичні матеріали / Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Осадча К. П., Пінчук О. П., Рашевська Н. В., Сухіх А. С. / За наук. ред. С. Г. Литвинової, Ю. Г. Носенко. Київ: ІЦО НАПН України, 2026. 100 с.
389. Використання імерсивних технологій вчителями у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти : метод. рек. / С. Г. Литвинова, Ю. Г. Носенко, Н. В. Рашевська, О. В. Слободяник, О. М. Соколюк, Н. В. Сороко, А. С. Сухіх. / за заг. ред. Носенко Ю. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 121 с.
390. Волинець В. О. Віртуальна, доповнена і змішана реальність: сутність понять та специфіка відповідних комп'ютерних систем. *Питання культурології*. 2021. Випуск 37. С. 231-243. DOI : <https://doi.org/10.31866/2410-1311.37.2021.237322>
391. Генсерук Г., Терещук Г., Сисоєв О., Василенко О. Змішане навчання в контексті цифрової трансформації вищої освіти. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Педагогіка*. 2023. Т. 1. № 1. С. 35-45. DOI : <https://doi.org/10.25128/2415-3605.23.1.5>
392. Герасименко Ю. Ефективність педагогічного експерименту в освіті. *Психолого-педагогічні проблеми вищої і середньої освіти в умовах сучасних викликів: теорія і практика : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 20-21 берез. 2024 р. / Харків. нац. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди. Харків, 2024. С. 21-25.*
393. Гнатюк В. В., Упатова І. П., Дехтярьова О. О., Куруц Н. В. Віртуальні лабораторії в біологічній освіті: моделювання експериментальних досліджень. *Академічні візії*. 2023. Вип. 21. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8199004>
394. Гнезділова К. М. Міждисциплінарний підхід до викладання фахових дисциплін як інноваційний тренд в системі підготовки майбутніх

- фармацевті. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: «Педагогічні науки»*. 2023. Вип. 2. С. 19-24. DOI : <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2023-2-19-24>
395. Гойванович Н. К., Войтович Х. О., Коссаk Г. М., Біла М. І. Інтерактивний віртуальний симулятор PhET як освітнє середовище для вивчення математично-природничих наук. *Природнича освіта та наука*. 2024. Вип. 2. С. 5-13. DOI : <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-2.01>
396. Головка М. В. Планування та організація педагогічного експерименту/ *Математика в школі*. 2006. № 3. С. 28-31.
397. Гончаренко С. У. *Український педагогічний словник*. 2011. Рівне, Україна: Волинські береги.
398. Горбаченко В. І., Рашевська Н. В. Змістовий аспект навчання з використанням імерсивних технологій у закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 220. С. 172-177. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-220-172-177>
399. Гордійчук Г. Б., Кирильчук С. М. Використання методів інтерактивного навчання у закладах професійної освіти. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2017. № 48. С. 20-24.
400. Гриб'юк О. О. Імерсивні технології у процесі навчання предметів математичного циклу: становлення нової освітньої парадигми. *Педагогічні науки: теорія та практика*. 2022. № 4. С. 35-45. DOI : <https://doi.org/10.26661/2786-5622-2021-4-05>
401. Гриб'юк О. О. Психофізіологічні підходи щодо проєктування комп'ютерно орієнтованих методичних систем дослідницького навчання учнів з педагогічно виваженим використанням імерсивних технологій. *Габітус. Науковий журнал*. 2022. Вип. 39. С. 95-103. DOI : <https://doi.org/10.32843/2663-5208.2022.39.17>
402. Гунько І. В., Волошина О. В. Застосування кейс-методу в процесі викладання іноземної мови в умовах навчально-науково-виробничого

- комплексу «Всеукраїнський науково-навчальний консорціум». *Інноваційна педагогіка*. 2021. Вип. 32. Т. 2. С. 75-79. URL : <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2021/32-2.15>
403. Давидюк М. О., Пащенко О. М. Імерсивне освітнє середовище: принципи побудови і практики успішної реалізації. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2021. Вип. 59. С. 98-105. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-59-98-105>
404. Дениско О. В., Семеновська Л. А. Генеза та сучасний зміст поняття змішаного навчання в зарубіжній педагогічній теорії і практиці. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. Том 65. №3. С. 1-11.
405. Державний стандарт базової середньої освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 30 вересня 2020 р. № 898. *Офіційний вісник України*. 2020. № 81. ст. 2615
406. Державний стандарт профільної середньої освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 25 липня 2024 р. № 851.
407. Деркач Т. М. Основні принципи ефективного навчання із застосуванням мультимедійних засобів. *Креативна освіта як умова розвитку творчої особистості* : зб. наук. пр. за матер. Всеукр. наук.-метод. конф. «Креативна освіта як умова розвитку творчої особистості». 2011. Дніпро : Інновація, 2012. Вип. 1. Ч. 1. С. 95-101.
408. Дичка Н. І., Павленко О. В. Таксономія Б. Блума в навчанні англійської мови професійного спрямування в ХХІ столітті. *Молодий вчений*. 2017. № 12. С. 370-373.
409. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології : навчальний посібник. Київ, Академвидав, 2004. 460 с.
410. Дослідження якості організації освітнього процесу в умовах війни. – URL : <https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/yakist-osvity-v-umovah-viyny-web-3.pdf> (Дата звернення : 18.08.2024).
411. Дробін А. А. Класифікація цифрових освітніх ресурсів як засіб уточнення їх

- практичного цільового призначення. *Наукові записки. Серія : Педагогічні науки*. 2021. Вип. 201. С. 77-81. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2021-1-201-77-81>
412. Дротянко Л. Г. Філософія наукового пізнання : підручник. Київ : «НАУ-друк», 2010. 224 с.
413. Енциклопедія освіти. Гол. редактор Кремень В. Г. Київ: Юрінком Інтер, 2021. 1144 с.
414. Енциклопедія сучасної України. *Веб-ресурс*. URL : <https://esu.com.ua/article-12384> (Дата звернення : 28.09.2024)
415. Закон України «Про освіту» №2145-VIII від 05.09.2017. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (Дата звернення : 24.07.2024).
416. Засекіна Т. М. Інтеграція в шкільній природничій освіті: теорія і практика : монографія. Київ: Педагогічна думка, 2020. 400 с.
417. Зміни, що вносяться до Положення про ліцей. Постанова Кабінету міністрів України № 498 від 22.04.2026. URL : <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/uploads/public/69e/9f8/cc3/69e9f8cc371b1932891473.pdf> (Дата звернення: 26.04.2026).
418. Ількевич Н. С. Використання віртуальних лабораторій під час вивчення біохімії студентами природничого факультету. *Information Technologies in Education*. 2021. № 3 (48). С. 15-32. DOI : <https://doi.org/10.14308/ite000746>
419. Імерсивні технології в освітньому процесі. Бібліографічний показник праць науковців інституту цифровізації освіти НАПН України / С. Г. Литвинова, Ю. Г. Носенко, Н. В. Рашевська, О. М. Соколюк, О. В. Слободяник, А. С. Сухих / за наук. ред. Ю. Г. Носенко. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 60 с.
420. Імерсивні технології для підтримки змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти : метод. посіб. / за заг. ред. Носенко Ю. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2025. 174 с.
421. Інноваційні технології навчання : навч. посібн. для студ. вищих технічних

- навчальних закладів / Бахтіярова Х. Ш. та ін.; за ред. Арістова А. В., Київ : НТУ, 2017. 172 с.
422. Інноваційні технології навчання в умовах модернізації сучасної освіти : монографія / за наук. ред. д. пед. н., проф. Л. З. Ребухи. Тернопіль : ЗУНУ, 2022. 143 с.
423. Калита Н. Організаційні форми навчання: історія та сучасність. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2014. Вип. 10. С. 229-234.
424. Керницька Л. Використання цифрових технологій в освітньому середовищі. *Професійна діяльність учителя в умовах цифрової трансформації освіти* : зб. наук. та наук.-метод. пр. Хмельницький: Видавництво ХОІППО, 2022. С. 41-43.
425. Кисельова О. Б., Кобзар Е. К. ThingLink як ефективний засіб створення інтерактивних плакатів. *Сучасні цифрові технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи* : матеріали IX Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Тернопіль, 28 квітня, 2022). Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2022. С. 106-108.
426. Кіяновська Н. М., Рашевська Н. В., Семеріков С. О. Етапи розвитку теорії і методики використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні вищої математики студентів інженерних спеціальностей у Сполучених Штатах Америки. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2014. Том 43. № 5. С. 68-73.
427. Княжева І. А. Педагогіка: навч. посібник для здобувачів освіти першого освітнього рівня (бакалавр) спец-ті 014.021 Середня освіта (Англійська мова та література). Одеса, Університет Ушинського, 2023. 110 с.
428. Коваль Т. І., Кочубей Н. П. Інтерактивні технології навчання іноземних мов. *Наукові записки НДУ ім. М. Гоголя. Психолого-педагогічні науки*. 2011. № 7. С. 160-163.
429. Копотій В. В. Розвиток мислення учнів на уроках інформатики. *Комп'ютер у школі та сім'ї*. 2006. № 5. С. 8-11.
430. Корисні поради та підказки щодо сервісу Google Arts and Culture. *Бренди*

- Acer* : вебсайт. URL : <https://blog.acer.com/ua/discussion/2142/korisni-poradi-ta-pidkazki-schodo-servisu-google-arts-and-culture> (Дата звернення: 31.03.2025 р.).
431. Корнелюк В. О., Лейбик Л. І., Нарихнюк Н. Ю. Подолання освітніх втрат в математичній та природничій освітніх галузях. *Академічні студії. Серія «Педагогіка»*. № 3. С. 18-24. DOI : <https://doi.org/10.52726/as.pedagogy/2025.3.3>
432. Кравченко С. М. Віртуальні школи як інноваційний тренд технологізації освіти і навчання у США. *Актуальні питання теорії та практики в галузі права, освіти, соціальних та поведінкових наук* : Міжнародна науково-практична конференція. 2021. С. 96-100.
433. Кравчина О. Є. Використання імерсивних технологій для моніторингу цифрового середовища школи. *Імерсивні технології в освіті : збірник матеріалів V Міжнар. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 29 квітня 2025 р. / за заг. ред. Носенко Ю. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 80-83.
434. Кремень В. Г. Філософія людиноцентризму в системі сучасних цінностей : Доповідь на церемонії присвоєння титулу доктора Honoris Causa в Академії спеціальної педагогіки імені Марії Гжегожевської. *Вісник Національної академії педагогічних наук України*. 2023. Т. 5. № 1. С. 1-6. DOI : <https://doi.org/10.37472/v.naes.2023.5126>
435. Круглик В. Інтеграція технологій доповненої та віртуальної реальності з адаптивними системами навчання: аналіз концептуальних моделей. *Освітологічний дискурс*. 2023. № 4(43). С. 69-82. DOI : <https://doi.org/10.28925/2312-5829.2023.44>
436. Кундеревич О. В., Кириленко К. М. , Бенюк О. Б. Імерсивність як мистецька стратегія початку ХХІ століття (аналіз театрального досвіду та його філософських підвалин). *Вісник КНУКіМ. Серія: Мистецтвознавство*. 2021. № 45. С. 174-182. DOI : <https://doi.org/10.31866/2410-1176.45.2021.247390>
437. Лаврентьєва Г. П., Шишкіна М. П. Методичні рекомендації з організації та проведення науково-педагогічного експерименту. – Київ: ІТЗН, 2007. – 74 с.

438. Лебедик Л. В., Стрельніков В. Ю., Стрельніков М. В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін : Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти. Полтава : АСМІ, 2020. 303 с.
439. Лещенко Т. О., Жовнір М. М., Юфименко В. Г. Імерсивні технології в мовній освіті: від теорії до практичного впровадження. *Теорія та методика навчання: Інноваційна педагогіка*. 2022. Вип. 54. Том 2. С. 13-17. DOI : <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2022/54.2.2>
440. Литвин А. В. Методологічні засади поняття «педагогічні умови» : практ. посібник. 3-є вид. доп. Львів : ЛДУБЖД, 2022. 90 с.
441. Литвинова С. Г. 3D-контент в освітній практиці вчителя закладу загальної середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. серія: «Педагогіка. соціальна робота»*. 2024. Вип. 1(54). С. 97-105. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2024.54.97-10>
442. Литвинова С. Г. Використання засобів і сервісів хмаро орієнтованих систем у процесі навчання і професійного розвитку вчителів: аспект доповненої реальності. *Науковий вісник Ужгородського університету : збірник наукових праць; серія: Педагогіка. Соціальна робота*. 2021. Вип. 2 (49). С. 97-102. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2021.49.97-102>
443. Литвинова С. Г. Використання контенту платформи AR Book для реалізації імерсивного змішаного навчання. *Імерсивні технології в освіті : IV Міжнародна науково-практична конференція*. 2024. С. 119-123.
444. Литвинова С. Г. Етапи проєктування імерсивного навчання. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2023. № 69. С. 55-61. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-69-55-61>.
445. Литвинова С. Г. Імерсивне середовище навчання: порівняльний аналіз. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2023. Вип. 2(53). С. 76-82. DOI :

<https://doi.org/10.24144/2524-0609.2023.53.76-82>

446. Литвинова С. Г. Методичні аспекти використання 360-градусного відео в умовах змішаного навчання. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 213. С. 279-286. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-213-279-286>
447. Литвинова С. Г. та ін. Проєктування освітнього середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальностей в закладах загальної середньої освіти: колективна монографія / за наук. ред. Литвинової С. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2023. 219 с.
448. Литвинова С. Г. Теоретико-методичні основи проєктування хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу: дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.10 / Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України. К., 2016. 602 с.
449. Литвинова С. Г. Технологія використання імерсивних технологій для формування емоційного інтелекту учнів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Том 107. No 3. С. 135-152. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v106i2.6021>
450. Литвинова С. Г., Буров О. Ю., Семеріков С. О. Концептуальні підходи до використання засобів доповненої реальності в освітньому процесі. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2021. Вип. 55. С. 46-62. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-55-46-62>
451. Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Осадча К. П., Пінчук О. П., Рашевська Н. В., Сухіх А. С. Перспективи та етичні виклики використання генеративного штучного інтелекту для розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти. *Освітня аналітика України*. 2026. № 1 (38). С. 5-21. DOI : <https://doi.org/10.32987/2617-8532-2026-1-89-105>
452. Литвинова С. Г., Соколюк О. М. Критерії та показники оцінювання якості освітніх об'єктів доповненої реальності в підручниках фізики. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2022. Том 88. No 2. С. 23-37. DOI :

<https://doi.org/10.33407/itlt.v88i2.4870>

453. Литвинова С. Г., Сороко Н. В. Готовність учнів гімназій до використання доповненої реальності в освітньому процесі. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*, 2022. Вип. 1(50). С. 158-164. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2022.50.158-164>
454. Литвинова С., Носенко Ю., Осадча К., Пінчук О., Рашевська Н., Сухіх А. Концептуальна модель інтеграції генеративного штучного інтелекту у процес розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти. *Фізико-математична освіта*. 2025. Т. 40. № 5. С. 44-52. DOI : <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i5-06>.
455. Литвинова С., Рашевська Н. Кейси практичного використання імерсивних технологій : рекомендації для вчителів. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2025. № 77. С. 124-141. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-77-124-141>
456. Лосева Н. М., Брусило З. О. Педагогічні технології. Їх застосування до навчання математики: курс лекцій (для магістрів напрямку «Освіта») Донецьк: ДонНУ, 2012. 164 с.
457. Ляшенко О. І. Профільна середня освіта для Нової української школи. *Вісник НАПН України*. 2024. Вип. 6(1). С. 1-5. DOI : <https://doi.org/10.37472/v.naes.2024.6105>
458. Майнаєв Ф. Я. Застосування навчальної платформи Nearpod на семінарських заняттях. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова*. 2018. Вип. 62. С. 130-133.
459. Малихін О., Арістова Н, Рогова В. Мінімізація освітніх втрат учнів закладів загальної середньої освіти в умовах воєнного стану: змішане навчання. *Український педагогічний журнал*. 2022. № 3. С. 68-76.
460. Мар'єнко М. В. Проектування хмаро орієнтованої методичної системи підвищення кваліфікації вчителів природничо-математичних предметів для

- роботи в науковому ліцеї: дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.10 / Інститут цифровізації освіти НАПН України. К., 2022. 546 с.
461. Мартинець Л. А. *Сучасні моделі освіти: навч.-метод. посібник*. Донецьк, 2015. 102 с.
 462. Мацокін Д. В., Пахомова І. М. Платформи й мобільні додатки для створення та використання контенту із технологією доповненої реальності в освітньому процесі. *Проблеми сучасної освіти*. 2020. Вип. 11. С. 153-160.
 463. Мізюк В. А. Змішане навчання як інноваційний підхід інтеграції навчального процесу у закладах освіти. *Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Педагогічні науки*. 2019. № 3. С. 172-177.
 464. Москаленко О. М., Федяй І. О., Бакуменко Т. К., Косенюк Г. В. Використання Google інструментів для освітнього процесу: Google Classroom як інноваційне рішення для дистанційного навчання. *Академічні візії*. 2023. Вип. 19. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7895993>
 465. Мультимедійні технології та засоби навчання : навчальний посібник / за ред. академіка НАПН України Гуржія А. М. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2017. 556 с.
 466. Мусійовська О. Ф. Проблеми впровадження комбінованого навчання у вищій школі України. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2008. № 3(7).
 467. Навчайтеся разом з Google Arts & Culture. *Офіційний Блог – Google Україна* : вебсайт. URL : <https://ukraine.googleblog.com/2021/02/google-arts-culture.html> (Дата звернення 31.03.2025 р.).
 468. Назаркевич Є. П. Передумови виникнення стереоскопії та стереоскопічного живопису. *Вісник КНУКіМ. Серія : Мистецтвознавство*. 2014. № 31. С. 84-91. DOI : <https://doi.org/10.31866/2410-1176.31.2014.158897>
 469. Науково-методичне забезпечення цифровізації освіти України: стан, проблеми, перспективи. Науково-аналітична доповідь / за ред. В. Г. Кременя. Київ : ІЦО НАПН України, 2022. 96 с.
 470. Неперервна професійна освіта: філософія, педагогічні парадигми, прогноз :

- монографія; за редакцією В. Г. Кременя ; АПН України ; Інститут педагогіки і психології професійної освіти. К. : Наукова думка, 2003. 854 с.
471. Нищак І. Д. Структурно-функціональна модель методичної системи навчання інженерно-графічних дисциплін майбутніх учителів технологій. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка*. 2016. № 2. С. 108-114.
 472. Нікітіна Л. О., Дженюк Н. В. Імерсивне навчання студентів у галузі телекомунікацій. *Control, Navigation and Communication Systems*. 2023. № 4. С. 160-166. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.4.160>.
 473. Нова українська школа : концептуальні засади реформування середньої школи / М-во освіти і науки України. Київ, 2016. 40 с.
 474. Носенко Ю. Г. Адаптивні системи навчання: сутність, характеристика, стан використання у вітчизняних закладах педагогічної освіти. *Фізико-математична освіта*. 2018. Вип. 3(17). С. 73-78.
 475. Носенко Ю. Г. Імерсивні технології в традиційному та у змішаному навчанні в закладах загальної середньої освіти: порівняльний аспект. *Фізико-математична освіта*. 2024. Том 39. № 5. С. 34-40. DOI : <https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-05>
 476. Носенко Ю. Г. Імерсивні технології для підтримки змішаного навчання у вітчизняних закладах загальної середньої освіти. *Нова педагогічна думка*. 2024. Том. 120. № 4. С. 32-38. DOI : <https://doi.org/10.37026/2520-6427-2024-120-4-32-38>
 477. Носенко Ю. Г. Класифікація імерсивних технологій і сервісів для освітнього процесу. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 216. С. 237-242. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-237-242>
 478. Овчарук О. Інструменти ефективної комунікації учнів та вчителів у цифровому освітньому середовищі: результати онлайн-дослідження. *Нові технології навчання*. 2024. № 98. С. 148-56. DOI : <https://doi.org/10.52256/2710-3560.98.2024.98.18>
 479. Омельчук О. В., Гарматюк Р. Т., Шабага С. Б. Імерсивні технології в умовах

- профільної середньої освіти технологічної освітньої галузі. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2024. Випуск 11. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.13932653>
480. Освітні втрати учнів в Україні та світі зросли: результати міжнародного дослідження якості освіти PISA-2022. *Служба освітнього омбудсмена* : офіц. вебсайт. 2023. 5 груд. URL: <https://eo.gov.ua/osvitni-vtraty-uchniv-v-ukraini-ta-sviti-zrosly-rezultaty-mizhnarodnoho-doslidzhennia-iakosti-osvity-pisa-2022/2023/12/05/> (Дата звернення: 28.05.2026).
481. Очне навчання в Україні повертається попри війну: скільки шкіл працюють онлайн та офлайн. *PG* : вебсайт. Публікація від 09.06.2025. URL : <https://thepage.ua/ua/news/ochne-navchannya-v-ukrayini-povertayetsya-kilkist-onlajn-ta-oflajn-shkil-u-2024> (Дата звернення: 25.07.2025).
482. Паламарчук В. Ф., Барановська О. В. Педагогічні технології навчання в умовах нової української школи: вектор розвитку. *Український педагогічний журнал*. 2018. № 3. С. 60-66. DOI : <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2018-3-60-66>
483. Пащенко Т. М. Психолого-педагогічні умови застосування кейс-технологій у професійному навчанні кваліфікованих робітників. *Теорія і методика професійної освіти: Електронне наукове видання*. 2015. Вип. (7). URL : <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/10483/1/%D0%9F%D0%9F%D0%A3%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F.pdf> (Дата звернення: 15.05.2025).
484. Педагогічний експеримент : навч.-метод. посіб. / укладач О. Е. Жосан. Кіровоград : Видавництво КОІППО імені Василя Сухомлинського, 2008. 72 с.
485. Підсумки навчального року та плани на 2025/26. *МОН України*. 02.06.2025. URL : <http://www.youtube.com/watch?v=kpINlbe8gLA> (Дата звернення: 25.07.2025).
486. Пінчук О. П., Литвинова С. Г., Буров О. Ю. Синтетичне навчальне середовище – крок до нової освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2017. Том 60. No 4. С. 28-45.

487. Подліняєва О. О. Особливості використання сучасних медіа в освіті: віртуальна екскурсія. *Фізико-математична освіта : науковий журнал*. 2016. Випуск 4(10). С. 100-104.
488. Положення про ліцей : постанова Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2021 р. № 1062. *Верховна Рада України*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1062-2021-%D0%BF#Text> (Дата звернення: 28.08.2024).
489. Пометун О., Гупан Н. Таксономія Б. Блума і розвиток критичного мислення школярів на уроках історії. *Український педагогічний журнал*. 2019. № 3. С. 50-58. DOI : <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2019-3-50-58>
490. Про внесення змін до Положення про електронні освітні ресурси. Наказ № 749 МОН України від 29.05 2019. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0666-19#Text> (Дата звернення: 23.05.2025)
491. Про повну загальну середню освіту : Закон України редакція від 24.03.2024, підстава – 3482-IX. *Верхова рада України*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/463-20#Text> (Дата звернення: 28.08.2024).
492. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Розпорядження № 960-р від 5 серпня 2020 р. *Кабінет Міністрів України*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text> (Дата звернення: 30.08.2024).
493. Просіна О. Варіативні моделі професійного розвитку керівників закладів позашкільної освіти в умовах відкритої освіти. *Джерело педагогічних інновацій. Освітні інновації в позашкільній освіті: сучасний погляд, практика та перспективи впровадження*. 2022. Вип. № 1(37). С. 42-52.
494. Професійний стандарт за професіями «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти», «Вчитель закладу загальної середньої освіти», «Вчитель з початкової освіти (з дипломом молодшого спеціаліста)» : затв. наказом М-ва розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 23.12.2020 р. № 2736-20. URL :

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v2736915-20#Text> (Дата звернення: 30.08.2024).

495. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Аналіз використання мобільних інформаційно-комунікаційних технологій навчання учнями у процесі підготовки до ЗНО. *Новітні комп'ютерні технології*. Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2016. Том XIV. С. 79-80.
496. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Аналіз Інтернет-месенджерів, що можуть бути корисними у процесі навчання учнів старшої школи. *Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2016)* (Черкаси, 12-14 травня 2016 р.). Черкаси : ЧДТУ, 2016. С. 208-209.
497. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Конструкторська діяльність на уроках геометрії. *Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 09-10 квітня 2020 р.). Харків : ХНАДУ, 2020. С. 190-195.
498. Рашевська Н. Використання засобів доповненої реальності у процесі вивчення планіметрії в закладах середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2020. Вип. 2 (47). С. 147-150. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2020.47.147-150>
499. Рашевська Н. Моделі імерсивного середовища навчання. *Фізико-математична освіта*. 2026. Том 41. № 1. С. 26-31. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i1-04>.
500. Рашевська Н. В. Аналіз деяких систем та застосунків в моделі змішаного навчання в закладах середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2024. Вип. 1 (54). С. 167-172. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2024.54.167-172>.

501. Рашевська Н. В. Використання систем штучного інтелекту як засобу підтримки навчання стереометрії в академічному ліцеї. *Штучний інтелект у науці та освіті (AISE 2026) : збірник матеріалів III Міжнародної наукової конференції* (Київ, 7 квітня 2026 р.) / упорядники: Яцишин Анна, Яцишин Андрій. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 262-264.
502. Рашевська Н. В. Динаміка освітнього процесу в Україні в умовах пандемії та повномасштабного вторгнення. *Сучасний освітній простір – досвід, пошук, результат: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції* (Суми, 27 серпня 2025 р.) / упоряд., заг.ред. О. Семеног, М. Бойченко. Суми : Вид-во СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2025. С. 15-19.
503. Рашевська Н. В. Етичні та безпекові застосування імерсивних технологій у процесі навчання в закладах загальної середньої освіти. *Імерсивні технології в освіті : V Міжнародна науково-практична конференція* (Київ, 29 квітня 2025 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 141-147.
504. Рашевська Н. В. Застосунки доповненої реальності у навчанні математики учнів закладів загальної середньої освіти. *XX Міжнародна наукова конференція імені академіка Михайла Кравчука* (Київ, 17-20 листопада 2025 р.). Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2025. С. 248-249.
505. Рашевська Н. В. Застосунок Geometria RA як засіб візуалізації геометричних тіл на уроках геометрії. *Сучасні інформаційні технології в освіті і науці : збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції* (Умань, 16-17 листопада 2023 р.). Умань : УДПУ ім. П. Тичини, 2023. С. 117-119.
506. Рашевська Н. В. Застосунок RA AUGMENTED POLYHEDRONS для візуалізації геометричних тіл в курсі геометрії 11 класу. *Теорія і практика використання інформаційних технологій в умовах цифрової трансформації освіти: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції* (Київ, 19-20 червня 2024 р.) / упорядник: Твердохліб І. А. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. С. 61-64.
507. Рашевська Н. В. Імерсивна компетентність та імерсивна грамотність

- учасників процесу навчання закладів загальної середньої освіти. *Цифрова компетентність вчителя 2025: формуючи майбутнє освіти : збірник матеріалів II міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 18 березня 2025 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 147-150.
508. Рашевська Н. В. Імерсивне навчання як педагогічна проблема. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 217. С. 168-174. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-217-168-174>
509. Рашевська Н. В. Імерсивне середовище навчання як педагогічний феномен у старшій профільній школі. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2026. Вип. 222. С. 391-395. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2026-1-222-391-395>
510. Рашевська Н. В. Імерсивні освітні ресурси. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2026. Вип. 1 (58). С. 211-215. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2026.58.211-215>.
511. Рашевська Н. В. Імерсивні технології навчання природничих дисциплін учнів старших класів закладів середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 213. С. 223-228. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-213-222-228>
512. Рашевська Н. В. Імерсивні технології як чинник трансформації методичної системи навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях. *Міжнародна науково-практична конференції «Сучасні трансформації педагогічної освіти: проблеми теорії і практики»* (Запоріжжя, 29-30 січня 2026 р.) / за заг. ред. М. І. Воровки. Запоріжжя : ФОП Однорог, 2026. С. 480-483.
513. Рашевська Н. В. Інноваційно-трансформативний підхід імерсивного навчання. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2025. Вип. 1 (56). С. 192-196. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2025.56.192-196>
514. Рашевська Н. В. Інструктивно-діяльнісна модель організації навчання в імерсивному середовищі закладів загальної середньої освіти. *Звітна наукова*

- конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів (Київ, 25 лютого 2026 р.). / упоряд.: О. П. Пінчук, Н. В. Вознюк. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 168-170.
515. Рашевська Н. В. Компоненти математичного імерсивного середовища навчання учня старших класів закладів загальної середньої освіти. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 27 лютого 2025 р.). / упоряд.: О. П. Пінчук, Н. В. Яськова. Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 142-145.
516. Рашевська Н. В. Компонентна структура методичної системи використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних дисциплін учнів академічних ліцеїв. *Актуальні проблеми математики, економіки та менеджменту : Всеукраїнська науково-практична конференція* (Кропивницький, 16-17 квітня 2026 р.). Кропивницький : РВВ ЦДУ ім. В. Винниченка, 2026. С. 169-172.
517. Рашевська Н. В. Мобільні інформаційно-комунікаційні технології навчання вищої математики студентів вищих технічних навчальних закладів : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.10. ІТЗН. К., 2011. 305 с.
518. Рашевська Н. В. Модель формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики. *Науковий вісник Ужгородського національного університету: Серія «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2017. Вип. 1 (40). С. 237-240.
519. Рашевська Н. В. Перспективи застосування засобів доповненої реальності у процесі навчання майбутніх інженерів. *Науковий вісник Ужгородського національного університету: Серія «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2018. Вип. 2(43). С. 226-229.
520. Рашевська Н. В. Побудова персонального навчального середовища учня у процесі підготовки його до ЗНО з математики. *Розвиток промисловості та суспільства : матеріали міжнародної науково-технічної конференції*

- (Кривий Ріг, 22-25 травня 2019 р.). Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2019. С. 345-347.
521. Рашевська Н. В. Психолого-педагогічні умови імерсивного середовища навчання. *Наукові записки*. 2025. Вип. 161. С. 134-141. DOI : <https://doi.org/10.31392/NZ-udu-161.2025.15>
 522. Рашевська Н. В. Розвиток хмарних технологій у процесі навчання математичних дисциплін як наукова проблема. *Новітні комп'ютерні технології*. 2014. Том XII : спецвипуск «Хмарні технології в освіті». С. 278-285.
 523. Рашевська Н. В. Теоретичні аспекти інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних дисциплін в академічних ліцєях. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 219. С. 400-405. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-219-400-405>
 524. Рашевська Н. В. Трансформація методів навчання природничо-математичних предметів в умовах цифрового середовища. *Цифрова компетентність вчителя 2026: стратегії навчання зі штучним інтелектом: збірник матеріалів III Міжнародної наукової конференції* (Київ, 31 березня 2026 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 222-225.
 525. Рашевська Н. В. Формування деяких компетентностей учнів закладів середньої освіти у процесі навчання математики. *Інформаційні технології в освіті та науці : збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції* (Мелітополь-Запоріжжя, 25-26 травня 2023 р.). Вип. 13. Мелітополь-Запоріжжя : ФОП Однорог Т. В., 2023. С. 85-87.
 526. Рашевська Н. В. Формування деяких компетентностей учнів старшої школи в моделі змішаного навчання. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 23 лютого 2024 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2024. С. 134-139.
 527. Рашевська Н. В. Формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики в суспільно-гуманітарних класах. *Наукова діяльність як*

- шлях формування професійних компетентностей майбутнього фахівця (НПК-2016) : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (Суми, 1-2 грудня 2016 р.). Суми : ФОП Цьома С. П., 2016. Ч. 2. С. 23-26.
528. Рашевська Н. В. Формування мовлення учнів старшої школи на уроках математики. *Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти : збірник тез III регіональної науково-методичної інтернет-конференції* (Кривий Ріг, 30 листопада 2023 р.). Кривий Ріг : ВСП «КРФК НАУ», 2023. С. 3-4.
529. Рашевська Н. В. Функціонально-мотиваційна модель імерсивного навчання. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2025. Вип. 2 (57). С. 156-160. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2025.57.156-160>
530. Рашевська Н. В., Бугайов Б. С. Вплив позакласного часу на учнів під час навчання математики в закладах середньої освіти. *Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 08-09 квітня 2021 р.). Харків : ХНАДУ, 2021. С. 115-118.
531. Рашевська Н. В., Бугайов Б. С. Організація навчання математики учнів загальноосвітніх навчальних закладів в умовах карантину. *Наукові записки молодих учених*. 2020. № 6. URL : <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1750>
532. Рашевська Н. В., Бузинарський К. Є. Використання онлайн-сервісу TINKERCAD у процесі вивчення стереометрії учнями старших класів закладів загальної середньої освіти. *Фундаментальні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів ЗВО і молодих учених: творчий розвиток ідей : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків,

- 06-07 квітня 2023 р.). Харків : ХНАДУ, 2023. С. 30-34.
533. Рашевська Н. В., Земляна Т. Ю. Використання системи ONLINE TEST PAD в процесі навчання математики. *Авіація, промисловість, суспільство : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Кременчук, 18 травня 2023 р.). Харків : ХНУВС, 2023. С. 329-331.
 534. Рашевська Н. В., Земляна Т. Ю. Використання системи тестування Kahoot в процесі навчання математики учнів старшої школи. *Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти : збірник тез II регіональної науково-методичної інтернет-конференції* (Кривий Ріг, 24 листопада 2022 р.). Кривий Ріг : ВСП «КРФК НАУ», 2022. С. 3-4.
 535. Рашевська Н. В., Кіяновська Н. М. Застосування навчальних середовищ для підтримки процесу навчання вищої математики: досвід США. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології : науковий журнал*. 2013. № 2 (28). С. 295-304.
 536. Рашевська Н. В., Корсун А. О. Використання мобільних інформаційно-комунікаційних технологій навчання математики під час дистанційного навчання в закладах середньої освіти. *Наукові записки молодих учених*. 2021. № 8. URL : <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1875>
 537. Рашевська Н. В., Литвинова С. Г. Процедурна модель здобуття знань учнями старшої школи в імерсивному середовищі навчання. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Т. 109. No 5. С. 49-68. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v109i5.6157>
 538. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Інформаційно-комунікаційні технології підтримки процесу навчання математики. *Теорія та методика електронного навчання : збірник наукових праць*. 2013. Вип. IV. С. 248-253.
 539. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Модель формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики засобами ІКТ. *Новітні комп'ютерні технології*. Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2017. Том XV. С. 52-56.

540. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Персональне навчальне середовище учня ліцею профільного рівня як складова моделі змішаного навчання. *Вісник Черкаського університету. Серія педагогічні науки*. 2016. Вип. 7. С. 16-23.
541. Рашевська Н. В., Семеріков С. О. Моделі змішаного навчання. *Новітні комп'ютерні технології*. 2013. Випуск XI. С. 103-104.
542. Рашевська Н. В., Ткачук В. В. Технології мобільного навчання. *Педагогіка вищої та середньої школи : Збірник наукових праць*. 2012. Вип. 35. С. 295-300.
543. Рашевська Н. В., Цимбал С. В. Використання систем комп'ютерної математики MathPiper у процесі вивчення геометрії. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : збірник наукових праць*. 2012. Вип. X. Т. 1 : Теорія та методика навчання математики. С. 212-217.
544. Реформа профільної освіти. Концептуальні засади. Міністерство освіти і науки. 2024. Наказ № 1451 від 10.10.2024.
545. Сальник І. В. Інтеграція реального та віртуального навчального фізичного експерименту в старшій школі : автор. дис...доктора педагогічних наук. 2016. 42 с.
546. Сальник І., Фоменко О. Імерсивні технології в умовах дистанційного та змішаного навчання. *Фізика та освітні технології*. 2023. Вип. 2. С. 36-44. DOI : <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-5>
547. Семеріков С. О. Теоретико-методичні основи фундаменталізації навчання інформатичних дисциплін у вищих навчальних закладах : дис. д-ра пед. наук : 13.00.02 / Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. К., 2009. 536 с.
548. Сипченко О. М. VR/AR технології у вищій освіті. *Імерсивні технології в освіті: матеріали І науково-практичної конференції* / уп. : Н. Сороко, О. Пінчук, С. Литвинова. Київ: ІТЗН НАПН України, 2021. С. 137-140.
549. Сисоєва С. О. Інтерактивні технології навчання дорослих: навчально-методичний посібник. Ктїв: ВД «ЕКМО», 2011. 324 с.
550. Скрипка Г. В. Впровадження технології віртуальної реальності в умовах дистанційного та змішаного навчання сучасної школи. *Наукові записки*.

- Серія: Педагогічні науки.* 2023. Вип. 211. С. 201-208. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2023-1-211-201-208>
551. Сняла Ю. Застосування цифрових інструментів у навчанні хімії. *Освіта. Інновації. Практика.* 2023. Том 11. № 4. С. 55-64. DOI : <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol11i4-008>
552. Соколюк О. М. Вплив VR/AR на технології навчання й освітянські практики. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми.* 2021. Вип. 60. С. 108-116. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-60-108-116>
553. Соколюк О. М. Імерсивність в сучасних освітніх середовищах. *Імерсивні технології в освіті: матеріали I науково-практичної конференції / уп.: Н. Сороко, О. Пінчук, С. Литвинова.* Київ: ІТЗН НАПН України, 2021. С. 143-148.
554. Соколюк О. М. Інформаційно-освітнє середовище навчання в умовах трансформації освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* 2016. Вип. 12(III). С. 48-55.
555. Соколюк О. М. Реалізація засобів імерсивних технологій в освітньому процесі. *Імерсивні технології в освіті: збірник матеріалів IV Науково-практичної конференції з міжнародною участю, ІЦО НАПН України, м. Київ, Україна.* 2024. С. 158-161.
556. Сороко Н. В. Підходи до використання імерсивних технологій в закладах загальної освіти. *Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності: науково-практична конференція з міжнародною участю.* 2 листопада 2021 р. Київ : НАУ, 2022. С. 113-115.
557. Спірін О. М. Цифрова трансформація освіти: штучний інтелект у сучасному освітньому просторі : Наукова доповідь загальним зборам НАПН України «Цифрова трансформація освіти: штучний інтелект у сучасному освітньому просторі», 21 листопада 2025 р. *Вісник Національної академії педагогічних наук України.* 2025. Вип. 7(2). С. 1-9. <https://doi.org/10.37472/v.naes.2025.7221>
558. Станжицький О. М., Собчук В. В., Кушніренко С. В., Курилко О. Б.,

- Цань В. Б. Методичні вказівки та завдання для самостійної роботи з дисципліни «Методика навчання математики». Частина III «Функції в шкільному курсі математики» для студентів спеціальності 014.04 Середня освіта (Математика) механіко-математичного факультету. Київ, 2022. 224 с.
559. Староста В. І. Технології інтерактивного навчання: сутність, класифікація. *Науковий вісник МНУ імені В. О. Сухомлинського. Педагогічні науки*. 2019. № 1(64). С. 230-237.
560. Стратегія цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 року. Розпорядження № 1351р від 31.12.2024 р. Кабінет міністрів України.
561. Стрюк А. М. Система «Агапа» як засіб навчання системного програмування бакалаврів програмної інженерії : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.10. Інститут інформаційних технологій і засобів навчання. К., 2012. 312 с.
562. Сухіх А. С. Потенціал віртуальної та доповненої реальності для покращення змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти. *Нова педагогічна думка*. 2025. Вип. 120(4). С. 38-42. DOI : <https://doi.org/10.37026/2520-6427-2024-120-4-38-42>
563. Сухіх А. С., Полященко І. М. Імерсивні технології в умовах змішаного навчання: перспективи застосування в інклюзивній освіті ЗЗСО. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 216. С. 278-284. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-278-284>
564. Таблер Т. І. Огляд та класифікація онлайн-сервісів для підтримки процесів математичного моделювання. *Сучасні проблеми моделювання*. 2025. Вип. 28. С. 149-164. DOI : <https://doi.org/10.33842/2313-125X-2025-30-149-164>
565. Типова освітня програма для 10–12 класів закладів загальної середньої освіти, які забезпечують здобуття профільної середньої освіти за академічним спрямуванням. Наказ МОН № 765 від 26 травня 2025 року.
566. Типова освітня програма профільної середньої освіти за професійним спрямуванням. *Міністерство освіти і науки України* : вебсайт. URL : <https://mon.gov.ua/news/mon-zatverdilo-typovu-osvitniu-prohramu-profilnoi->

- serednoi-osvity-za-profesiinym-spriamuvanniam (Дата звернення: 17.06.2026.)
567. Ткачук В. В., Єчкало Ю. В., Маркова О. М. Доповнена реальність у навчанні студентів із особливими освітніми проблемами. *STE Workshop Proceedings*. 2018. Вип. 5. С. 66-71.
 568. Ткачук В. В., Єчкало Ю. В., Хоцкіна С. М., Маркова О. М., Хоцкіна В. Б. Використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх інженерів. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2023. Вип. 68. С. 168-181. DOI : <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-68-168-181>
 569. Ткачук Г. В. Змішане навчання та особливості використання ротаційної моделі у навчальному процесі. *Інформаційні технології в освіті*. 2017. Вип. 4. С. 143-156.
 570. Топузов О., Головка М., Локшина О. Освітні втрати в період воєнного стану: проблеми діагностики та компенсації. *Український Педагогічний журнал*. 2023. Вип. 1. С. 5-13. DOI : <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2023-1-5-13>
 571. Третяк Н., Мартіна О., Гордійчук М.. Формування педагогічної комунікації в умовах дистанційної освіти. *Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету. Серія педагогічні науки*. 2023. Вип. 64. С. 238-246. DOI 10.31909/26168812.2023-(64)-27
 572. Туравініна О. М., Стрюк А. М., Рашевська Н. В., Словак К. І. Amazon EC2 як платформа для організації хмарних обчислень. *Новітні комп'ютерні технології : матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції*. Київ-Севастополь, 13-18 вересня 2011 р. К. : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. С. 187-188.
 573. Удовиченко І., Удовиченко В. Теоретико-методологічні засади використання імерсивних технологій в освітньому процесі закладів загальної середньої освіти в умовах воєнного стану. *Український Педагогічний журнал*. 2024. № 2. С. 18-130. DOI : <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2024-2-118-130>
 574. Упровадження VR-технологій в університетах: МОН і SimLab Soft підписали меморандум про співпрацю. Міністерство освіти і науки України : вебсайт.

URL :

<https://www.google.com/search?q=https://mon.gov.ua/news/uprovadzhennia-vr-tekhnologii-v-universytetakh-mon-i-simlab-soft-pidpysaly-memorandum-pro-spiivpratsiu> (Дата звернення: 27.12.2024).

575. Флегонтова Н. М. Педагогічні умови підготовки майбутніх учителів до організації культурного дозвілля школярів на основі маркетингового підходу. *Проблеми освіти: науковий збірник*. 2011. Вип. 68. С. 145-152.
576. Хмельницька О. С. Застосування імерсивних технологій як прогресивний напрям модернізації професійної освіти. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького*. 2023. Вип. 2. С. 191-197. DOI : <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2023-2-191-197>
577. Хміль Н. А., Галицька-Дідух Т. В., Ван Ц. Використання віртуальної та доповненої реальності в українській освіті. *Академічні візії*. 2023. Вип. 22. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8251886>
578. Цимбалюк Т., Федасюк Д. Використання імерсивних технологій в освітньому процесі: переваги підходу, аналіз комерційних систем, класифікація навчальних середовищ. *Інформаційні системи та мережі*. 2024. Вип. 15. С. 219-237. DOI : <https://doi.org/10.23939/sisn2024.15.219>
579. Шаповалова Н. Н., Рашевська Н. В. Махіма як засіб реалізації міжпредметних зв'язків у технічному ВНЗ. *Новітні комп'ютерні технології*. Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2016. Том XIV. С. 95-96.
580. Шафорост Ю. А., Лут О. А., Шпак В. П. Використання віртуальних симуляцій як засобу едьютейнменту для підвищення мотивації учнів у навчанні хімії. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2024. Вип. 2(55). С. 135-143. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2024.55.135-143>
581. Шелестова Л. В. Змішане навчання у початковій школі : методичні рекомендації. Київ : «Фенікс», 2021. 48 с.
582. Шепілев Д. С. Методика проєктування імерсивних освітніх ресурсів :

- кваліфікаційна робота магістра : спец. 014.09 «Середня освіта (інформатика)» / Криворізький держ. пед. ун-т. Кривий Ріг, 2021. 40 с.
583. Шишкіна М. П. Актуальні проблеми і перспективи використання вчителями штучного інтелекту в умовах реалізації STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2026. Вип. 223. С. 115-119.
584. Шкуренко О. В., Савюк Ю. Ф. Особливості використання технологій доповненої реальності (AR) в початковій освіті. *Молодий вчений*. 2024. № 7 (131). С. 128-137. DOI : <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2024-7-131-15>
585. Як заклади освіти розпочали 2023/2024 навчальний рік. *Державна служба якості освіти*. 29.11.2023. URL : <https://sqe.gov.ua/2023-2024-nr-monitoring/> (Дата звернення: 23.10.2024).
586. Як зробити освітнє середовище безпечним? *Освітній омбудсмен України* : вебсайт. URL : <https://eo.gov.ua/yak-zrobyty-osvitnie-seredovyshche-bezpechnym/2019/10/25/> (Дата звернення: 23.10.2024)
587. Яременко Л. Мотивація навчального процесу як педагогічна проблема. *Вища освіта України*. 2014. № 3. С. 69-74.
588. Яремчук Н. Імерсивні технології у професійній дистанційній підготовці вчителів початкової школи. *Неперервна освіта: теорія і практика (серія: Педагогічні науки)*. 2022. Вип. 4(13). С. 61-68. DOI : <https://doi.org/10.28925/1609-8595.2022.4.6>
589. Яремчук Н., Сениця Н. Педагогічні умови формування віртуального освітнього простору закладу вищої освіти. *Молодь і ринок*. 2021. № 7-8 (193-194). С. 54-61. DOI : <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2021.242598>
590. Яцишин А. В. Інклюзивна STEM-освіта та штучний інтелект: можливості використання вчителями для навчання учнів з особливими освітніми потребами. *Освіта та розвиток обдарованої особистості*. 2026. 1(100). С. 132-140. DOI : [https://doi.org/10.63437/3083-6425-2026-1\(100\)-14](https://doi.org/10.63437/3083-6425-2026-1(100)-14)

ДОДАТКИ

Додаток А. Еволюція імерсивних технологій та їх впровадження в систему освіти

Еволюція імерсивних технологій та їх запровадження в систему освіти почалася з використання їх при вивченні іноземних мов та зарекомендувала себе як технологія, що сприяє мотивації до навчання і робить цей процес цікавим. Ще в середині 60-х років XX століття було доведено, що імерсивність при вивченні іноземних мов сприяє інтенсифікації процесу навчання. Відповідно до класифікації навчальних цілей таксономії Блума, застосування імерсивних технологій впливає на когнітивні, афективні та поведінкові аспекти навчання; демонструє їх багатогранність та ефективність у підвищенні грамотності, творчого мислення, спілкування та співпраці. Поєднання імерсивних технологій зі штучним інтелектом може призвести до інноваційного інтелектуального навчання. Така інтеграція технологій надає можливість створювати більш динамічне, інтерактивне та персоналізоване середовище навчання, змінює традиційний підхід на інноваційний [97].

У науковій літературі виокремлюють чотири ключові напрями використання імерсивних технологій у системі освіти [339]: 1) вплив імерсивних технологій на результати навчання; 2) використання технологій занурення у навчання та моделювання; 3) вплив імерсивних технологій на взаємодію та залучення користувачів; 4) етичні та соціальні наслідки технологій занурення. На різних етапах розвитку ці напрями набували нових форм і зумовлювали поступову трансформацію процесу навчання.

Дослідники [359] виділяють чотири етапи впровадження імерсивних технологій у навчання. *Перший етап* (2005-2007 рр.) характеризується запровадженням в систему освіти програм з вебдизайну та 2D-ігор; на *другому етапі* (2008-2013 рр.) з'являються теоретичні розробки з впровадження віртуальної реальності в навчання на основі 3D в ігровому форматі; *третій етап* (2014-2017 рр.) характеризується запровадженням платформ та застосунків для

організації навчання; на *четвертому етапі* (2018 – по теперішній час) розглядають практичний досвід, що надає можливість покращувати процес навчання.

Аналогічно, у дослідженні [106] виокремлено три періоди розвитку технологій доповненої реальності у сфері освіти (рис. А.1). *Перший* період (1995-2009 рр.) характеризувався домінуванням апаратного забезпечення, *другий* (2010-2019 рр.) – активним розвитком програмних рішень та створенням AR-застосунків, а *третій* (з 2020 р.) – появою спеціалізованих AR-пристроїв та інтеграцією технологій зі ШІ.

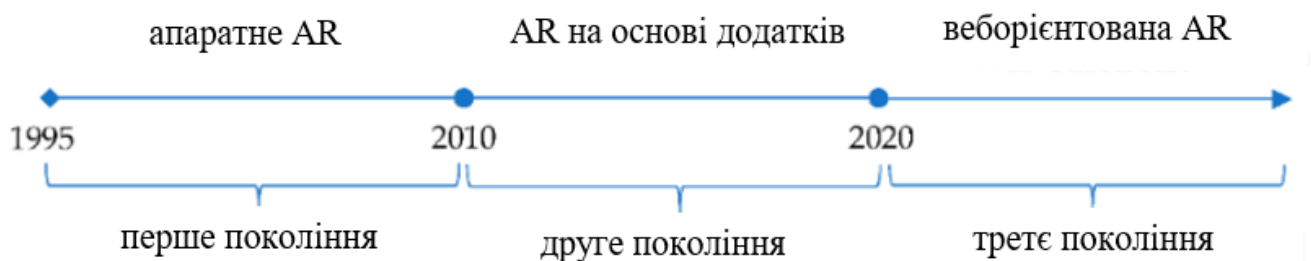


Рис. А.1. Покоління доповненої реальності в освіті [106]

Період від першого застосування в системі освіти імерсивних технологій у 1995 році до 2005 року характеризувався використанням таких технологій, як шоломи віртуальної реальності та окуляри доповненої реальності. Проте через високу вартість цих технологій, зумовлену їх новизною та обмеженим поширенням, вони не набули широкого застосування в освіті. Висока вартість була пов'язана з тим, що для використання імерсивних технологій потрібні були потужні комп'ютери, а також з тим, що існувало мало освітніх програм з використання цих технологій. Крім того, перші імерсивні системи мали обмежені можливості обробки графіки та відтворення віртуального середовища, що робило їх не надто ефективними для використання в освіті. У 1995-2005 роках відбулися перші експериментальні впровадження та наукові дослідження імерсивних технологій у навчальному процесі, які стали базовими для їх подальшого розвитку [171].

У 2005 році науковці [165] розробили концепцію інтеграції імерсивних

технологій в освітній процес та передбачили їхню диференціацію на *навчальні середовища*, призначені для симуляції діяльності, та *навчальні технології*, що забезпечують інтерактивність у цих віртуальних середовищах. Револьюційна ідея полягала в поєднанні традиційного навчання з відеоіграми та симуляціями, які відіграють важливу роль у процесі навчання, адже вони забезпечують інтерактивність, мотивацію та можливість безпечного експериментування. Саме ці технології дослідники пропонували використовувати для моделювання реальних ситуацій та розвитку практичних навичок.

Розвиток мобільного навчання стимулював появу у 2016 р. концепції мобільної доповненої реальності (Mobile Augmented Reality – MAR), яка забезпечила інтеграцію AR у процес навчання для індивідуалізованого підходу та можливості організації дослідницького навчання в закладах загальної середньої освіти [275; 498]. Ознаками MAR є [58]: 1) поєднання реальних та віртуальних об'єктів у реальному середовищі; 2) інтерактивність у режимі реального часу; 3) вирівнювання реальних та віртуальних об'єктів один з одним; 4) можливість розширеного відображення на мобільному пристрої.

Практика використання імерсивних технологій засвідчує їхню ефективність у різних галузях знань. Застосування віртуальних середовищ, інтегрованих з ігровими технологіями, забезпечує високу інтерактивність та довело свою результативність при викладанні широкого спектра дисциплін, включаючи точні науки (математику, інформатику), медицину, мови, бізнес-дисципліни та управління проєктами [27; 59; 67]. Використання цих технологій сприяє зростанню мотивації здобувачів освіти, покращенню візуалізації та глибшому розумінню складних понять, а також мінімізації помилок [59].

Використання AR у навчальних цілях, яке почалося з 2004 року, надало можливість розширити дидактичний інструментарій у викладанні природничих дисциплін. Попри те, що використання доповненої реальності в процесі навчання відбувалося ситуативно і не мало масового характеру, воно дало поштовх до формування середовищ доповненої реальності [127; 355].

Зосереджуючись на практичному досвіді використання імерсивних

технологій у навчанні, виділяють такі їхні переваги [289]:

Чіткість. Імерсивні технології з використанням 3D-графіки надають можливість досить деталізовано візуалізувати навчальний матеріал, зосереджуючи увагу на тих моментах, які не можна продемонструвати під час традиційного процесу навчання.

Залучення. Імерсивні технології створюють умови для організації активного навчання. За такого навчання учні самостійно можуть впливати на хід експерименту, змінювати сценарії або розв'язувати проблеми в доступній для розуміння ігровій формі.

Віртуальні заняття. Однією з ключових особливостей імерсивних технологій є створення відчуття присутності у віртуальному світі, де учень діє від першої особи.

Безпека. Імерсивні технології сприяють організації навчання в безпечному середовищі, забезпечуючи можливість моделювати потенційно небезпечні або складні ситуації (наприклад, керування космічним кораблем, дослідження ядерних реакцій або подорожі в космосі) без ризику для учня.

Фокусування. Створене імерсивне середовище навчання оточує учня, що сприяє максимальному зосередженню на навчальному матеріалі та зменшує вплив зовнішніх чинників, що можуть відволікати.

Таким чином, описані характеристики імерсивних технологій – деталізована візуалізація, інтерактивність, відчуття присутності, безпечне середовище та можливість фокусування – створюють умови для ефективного навчання та розвитку компетентностей учнів. На практиці ці можливості реалізуються через конкретні освітні проекти та платформи, які інтегрують VR/AR-технології у навчальний процес та надають учням можливість активно проводити дослідження, спостерігати явища, отримувати нові знання, аналізувати їх та виконувати порівняльний аналіз [220; 248].

Узагальнення результатів досліджень щодо еволюції імерсивних технологій та їх упровадження в освітній процес дає підстави стверджувати, що їх розвиток супроводжувався не лише технологічними змінами, а й поступовим формуванням

відповідних педагогічних підходів до їх використання. На різних етапах розвитку імерсивних технологій змінювалися не лише технічні можливості, а й способи організації навчальної діяльності, що зумовило появу різних підходів до їхньої педагогічної інтерпретації.

У цьому контексті доцільно виокремити етапи трансформації педагогічної взаємодії в умовах імерсивного навчання, кожен із яких відображає зміну характеру пізнавальної діяльності учнів.

Перший етап – експериментальний (середина XX століття) – характеризується використанням імерсивних технологій переважно як засобу демонстрації та тренування. Навчальна взаємодія на цьому етапі має репродуктивний характер, а імерсивні середовища застосовуються епізодично, переважно у професійній підготовці.

Другий етап – комп'ютеризований (кінець XX століття) – пов'язаний із появою перших віртуальних середовищ, що забезпечують обмежену інтерактивність. На цьому етапі відбувається перехід від демонстраційних форм навчання до елементів діяльнісного підходу, що проявляється у можливості взаємодії з 3D-об'єктами та моделювання навчальних ситуацій.

Третій етап – мережевий (2000-2010-ті роки) – характеризується розвитком багатокористувацьких віртуальних середовищ і поширенням дистанційного та змішаного навчання. Навчальна взаємодія набуває соціального характеру, що проявляється у спільній діяльності та комунікації учнів у цифровому середовищі.

Четвертий етап – мобільний та персоналізований (з 2010-х років) – визначається інтеграцією мобільних технологій, доповненої реальності та штучного інтелекту. На цьому етапі навчальна діяльність набуває індивідуалізованого характеру, забезпечується адаптація змісту та темпу навчання до потреб учнів, а також розширюються можливості для самостійної та дослідницької діяльності.

Сучасний етап розвитку імерсивних технологій пов'язаний із їх інтеграцією у цілісні педагогічні системи, що передбачає поєднання технологічних можливостей із методами, формами та засобами навчання. Це зумовлює

необхідність обґрунтованого добору педагогічних технологій, які забезпечують ефективне використання імерсивних засобів у навчанні. Перебуваючи на сучасному етапі розвитку педагогічних технологій імерсивного навчання, можна виокремити низку ключових тенденцій їхньої подальшої еволюції в освітній системі:

- системне вдосконалення VR/AR-технологій, підвищення якості візуалізації та інтерактивності;
- розвиток сенсорних технологій, що дають можливість створювати мультисенсорне імерсивне середовища навчання;
- розширення можливостей персоналізації навчання та побудови індивідуальних освітніх траєкторій;
- інтеграція імерсивного навчання з іншими педагогічними технологіями, що сприяє розвитку самостійності та пізнавальної активності учнів.

У сучасних умовах розвитку освіти поняття «педагогічна технологія» розглядається як складне та багатовимірне, що зумовлено різними підходами до осмислення освітньої діяльності. Відсутність єдиного усталеного визначення пояснюється еволюцією освітньої практики та розмаїттям теоретичних підходів до організації навчального процесу. Змістові тлумачення цього поняття залежать від способів визначення цілей навчання, структури освітнього процесу, критеріїв ефективності та очікуваних результатів [482].

Історично поняття «педагогічна технологія» почало формуватися у XX столітті, коли виникла потреба у впровадженні системного підходу до організації навчально-виховного процесу. Подальший розвиток навчальної техніки та комп'ютеризація освіти сприяли переходу до розуміння педагогічної технології як комплексної системи методів, засобів і форм організації навчання [470].

З урахуванням специфіки імерсивного середовища навчання педагогічні технології набувають додаткових характеристик, що відображають особливості організації навчальної діяльності учнів. Основними ознаками педагогічної технології імерсивного навчання є [456]: 1) технологічна імерсивність, що передбачає використання віртуальних середовищ, симуляцій та навчальних

тренажерів для забезпечення ефекту занурення; 2) поєднання реального та віртуального освітнього простору; 3) динамічний зворотний зв'язок на основі адаптивних систем навчання; 4) стимулювання самостійної пізнавальної активності учнів у процесі виконання навчально-дослідницьких завдань; 5) гнучкість організації навчання, що забезпечує інтеграцію імєрсивних технологій із традиційними, дистанційними та змішаними формами.

Додаток Б. Порівняння моделей імерсивного середовища навчання за ключовими критеріями

Таблиця Б.1

Модель	Когнітивний розвиток	Емоційна та мотиваційна сфера	Індивідуалізація та адаптація	Соціальна взаємодія та кооперація	Технологічні вимоги	Потенціал інтеграції
CAMILE (когнітивно-афективна)	Високий: підтримка саморегуляції та рефлексії	Високий: стимулює емоції, мотивацію, інтерес	Середній: адаптація через індивідуальну рефлексію	Низький: обмежена групова взаємодія	Середні: VR/AR/MR та зворотний зв'язок	Можлива інтеграція з дослідницькою та ігровою моделями для практичного застосування знань
Дослідницька модель	Високий: розвиток критичного та проблемного мислення	Середній: внутрішня мотивація стимулює активність	Високий: автономія учня, поступове зростання складності	Високий: групові проекти та кооперація	Високі: VR/AR-симуляції, інтерактивні лабораторії	Можна поєднувати з CAMILE та потоковою моделлю для підтримки емоційного залучення та мотивації
Еволюційна модель	Високий: поступове засвоєння знань через експерименти	Середній: мотивація через адаптацію та зворотний зв'язок	Високий: персоналізація, адаптація до рівня учня	Середній: взаємодія у колаборативних проектах	Високі: VR/AR/MR, налаштування середовища	Добре інтегрується з дослідницькою моделлю для формування навичок дослідження
Модель потокового стану	Високий: баланс складності та здібностей	Високий: максимальне занурення, концентрація, мотивація	Середній: індивідуальна регуляція темпу	Низький: соціальна взаємодія не є основним акцентом	Середні: адаптація завдань і миттєвий зворотний зв'язок	Може бути базою для дослідницької або еволюційної моделі для стимуляції глибокого занурення
Ігрова модель на основі ІІІ	Середній: формування знань може бути фрагментарним	Високий: емоційна залученість, інтерактивність	Високий: персоналізація завдань, адаптивний зворотний зв'язок	Високий: колективні завдання, квести, взаємодія через віртуальні світи	Дуже високі: VR/AR, генеративний ІІІ, інтеграція систем оцінювання	Можлива інтеграція з дослідницькою та CAMILE-моделлю для поєднання мотивації та фундаментального навчання

Додаток В. Динаміка тлумачення «змішаного навчання», його переваги та недоліки змішаного навчання в ЗЗСО України

Розглянемо динаміку дефініції «змішане навчання» відповідно до появи її тлумачення в науковій літературі українських науковців (табл. В.1).

Таблиця В.1

Визначення та характеристики змішаного навчання

Автор	Визначення змішаного навчання	Основні характеристики
О. Мусійовська, 2008	Інтегрована форма різних видів інтернет-навчання, електронного дистанційного та традиційного навчання, де навчальний матеріал передається студенту в електронному вигляді, а закріплення знань відбувається в аудиторії під керівництвом викладача [466].	Поєднання електронного та традиційного навчання; самостійна робота; мультимедійні засоби
Н. Рашевська, 2011	Процес, у якому традиційні технології поєднуються з інноваційними дистанційними, електронними та мобільними технологіями для гармонійного поєднання теоретичного та практичного складників процесу навчання [517].	Поєднання традиційного та інноваційного; акцент на теорію і практику
А. Стрюк, 2012	Цілеспрямований процес здобуття знань, умінь та навичок в умовах інтеграції аудиторної та позааудиторної діяльності з взаємним доповненням технологій традиційного, електронного, дистанційного та мобільного навчання [561].	Інтеграція аудиторної та позааудиторної роботи; взаємне доповнення технологій
К. Бугайчук, 2016	Цілеспрямований процес здобування знань і навичок, частина якого реалізується дистанційно за допомогою	Поєднання різних форм навчання; дистанційна

Автор	Визначення змішаного навчання	Основні характеристики
	ІКТ, з можливістю самоконтролю та поєднання формального, неформального навчання та самонавчання [386].	підтримка; самоконтроль
Г. Ткачук, 2017	Цілеспрямований процес передавання та засвоєння знань, умінь і навичок, заснований на поєднанні традиційних, електронних та мобільних технологій [569].	Поєднання традиційного та електронного; акцент на процес передавання знань
О. Дениско, Л. Семеновська, 2018	Процес створення освітнього середовища, що поєднує очне, дистанційне та електронне навчання з інтеграцією живого та опосередкованого спілкування [404].	Поєднання очного та дистанційного навчання; синхронна і асинхронна взаємодія
В. Мазюк, 2019	Процес набуття знань, умінь і навичок через раціональне поєднання традиційних та електронних технологій, організований учителем [463].	Акцент на організацію та планування; інноваційні технології
С. Трубачева, 2021	Освітня технологія, що поєднує ІКТ-методи з традиційним та самостійним навчанням, аудиторні та віртуально-мережеві форми [413].	Поєднання ІКТ та традиційного навчання; аудиторні та онлайн-форми
О. Малихін, Н. Арістова, В. Рогова, 2022	Форма організації освітнього процесу, що поєднує класичний та дистанційний формати для забезпечення якості освітніх послуг [459].	Гармонізація класичного та дистанційного навчання; орієнтація на якість освітніх послуг

Згідно з визначенням Л. Шелестової, змішане навчання в початковій школі передбачає поєднання традиційних уроків із самостійною роботою учнів в індивідуальних чи групових формах [581]. Для його ефективної організації

вчитель має бути забезпечений відповідними методичними матеріалами та володіти концепцією використання технологій у навчанні. У дослідженні О. Барановської [376] подано ґрунтовний аналіз різних підходів до організації змішаного навчання й окреслено тенденції його модернізації: оновлення дидактичного компонента, удосконалення підходів до формування інформаційної компетентності, зокрема читацьких умінь учнів. Авторка зазначає, що після пандемії значно зросла частка вчителів початкової школи, готових активно використовувати ІКТ у процесі навчання.

У працях [376; 581] виокремлено переваги й недоліки змішаного навчання в початковій школі.

Переваги: гнучкість навчання; розширені можливості індивідуалізації; швидка діагностика й обробка навчальних матеріалів у цифровому форматі; різноманітність електронних моделей та об'єктів; прозорість оцінювання; зростання мотивації, самостійності й самоконтролю учнів. Водночас остання перевага в початковій школі має обмежене застосування, оскільки навички самостійного навчання ще недостатньо сформовані.

Недоліки: труднощі обробки неформалізованої інформації; формалізація дидактичних ситуацій; зменшення безпосередньої комунікації; надмірне залучення батьків як менторів; обмежена кількість якісних онлайн-ресурсів для всіх предметів, що змушує вчителя витрачати додаткові ресурси на аналіз і створення власних матеріалів.

О. Барановська [376] наголошує, що підручники залишаються важливим складником змішаного навчання, проте активно доповнюються електронними ресурсами, мультимедійним контентом та інтерактивними матеріалами. Відтак друкований підручник у моделі змішаного навчання має містити візуальні маркери та інтеграційні елементи, які дозволяють організувати роботу як у традиційному, так і в цифровому чи імерсивному середовищі.

Аналіз результатів [376; 389; 581; 420] дає підстави стверджувати, що найбільш ефективним є застосування змішаного навчання у старшій школі, зокрема в академічних ліцєях. Це пояснюється тим, що в учнів цієї вікової

категорії вже сформовані початкові навички самостійної роботи та вища мотивація до здобуття знань. Основний принцип змішаного навчання – індивідуалізація – найбільш повно реалізується саме в цьому віці (табл. В.2).

Таблиця В.2

Переваги та недоліки змішаного навчання

Рівень освіти	Переваги	Недоліки
Початкова школа	– розвиток базових цифрових навичок з раннього віку; – поєднання гри та навчання завдяки інтерактивним ресурсам; – можливість індивідуалізації темпу навчання; – зростання мотивації через візуалізацію та мультимедіа.	– високі вимоги до педагогічного супроводу й контролю; – обмежені навички самостійної роботи в дітей; – перевантаження цифровим навчальним матеріалом може знижувати увагу; – залежність від технічних засобів.
Старша школа	– гнучкість у побудові індивідуальної освітньої траєкторії; – розвиток критичного мислення й самостійності; – поглиблене використання цифрових інструментів (симуляції, VR/AR, онлайн-курси); – підготовка до навчання упродовж життя.	– ризик поверхневого засвоєння матеріалу при низькій самоорганізації; – потреба у високій мотивації та відповідальності учнів; – нерівний доступ до якісних цифрових ресурсів; – високі вимоги до педагогів щодо володіння методикою змішаного навчання.

Порівняння переваг і недоліків змішаного навчання на різних рівнях загальної середньої освіти дає змогу виявити специфіку його застосування і надає можливість у подальших дослідженнях визначити вікові особливості організації змішаного навчання, адаптувати педагогічні підходи до потреб різних вікових груп, аргументувати необхідність різних стратегій використання імерсивних технологій у початковій та старшій школах.

Додаток Г. Змістовий аспект імерсивного навчання у закладах загальної середньої освіти

Відповідно до концептуальних положень НУШ, навчальний зміст орієнтується на формування ключових і предметних компетентностей, що передбачає перехід від домінування репродуктивного засвоєння знань до діяльнісного, дослідницького та контекстуального навчання. Імерсивні технології в цьому контексті розглядаються як інструмент розширення дидактичних можливостей подання змісту, зокрема у природничо-математичній освітній галузі, де значна частина понять і процесів має абстрактний, динамічний або просторовий характер.

Ефективність використання імерсивних технологій безпосередньо залежить від якості навчального змісту та ступеня його дидактичної адаптації. Самі по собі цифрові засоби не забезпечують досягнення освітніх результатів без відповідного педагогічного проектування змісту, що узгоджується з критикою технологічного детермінізму в освіті, висловленою Н. Селвіном (N. Selwyn) [293]. У зв'язку з цим зміст навчання в імерсивному середовищі потребує переосмислення з позицій навчання через досвід, активної взаємодії учня з навчальними об'єктами та формування цілісного розуміння досліджуваних явищ.

Особливістю змістового компонента в умовах імерсивного навчання є відхід від виключно лінійної, текстоцентричної організації навчального матеріалу та перехід до мультимодального подання знань. Зміст структурується таким чином, щоб забезпечити поєднання візуальних, просторових, аудіальних і діяльнісних компонентів, що сприяє оптимізації когнітивного навантаження та підвищенню рівня розуміння навчального матеріалу, особливо у процесі вивчення складних природничих і математичних понять.

Формування змістового компонента методичної системи з використанням імерсивних технологій доцільно здійснювати з урахуванням таких принципів:

– *принципу компетентнісної орієнтації*, відповідно до якого навчальний зміст спрямовується на формування ключових і предметних компетентностей, визначених державними стандартами освіти;

– *принципу навчання на досвіді*, що передбачає подання змісту через моделювання ситуацій, наближених до реальних або навчально значущих контекстів. Навчання на досвіді в імерсивному середовищі сприяє не тільки експериментальному навчанню, а й покращує запам'ятовування, надає можливість відпрацьовувати практичні навички без страху припуститися помилки [72]. А імерсивні інструменти покращують практичні навички учнів, критичне мислення та здібності до розв'язання проблем шляхом симуляції реальних сценаріїв у безпечному та контрольованому середовищі навчання;

– *принципу візуалізації*, який реалізується через використання 3D-моделей, симуляцій, анімацій та інших засобів наочного подання навчальних відомостей;

– *принципу адаптивності та персоналізації*, що забезпечує врахування рівня підготовки, пізнавальних інтересів та індивідуальних освітніх потреб учнів;

– *принципу інтерактивності*, за якого навчальний зміст передбачає активні дії учнів, прийняття рішень та дослідницьку діяльність;

– *принципу міжпредметної інтеграції*, що дає змогу поєднувати зміст різних навчальних дисциплін у межах спільного імерсивного середовища.

З урахуванням зазначених принципів зміст навчання в імерсивному середовищі може бути структурований за такими взаємопов'язаними блоками:

1) **контекстуальний блок**, що забезпечує входження учнів у навчальну тему через проблемну ситуацію, сюжет або навчальний сценарій і виконує мотиваційну функцію. Такий змістовий блок є доцільним на різних ланках навчання в закладах загальної середньої освіти, оскільки відповідає поняттю «занурення» як суб'єктивному досвіду в середовищі, яке може бути наративним, емоційно-тактильним чи стратегічно-тактичним [43];

2) **інформаційно-аналітичний блок**, у межах якого ключові поняття та явища подаються у візуалізованому форматі (3D-моделі, симуляції, інфографіка), що сприяє кращому розумінню навчального матеріалу. Така подача навчального матеріалу підтримує когнітивне навантаження на оптимальному рівні, оскільки вважається, що рівень зовнішнього когнітивного навантаження знижується, а рівень засвоєння навчальних відомостей збільшується, якщо ці відомості

подаються через візуалізацію текстового формату [126];

3) **діяльнісний блок**, орієнтований на виконання завдань дослідницького, експериментального або проєктного характеру з використанням імерсивних інструментів. На цьому етапі реалізується навчання на досвіді, а сам процес навчання стає практико-орієнтованим. У середній школі цей блок може бути реалізовано через ігрові практики, а у старшій школі у VR-лабораторіях учні проводять віртуальні дослід, що є формою активного навчання;

4) **рефлексивний блок** – обговорення отриманих знань чи досвіду, порівняння отриманих знань через теоретичне пояснення матеріалу чи імерсивний досвід, рефлексія. Цей блок є важливим для узагальнення навчального досвіду через реалізацію мотиваційно-активного навчання, за якого навчальний зміст подається невеликими блоками, а перехід на наступний рівень відбувається через зворотний зв'язок (рис. Г.1).

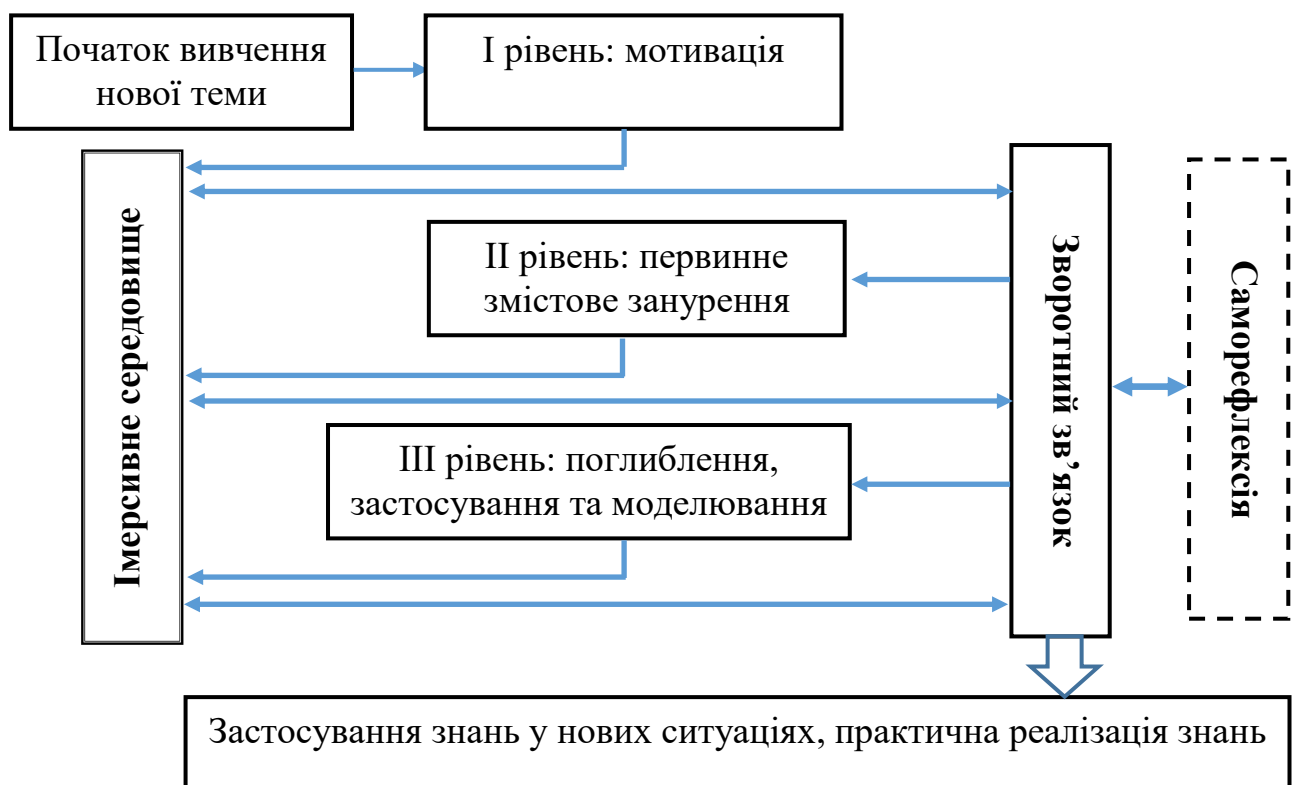


Рис. Г.1. Етапи організації процесу навчання на основі імерсивних технологій

На рис. Г.1 подано етапи організації процесу навчання на основі імерсивних технологій, що зорієнтовані на поступове занурення учня в навчальну діяльність з

урахуванням принципів навчання на досвіді, мотивації, зворотного зв'язку та рефлексії, та включають такі послідовні компоненти:

– *початок вивчення нової теми* – ініціює процес навчання шляхом формування внутрішньої мотивації учня через постановку проблеми або наративний складник;

– *I рівень – мотивація* – передбачає пробудження інтересу до теми, зокрема через використання імерсивних технологій. Мотиваційний рівень не лише налаштовує на сприйняття змісту, а й виконує роль входу в імерсивне середовище навчання;

– *II рівень – первинне змістове занурення* – на цьому етапі учні працюють з основними поняттями теми у форматі мультимодального подання (3D-моделі, симуляції), що забезпечує мультимодальність навчального матеріалу;

– *III рівень – поглиблення, застосування та моделювання* – реалізується через дослідницьку діяльність в імерсивному середовищі. Учні беруть участь у проєктах, дослідженнях, ігрових сценаріях, які потребують аналізу, прийняття рішень та застосування знань на практиці.

Структура та формат змісту на різних етапах використання імерсивних технологій мають бути:

– модульними – з чітко структурованими змістовими блоками;
 – інтерактивними – що потребують дій і рішень з боку учня;
 – мультимодальними – з опорою на зорові, слухові, кінестетичні канали;
 – адаптивними – з урахуванням індивідуальних особливостей та рівня підготовки;

– контекстуальними – пов'язаними з життєвими, професійними або культурними реаліями.

Їх реалізація відбувається в *імерсивному середовищі навчання*, яке є наскрізним компонентом усіх етапів, що надає процесу навчання інтерактивності, емоційної насиченості та реалістичності. Його інтеграція в різні рівні дає можливість зробити зміст доступним та динамічним.

Зміст, адаптований до імерсивного середовища, повинен бути не лише

педагогічно доцільним, а й технічно придатним для подання через цифрові засоби. Серед найбільш поширених форматів подання виокремлюють:

- віртуальні симуляції, що надають можливість моделювати лабораторні експерименти, природні явища, історичні події або соціальні ситуації у безпечному середовищі;
- доповнену реальність, що реалізується за допомогою AR-застосунків, які серед усіх імерсивних технологій мають найбільш позитивний вплив на мотивацію та результативність навчання [265];
- 3D-моделі та анімації, що застосовуються для унаочнення складних або абстрактних моментів навчального матеріалу;
- імерсивні 360°-відео дають змогу учню відчувати себе безпосереднім учасником подій, наприклад, під час віртуальної екскурсії. Такий формат навчання особливо ефективний у гуманітарних дисциплінах;
- інтерактивні квести або кейси, у яких зміст подається у вигляді гри, а учень має пройти серію етапів, розв'язуючи проблемні завдання.

Зворотний зв'язок забезпечується на кожному рівні як через автоматизовані цифрові інструменти, так і за допомогою педагогічного супроводу. Організація зворотного зв'язку сприяє відстеженню розуміння учнями навчального матеріалу, надає можливість виявити помилки, налаштувати персоналізоване навчання.

Саморефлексія виступає завершальним компонентом, що дає змогу учню оцінити власний прогрес, досвід, емоційне сприйняття та сформовані компетентності.

Фінальний блок – *застосування знань у нових ситуаціях* – підтверджує досягнення цілей компетентнісного навчання та показує, що імерсивний досвід має значущість поза навчальним середовищем. Саме на цьому етапі формуються ключові компетентності учня.

Таким чином, цілісно сконструйований зміст імерсивного навчання, що поєднує інтерактивність із поетапною подачею матеріалу, є визначальною умовою для розвитку критичного мислення та успішного засвоєння практичного досвіду учнями.

**Додаток Д. Таблиця порівняння характеристик компетентнісного
потенціалу здобувачів освіти**

Спільні характеристики компетентнісного потенціалу за [406]

Мета	
Математична галузь	Природнича галузь
розвиток особистості здобувача освіти через формування математичної компетентності у взаємозв'язку з іншими ключовими компетентностями для успішної освітньої та подальшої професійної діяльності впродовж життя, що передбачає засвоєння системи знань, удосконалення вміння розв'язувати математичні та практичні задачі; розвиток логічного мислення та психічних властивостей особистості; здатність та готовність застосовувати математику в особистому й суспільному житті для продовження навчання або фахової самореалізації	формування особистості здобувача освіти, який усвідомлює цілісність природи та основні її закони й закономірності, володіє певними вміннями наукового дослідження, оцінює вплив природничих наук, техніки та технологій на соціоприродне середовище, реагує на виклики, зумовлені людською діяльністю, діє для забезпечення сталого розвитку, здатний до професійного самовизначення й самореалізації та застосування здобутих знань і набутих умінь для суспільного блага
Компетентнісний потенціал	
<i>Математична компетентність</i> передбачає здатність розвивати та застосовувати математичні знання і методи для розв'язання широкого спектра проблем у повсякденному житті; моделювання процесів і ситуацій із застосуванням математичного апарату; усвідомлення ролі математичних знань і умінь в особистому та суспільному житті людини.	
уміння	ставлення
– застосовувати логічні способи мислення під час розв'язування пізнавальних і	– готовність шукати пояснення та оцінювати правильність аргументів;

практичних задач, пов'язаних із реальними об'єктами; – використовувати математичні методи в життєвих ситуаціях; – розв'язувати проблеми природничого змісту за допомогою математичних методів і моделей природних об'єктів, явищ і процесів, графіків, таблиць, діаграм тощо;	– усвідомлення важливості математики як мови науки, техніки та технологій; – оцінювання доцільності математичних методів під час розв'язання проблем природничого змісту.
Компетентності у галузі природничих наук, техніки і технологій передбачають формування наукового світогляду; здатність і готовність застосовувати відповідний комплекс наукових знань і методологій для пояснення світу природи; набуття досвіду дослідження природи та формулювання доказових висновків на основі отриманої інформації; розуміння змін, зумовлених людською діяльністю; відповідальність за наслідки такої діяльності.	
уміння – будувати та досліджувати математичні моделі природних явищ і процесів; – робити висновки на основі міркувань і свідчень; – обґрунтовувати рішення; – виявляти дослідницькі проблеми, досліджувати природу самостійно/у групі, установлювати причиново-наслідкові зв'язки, презентувати результати досліджень; використовувати наукові знання, здобутки техніки та технології для розв'язання проблем; реагувати на виклики, зумовлені	ставлення – критичне оцінювання досягнень науково-технічного прогресу; – усвідомлення важливості математики для опису та пізнання навколишнього світу – емоційно-ціннісне сприйняття природи та її пізнання для успішного життя в соціоприродному середовищі; – виявлення допитливості та пізнавального інтересу до природничих проблем, цивілізована взаємодія з природою.

людською діяльністю, і діяти для забезпечення сталого розвитку;	
Інноваційність передбачає здатність реагувати на зміни та долати труднощі; відкритість до нових ідей; ініціювання змін у класі, групі, закладі освіти, родині, місцевій громаді й суспільстві тощо; спроможність визначати та ставити перед собою цілі, мотивувати себе і розвивати в собі стійкість і впевненість, щоб навчатися і досягати успіхів.	
уміння	ставлення
– генерувати нові ідеї щодо розв’язання проблемної ситуації, аналізувати і планувати їх втілення; – підтримувати конструктивні ідеї інших осіб, сприяти їх реалізації;	– відкритість до інновацій, позитивне оцінювання та підтримка конструктивних ідей інших осіб; – усвідомлення інноваційності як запоруки успіху і конкурентної переваги.
Інформаційно-комунікаційна компетентність передбачає впевнене, критичне та відповідальне використання цифрових технологій для власного розвитку і спілкування; здатність безпечно застосовувати інформаційно-комунікаційні засоби в навчанні, особистому та суспільному житті, дотримуючись принципів академічної доброчесності.	
уміння	ставлення
– визначати достатність даних для розв’язання задачі; – оцінювати вірогідність отриманих відомостей; – доводити істинність тверджень; – вишукувати, обробляти, зберігати інформацію природничого змісту, перетворювати її з одного виду на інший із використанням інформаційно-комунікаційних технологій;	– критичне осмислення відомостей та джерел їх отримання; – усвідомлення важливості інформаційно-комунікаційних технологій для ефективного розв’язання математичних задач; – дотримання авторського права, принципів академічної доброчесності та етичної взаємодії у віртуальному просторі.

– використовувати та створювати цифровий контент природничого змісту; – досліджувати довкілля за допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних технологій;	
Навчання впродовж життя передбачає здатність визначати та оцінювати власні потреби та ресурси для розвитку компетентностей, застосовувати різні способи розвитку компетентностей, знаходити можливості для навчання і саморозвитку; спроможність навчатися і працювати в колективі та самотійно, організовувати своє навчання, оцінювати його, ділитися його результатами з іншими, шукати підтримки (за потреби).	
уміння	ставлення
– організовувати та планувати свою навчальну діяльність; – моделювати власну освітню траєкторію, аналізувати, контролювати, коригувати та оцінювати результати своєї навчальної діяльності; – визначати цілі навчальної діяльності, способи та засоби їх досягнення; – планувати та організовувати навчально-пізнавальну діяльність під час досліджень або розв’язання проблем; – працювати над самовдосконаленням, адаптуватися до мінливих умов діяльності; – здійснювати рефлексію власної діяльності;	– усвідомлення власних освітніх потреб та цінності нових знань і вмінь; – зацікавленість у пізнанні світу й розуміння важливості навчання впродовж життя; – рівне ставлення до інших осіб та відповідальність за спільну справу; – усвідомлення значення самоосвіти для особистісного розвитку.

Додаток Е. Порівняння мультимедійного та імерсивного середовищ

Інтерактивний характер сучасних цифрових освітніх ресурсів зумовлює можливість помилкового ототожнення мультимедійного та імерсивного навчання, які, попри зовнішню схожість, ґрунтуються на різних технологічних, когнітивних і педагогічних умовах організації навчальної діяльності [101]. У зв'язку з цим доцільним є їхній порівняльний аналіз із метою уточнення ролі імерсивних платформ і застосунків у методичній системі навчання.

Таблиця Е.1

Порівняння мультимедійного та імерсивного навчання

Характеристика	Мультимедійне навчання	Імерсивне навчання
Середовище навчання	традиційне або змішане освітнє середовище, доповнене цифровими мультимедійними засобами (комп'ютер, смартфон, презентації, відео, анімації)	цифрове освітнє середовище, реалізоване з використанням технологій віртуальної, доповненої або змішаної реальності.
Рівень занурення	забезпечує низький або помірний рівень занурення, за якого учень взаємодіє з навчальним матеріалом переважно через сприйняття та обмежені інтерактивні дії	забезпечує підвищений рівень занурення, що супроводжується відчуттям присутності та активною взаємодією учня з імерсивним середовищем.
Характер взаємодії	переважно репродуктивна або частково інтерактивна взаємодія (перегляд, прослуховування, виконання тестових завдань).	активна діяльнісна взаємодія з об'єктами середовища, можливість дослідження, моделювання та прийняття рішень.
Практична спрямованість	ефективне для опанування теоретичного матеріалу, пояснення понять і структуризації знань.	орієнтоване на моделювання ситуацій, формування практичних умінь, дослідницьку та проєктну діяльність..

Порівняльний аналіз свідчить, що мультимедійне та імерсивне навчання не

перебувають у відношенні взаємовиключення, а можуть розглядатися як різні рівні технологічного та педагогічного розширення освітнього середовища.

У наукових дослідженнях із проблем імерсивного навчання виокремлюють різні рівні технологічного занурення [60; 205], які умовно можна згрупувати за характером взаємодії учня з цифровим середовищем.

Перший рівень пов'язаний із використанням комп'ютерних або мобільних пристроїв, на яких віртуальне середовище відображається на екрані, а взаємодія здійснюється за допомогою традиційних інтерфейсів керування. Такий рівень забезпечує обмежене занурення та за своїми педагогічними характеристиками може частково перетинатися з мультимедійним навчанням.

Другий рівень передбачає використання наголовних дисплеїв та сенсорних пристроїв, що забезпечують просторову, сенсомоторну та когнітивну залученість учня, створюючи більш виражений ефект присутності у віртуальному середовищі.

З огляду на це доцільним є узгодження класичних принципів проєктування навчальних матеріалів, зокрема сформульованих Р. Маєром [209], зі специфікою імерсивних середовищ навчання різного рівня занурення.

Таблиця Е.2

Інтерпретація принципів мультимедійного навчання для імерсивних середовищ із різним рівнем занурення

Принцип	Середовище з нижчим рівнем занурення	Середовище з вищим рівнем занурення
Мультимедіа	Комбінація тексту, зображень, відео та аудіо для пояснення навчального матеріалу.	Інтеграція візуальних, аудіальних і просторово-інтерактивних елементів з використанням VR/AR для формування цілісного навчального досвіду.
Просторової неперервності навчання	Розміщення пояснень поруч із відповідними зображеннями.	Організація імерсивного середовища так, щоб пов'язані об'єкти та дії були логічно та просторово узгоджені.
Часової неперервності	Синхронна подача текстових, візуальних та	Синхронізація подій, дій і зворотного зв'язку в реальному

Принцип	Середовище з нижчим рівнем занурення	Середовище з вищим рівнем занурення
навчання	аудіальних навчальних відомостей.	або наближеному до реального часі.
Узгодженості	Усунення надлишкових відомостей для зменшення когнітивного навантаження.	Добір лише тих елементів імерсивного середовища, які безпосередньо сприяють досягненню навчальної мети.
Модальності	Перевага поєднання анімації з усним поясненням.	Поєднання озвучення, просторових дій та інтерактивної візуалізації для поглиблення розуміння.
Індивідуальних відмінностей	Адаптація матеріалів до рівня підготовки учнів.	Підтримка персоналізованих навчальних траєкторій з урахуванням просторового мислення та досвіду учнів.
Надмірності	Уникнення дублювання тексту, аудіо та візуальних елементів.	Баланс між різними каналами сприйняття з метою запобігання когнітивному перевантаженню в імерсивному середовищі.

Аналіз таблиці показує, що принцип надмірності в імерсивних середовищах набуває особливої ваги, оскільки збільшення кількості сенсорних стимулів може як підсилювати навчальний ефект, так і створювати ризик перевантаження [205], тому задача вчителя – створити саме таке імерсивне середовище навчання, за якого імерсивні технології будуть доповнювати, а не перевантажувати процес навчання.

Таким чином, порівняння мультимедійного та імерсивного навчання підтверджує, що імерсивні платформи та застосунки не замінюють мультимедійні засоби, а розширюють їхні можливості, забезпечуючи нові формати організації навчальної діяльності. При цьому чим більшим є рівень занурення, тим більшою є мотивація до навчання [60], оскільки такі середовища створюють сильне відчуття стану потоку в навчанні.

Додаток Ж. Платформи та застосунки імерсивного навчання

Ж.1. Універсальні платформи імерсивного навчання (кроспредметні)

Критерій добору: функціональне призначення платформи як засобу організації навчального процесу незалежно від предметної галузі.

AR_Book (<https://arbook.info/>) – українська освітня платформа, орієнтована на забезпечення безперервності освітнього процесу відповідно до чинних програм ЗЗСО. Пропонує інтерактивні уроки з елементами AR/VR, інструменти візуалізації навчального контенту та персоналізації навчання. Для вчителів передбачено конструктор уроків, аналітичні інструменти та можливості інтеграції з LMS. Обмеженням є часткова платність контенту та недостатня представленість матеріалів для старшої школи. Платформа забезпечує переважно візуально-інформаційний та частково інтерактивно-маніпулятивний рівні імерсивності.

mozaBook (<https://ua.mozaweb.com/uk>) – програмний продукт компанії Mozaik Education, який містить бібліотеку мультимедійних навчальних матеріалів, зокрема 3D-анімацій і симуляцій, що забезпечують візуально-інформаційний та інтерактивно-маніпулятивний рівні занурення. Платформа використовується у дистанційному та змішаному форматах навчання, особливо ефективна у природничо-математичних дисциплінах, зокрема для реалізації моделі «перевернутого класу». Недоліком є підвищені вимоги до технічних ресурсів.

CoSpaces Edu (<https://www.delightex.com/>) – інтерактивна платформа для створення користувацького 3D- та AR/VR-контенту (моделі, середовища, симуляції). Сприяє розвитку просторового мислення, основ програмування та цифрової компетентності. Використовується у дослідницькому та проєктному навчанні, зокрема в межах STEM-освіти. Платформа забезпечує інтерактивно-маніпулятивне та контекстно-діяльнісне занурення, особливо в межах проєктного та дослідницького навчання. Обмеженням є функціональні можливості безоплатної версії.

Merge EDU Platform – платформа, що поєднує фізичний пристрій Merge Cube з цифровими AR/VR-ресурсами для роботи з 3D-об'єктами [121]. Забезпечує наочність складних понять, підтримує дослідницьку діяльність та практико-

орієнтоване навчання, сприяє розвитку просторового мислення [442], реалізуючи сенсорний і частково контекстно-діяльнісний рівні імерсивності. Обмеженням є платна модель доступу.

ThingLink (<https://www.thinglink.com>) – платформа для створення інтерактивних зображень, відео, карт та віртуальних турів із використанням мультимедійних міток. Відзначається простотою інтерфейсу та доступністю для вчителів і учнів. Може застосовуватися для візуалізації навчального матеріалу та організації інтерактивної взаємодії. Обмеженням є відсутність інструментів складного моделювання. Алгоритм створення інтерактивного плаката в ThingLink [425] передбачає: реєстрацію на платформі, створення полотна з потрібним фоном, додавання мультимедійних матеріалів чи посилань, а також збереження та поширення готового матеріалу з можливістю редагування й налаштування доступу.

Nearpod (<https://nearpod.com/>) – платформа для проведення інтерактивних уроків у синхронному та асинхронному форматах. Забезпечує інтеграцію вікторин, опитувань, VR-екскурсій і засобів миттєвого зворотного зв'язку, а також автоматизовану звітність щодо результатів навчання [458]. Платформа реалізує переважно контекстно-діяльнісний та символічний (наративний) рівні занурення через інтерактивні сценарії уроків. Більшість розширених функцій доступні за підпискою.

Google Expeditions (припинена у 2021 р.) – освітня VR-платформа для віртуальних екскурсій, функціонал якої було інтегровано в *ExpeditionsPro* (<https://expeditionspro.com/>) та *Google Arts & Culture* (<https://artsandculture.google.com/>), що зумовлює доцільність їх розгляду в контексті розвитку педагогічних форм віртуальних екскурсій. Зазначені сервіси надають доступ до 360°-турів, освітніх відео та культурно-мистецьких колекцій [467; 487].

Ключовими особливостями платформи Google Arts & Culture є висока якість візуального матеріалу (Art Camera), віртуальні екскурсії на основі Street View, інтерактивні інструменти, освітні матеріали та мобільний застосунок з елементами доповненої реальності [430].

Panoform (<https://panoform.com/>) – безоплатний інструмент для перетворення 2D-зображень у VR-середовище. Використовується для створення віртуальних просторів та організації групової роботи. Потребує наявності VR-окулярів і базових технічних навичок користувачів [584].

ClassVR (<https://www.classvr.com/>) – інтегрована шкільна VR/AR-платформа, що поєднує гарнітури з бібліотекою готових навчальних матеріалів та порталом для вчителя. Забезпечує централізоване управління навчальними матеріалами і підтримку очного, дистанційного та змішаного навчання. Платформа створює умови для високого рівня сенсорного занурення, яке набуває педагогічної цілісності за наявності відповідного методичного сценарію.

Assemblr (<https://www.assemblrworld.com/>) – екосистема для створення та використання AR-, VR- та 3D-контенту, доступна через веб- і мобільні застосунки. Включає Assemblr Studio (створення AR-контенту), Assemblr EDU (освітні набори та проекти) та Assemblr Metaverse (віртуальні простори для спільної роботи). Платформа забезпечує наочну візуалізацію навчального матеріалу, підтримку проектної діяльності та використання в різних форматах навчання і дає змогу поєднувати візуально-інформаційний, інтерактивно-маніпулятивний та наративний рівні імерсивності.

ENGAGE XR (<https://engagevr.io/>) – універсальна VR-платформа для організації віртуальних класів, семінарів і конференцій. Дозволяє створювати інтерактивні навчальні середовища з підтримкою 3D-моделей, спільної роботи учнів та вчителів, інтеграції мультимедіа і елементів симуляцій. Підходить для синхронного та асинхронного навчання у різних предметних галузях. Платформа забезпечує високий рівень сенсорного та інтерактивно-маніпулятивного занурення, особливо ефективна для організації проектної та дослідницької діяльності.

Axon Park з III (<https://www.axonpark.com/>) – VR-платформа, що використовує елементи штучного інтелекту для адаптації навчальних матеріалів під потреби учнів. Підтримує інтерактивні уроки, симуляції та квести у віртуальному просторі. Сприяє індивідуалізації навчання, розвитку критичного мислення та навичок командної роботи, а також формуванню дослідницьких

компетентностей через імерсивні сценарії.

Ж.2. Віртуальні лабораторії та симуляційні середовища для STEM

Критерій: дидактична функція (дослідницьке або експериментальне навчання).

Labster (<https://www.labster.com/>) – платформа віртуальних лабораторій із 3D-симуляціями для виконання експериментів у безпечному цифровому середовищі за заданими або напіввідкритими сценаріями. Підтримує інтерактивні елементи, автоматизований зворотний зв'язок, багаторазове відпрацювання та інтеграцію з LMS для оцінювання й моніторингу результатів навчання.

PhET Interactive Simulations (<https://phet.colorado.edu/>) – колекція інтерактивних симуляцій із фізики, хімії, біології та математики, що забезпечують параметричне керування моделями й наочну візуалізацію абстрактних понять. Платформа працює на основі HTML5, доступна через браузер і підтримує офлайн-використання.

LabXchange (<https://www.labxchange.org/>) – платформа інтерактивних лабораторних симуляцій та навчальних модулів із віртуальним зошитом для фіксації цілей, перебігу та результатів експериментів. Надає можливість створювати навчальні траєкторії, поєднувати симуляції з мультимедійними навчальними матеріалами та підтримує спільне навчання.

Go-Labz (<https://www.golabz.eu/labs>) – європейська платформа з колекцією онлайн-лабораторій і симуляцій для дослідницького навчання (Inquiry Learning Spaces). Проєкт завершено у 2023 р., проте доступ до матеріалів збережено для освітнього використання.

PraxiLabs (<https://praxilabs.com/>) – комерційна платформа віртуальних 3D-лабораторій із фізики, хімії та біології. Пропонує інтерактивні експерименти, можливість інтеграції з LMS та використання в дистанційному й змішаному навчанні.

MERLOT Virtual Labs (<https://virtuallabs.merlot.org/>) – репозиторій відкритих освітніх ресурсів, що містить колекцію віртуальних лабораторій і симуляцій із дисциплін STEM. Забезпечує доступ до інтерактивних моделей, методичних матеріалів і прикладів упровадження в процес навчання.

ExploreLearning Gizmos (<https://www.explorellearning.com/>) – платформа платних онлайн-симуляцій з математики та природничих наук для учнів 3-12 класів. Забезпечує інтерактивне керування параметрами моделей, вбудоване оцінювання та звітність для вчителів.

OLabs (<https://www.olabs.edu.in>) – безоплатна онлайн-платформа віртуальних лабораторій з фізики, хімії, біології, математики та інформатики (6-12 класи), що поєднує симуляції з теоретичними матеріалами, відео й тестами та підтримує офлайн-доступ.

Molecular Workbench (<https://mw.concord.org/>) – платформа (та колекція навчальних модулів) для вивчення молекулярних процесів на основі інтерактивного моделювання атомів, молекул і хімічних реакцій. Доступна у вебверсії та у вигляді завантажуваних пакетів, підтримує створення власних моделей.

Tinkercad (<https://www.tinkercad.com/>) – безоплатна онлайн-платформа компанії Autodesk для 3D-моделювання, створення електронних схем і програмування мікроконтролерів Arduino. Використовується як допоміжний симуляційний інструмент у STEM-освіті для проєктування, візуалізації інженерних рішень і підготовки моделей до 3D-друку. Платформа підтримує проєктну діяльність і розвиток інженерного мислення, проте не містить вбудованих навчальних сценаріїв чи інструментів управління навчальним процесом.

BookVAR – мобільний застосунок з елементами доповненої реальності, що використовується для демонстраційних та напівекспериментальних навчальних сценаріїв, орієнтований на вивчення природничих наук. Забезпечує віртуальні та AR-експерименти, що моделюють складні або потенційно небезпечні процеси, а також інтеграцію з навчальними матеріалами у форматі розширеної візуалізації [546]. Обмеженням є вузька предметна спрямованість застосунку.

Inspirit VR (<https://inspiritvr.com/>) – платформа віртуальних лабораторій і симуляцій для вивчення природничих наук, що забезпечує виконання експериментів у 3D-середовищі з керованими сценаріями та інтерактивними елементами. Платформа орієнтована на підтримку дослідницького навчання,

формування експериментальних умінь і візуалізацію складних процесів на мікро- та макрорівнях.

Veative (<https://gemini.google.com/>) – платформа інтерактивних STEM-симуляцій, орієнтована на концептуальне та дослідницьке навчання з фізики. Забезпечує візуалізацію процесів і параметричне керування моделями, проте не реалізує повного циклу лабораторного експерименту.

Ж.3. Імерсивні технології для навчання математики

Ж.3.1. 3D-візуалізація та динамічна математика

GeoGebra 3D (<https://www.geogebra.org/3d>) – складник системи комп'ютерної математики GeoGebra, що забезпечує тривимірне моделювання математичних об'єктів. Платформа доступна у вебверсії та у вигляді окремих застосунків для мобільних пристроїв і персональних комп'ютерів. Реєстрація користувачів надає можливість збереження побудов у хмарному середовищі та організації спільної роботи вчителя й учнів.

Desmos 3D – інструмент для візуалізації математичних функцій у тривимірному просторі. Забезпечує побудову графіків функцій, поверхонь і параметричних рівнянь із можливістю динамічної зміни параметрів, анімації та керування кутом огляду. Застосовується для дослідження просторових об'єктів і аналізу залежностей між змінними.

Dr. Geo (<https://www.drgeo.eu>) – вільнопоширювана програма для динамічної геометрії з відкритим кодом. Надає користувачам можливість створювати геометричні конструкції, які змінюються в реальному часі залежно від руху точок. Має можливість інтеграції зі скриптами мовою програмування, що відкриває додаткові можливості для навчання програмуванню в контексті геометрії.

Kig (<https://edu.kde.org/kig>) – програмне забезпечення для динамічної геометрії з відкритим кодом, яке дозволяє створювати та досліджувати геометричні конструкції. Kig підтримує скрипти, імпорт формул та взаємодію з алгебраїчними виразами, що робить його корисним для дослідницького підходу в навчанні геометрії.

Sketchometry (<https://sketchometry.org>) – вебзастосунок для малювання та

дослідження геометричних об'єктів за допомогою сенсорного інтерфейсу. Учень може просто «намалювати» побудову пальцем або стилусом, а система автоматично перетворює її на точну геометричну конструкцію. Платформа ефективна для використання на інтерактивних панелях, планшетах і підходить для молодших і середніх класів.

Math3d (<https://www.math3d.org/>) – безоплатна вебплатформа для візуалізації функцій, поверхонь і геометричних об'єктів у тривимірному просторі. Орієнтована на підтримку викладання алгебри, математичного аналізу та геометрії, забезпечує інтерактивну взаємодію з графіками в режимі реального часу та використання параметричних змінних.

CalcPlot3D (<https://c3d.libretexts.org/CalcPlot3D/index.html>) – вебзастосунок для візуалізації функцій кількох змінних. Дає змогу будувати й аналізувати поверхні, криві, векторні поля та інші математичні об'єкти у тривимірному просторі; використовується у вивченні елементів вищої математики.

Graphing Calculator 3D – кросплатформне програмне забезпечення для побудови дво- та тривимірних графіків математичних функцій. Підтримує параметричні криві, рівняння поверхонь, векторні об'єкти та анімацію параметрів, а також експорт результатів візуалізації для подальшого використання в навчальних матеріалах.

Manim (Mathematical Animation Engine) – програмне середовище з відкритим вихідним кодом для створення математичних візуалізацій і анімацій. Працює на основі мови програмування Python та використовується для пояснення математичних понять за допомогою динамічної графіки, зокрема у створенні навчальних відео й симуляцій. Manim використовується переважно для створення навчальних матеріалів учителем і не передбачає безпосередньої інтерактивної взаємодії учнів із середовищем у реальному часі.

Ж.3.2. Геометрія та просторове мислення (AR)

Geometria RA – мобільний застосунок із використанням доповненої реальності для візуалізації геометричних тіл. Забезпечує інтерактивну взаємодію з тривимірними моделями, що сприяє формуванню просторових уявлень і розумінню властивостей геометричних об'єктів.

RA Augmented Polyhedrons – мобільний AR-застосунок для візуалізації многогранників у реальному середовищі. Дає змогу досліджувати просторові характеристики геометричних тіл шляхом обертання, масштабування та інтерактивної взаємодії з 3D-моделями.

Sólidos RA – освітній мобільний застосунок із доповненою реальністю, призначений для навчання стереометрії. Забезпечує візуалізацію геометричних тіл, їхніх розгорток і моделей за допомогою QR-кодів, а також містить інструменти для створення та моделювання дво- й тривимірних об'єктів.

Arloon Geometry – освітній мобільний застосунок, що використовує доповнену реальність для вивчення геометрії. Надає можливість досліджувати геометричні тіла через інтерактивні 3D-моделі, розгортки та приклади застосування формул для обчислення площ і об'ємів.

Geometría Realidad Aumentada – мобільний застосунок для Android, орієнтований на візуалізацію тривимірних геометричних тіл із використанням технології доповненої реальності. Надає можливість проєктувати різні типи тіл у реальне середовище, що сприяє розвитку просторового мислення та підвищенню мотивації до навчання.

Дослідницько-освітній проєкт **Augmented Math**, що демонструє підхід до інтеграції AR у навчальні матеріали з математики. В основі проєкта покладено ідею створення інтерактивних навчальних матеріалів з використанням доповненої реальності із статичних сторінок підручника. На сайті розробників (<https://github.com/ucalgary-ilab/augmented-math>) є готові навчальні матеріали, які можна використовувати за допомогою певного алгоритму, а можна створювати власні навчальні матеріали, оскільки проєкт є безоплатним з відкритими кодами доступу та покроковою інструкцією.

Ж.3.3. Мобільні застосунки для візуалізації функцій

Function Graphs Plotter – безоплатний мобільний застосунок для візуалізації та дослідження математичних функцій, який забезпечує наочність абстрактних математичних понять, надає можливість швидко перевіряти гіпотези при дослідженні функцій. Сприяє підтримці самостійної та індивідуальної роботи учнів.

3D Function Plotter – мобільний застосунок для візуалізації тривимірних функцій. Підтримує побудову функцій двох змінних у декартових, циліндричних і сферичних координатах, а також інтерактивну навігацію та експорт результатів візуалізації.

3D Graphing Calculator – мобільний застосунок для побудови графіків функцій у тривимірному просторі. Забезпечує візуалізацію функцій кількох змінних, параметричних кривих і поверхонь, підтримує інтерактивну навігацію та використовується у вивченні алгебри, геометрії й математичного аналізу.

Ж.3.4. Інтерактивні навчальні платформи з елементами імерсивної взаємодії

До цієї групи віднесено освітні платформи, які не є імерсивними у технологічному розумінні, проте реалізують окремі механізми імерсивної взаємодії через інтерактивні симуляції, маніпуляцію математичними об'єктами, персоналізовані сценарії навчання та гейміфікацію.

Mathigon (<https://uk.mathigon.org>) – онлайн-платформа для учнів середньої та старшої школи. Містить навчальний матеріал з геометрії, чисел, теорії ймовірностей та статистики. Основний інструмент – Polypad, віртуальна дошка з математичними маніпулятивами. Платформа безоплатна, частково підтримує українську мову; основні матеріали розміщено англійською мовою.

Khan Academy (<https://uk.khanacademy.org>) – платформа, що містить безоплатні уроки зі шкільних предметів, зокрема з математики, включаючи відео, інтерактивні вправи та тести. Учитель може зареєструвати учнів на платформі як окремий клас і надавати навчальний матеріал, який учні опрацьовують у власному темпі. Khan Academy підтримує персоналізоване навчання та дозволяє відстежувати прогрес здобувачів.

Prodigy Math (<https://www.prodigygame.com/>) – гейміфікована платформа, яка поєднує навчання математики з елементами пригодницької гри. Учні можуть виконувати математичні завдання у формі змагань з іншими гравцями. Платформа дозволяє адаптувати складність завдань відповідно до рівня знань учня, тим самим підтримуючи індивідуальну освітню траєкторію.

Brilliant (<https://brilliant.org>) – освітній ресурс, який пропонує інтерактивні

курси з математики та природничих наук. Курси побудовані на принципах активного навчання: учні вивчають нові поняття шляхом розв'язання проблем, застосування знань до задач і проведення мініекспериментів. Brilliant особливо ефективний для розвитку математичного мислення та навичок розв'язування задач.

Окреме місце серед імерсивних засобів навчання математики займають спеціалізовані VR-середовища, зокрема **Prisms VR**, які забезпечують повне віртуальне занурення учнів у процес розв'язування математичних задач.

Ж.4. Імерсивні технології для навчання фізики

Ж.4.1. Симуляційні та віртуальні середовища для моделювання фізичних процесів

Algodoo (<https://www.algodoo.com/>) – двовимірний симулятор фізичних процесів (Windows, macOS – безоплатно; iPadOS – платно). Моделює механіку, гідродинаміку, оптичні явища; підтримує графіки та векторні візуалізації. Підтримує обмін моделями через Algodoo.

Physics Lab – безоплатний мобільний застосунок для Android, розроблений компанією Civitas Quantum Physics, призначений для моделювання електричних схем і фізичних експериментів у тривимірному середовищі. Застосунок містить понад 100 компонентів (резистори, джерела живлення, лампи тощо) та забезпечує візуалізацію поведінки схем у реальному часі, зокрема електромагнітних полів і силових ліній. Інструмент орієнтований на інтерактивне навчання фізики та підтримку дослідницької діяльності учнів.

Ж.4.2. Віртуальні та доповнені середовища для вивчення фізичних явищ (VR/AR)

CERN Science Gateway VR (<https://visit.cern/>) – безоплатний віртуальний ресурс, що надає 360° тури та відеоматеріали для ознайомлення з дослідницькою інфраструктурою CERN, зокрема Великим адронним колайдером і детекторами. Матеріали доступні через веббраузер і сумісні з VR-окулярами, зокрема Google Cardboard, без необхідності встановлення спеціалізованих застосунків.

HoloLab AR – серія безоплатних мобільних освітніх застосунків для iOS, розроблених LightUp Inc., що реалізують AR-лабораторії для вивчення фізичних і

природничих явищ. Застосунки поєднують тривимірну візуалізацію, інтерактивні сценарії та голосовий супровід віртуального помічника, що надає пояснення до експериментів.

AR-in-Physics – безоплатний мобільний застосунок, розроблений Гонконзьким політехнічним університетом. Застосунок забезпечує візуалізацію фізичних явищ у доповненій реальності та охоплює теми механіки, електрики, молекулярної фізики, оптики й атомної будови. Користувачі можуть змінювати параметри моделей і спостерігати результати експериментів у режимі реального часу.

PHYWE Augmented Reality – мобільний застосунок для Android та iOS, створений компанією PHYWE Systeme GmbH & Co. KG, який доповнює традиційні фізичні експерименти AR-візуалізацією. Доступ до навчальних матеріалів здійснюється шляхом сканування QR-кодів, зокрема з можливістю інтеграції з вимірювальними сенсорами Cobra SMARTsense, що забезпечує поєднання реальних вимірювань і віртуального відображення даних.

Physics Lab AR – безоплатний мобільний застосунок для iOS, розроблений Turtle Sim LLC, який дає змогу створювати та досліджувати електричні схеми в середовищі доповненої реальності. Інструмент підтримує візуалізацію електромагнітних полів і параметрів роботи схем, сприяючи кращому розумінню фізичних процесів.

AR Physics Experiment – безоплатний мобільний застосунок для Android, що реалізує ігровий підхід до вивчення фізики через AR-сценарії. Застосунок використовує фізичний рушій JBullet і дає змогу експериментувати з параметрами руху, тертя, маси, густини та гравітації у віртуально доповненому просторі.

AR Circuits 4D – освітній застосунок для вивчення електричних кіл, що використовує технології доповненої реальності та маркерні картки з компонентами. Користувачі можуть створювати послідовні, паралельні та комбіновані схеми, а також вимірювати напругу й силу струму за допомогою віртуальних інструментів.

360ed Highschool Physics – мобільний освітній застосунок із підтримкою AR і 3D-моделювання, орієнтований на вивчення фізики у старшій школі.

Застосунок поєднує AR-картки, інтерактивні експерименти, анімовані навчальні матеріали та елементи контролю знань.

Phyphox (<https://phyphox.org/>) – безоплатний мобільний застосунок, розроблений RWTH Aachen University, який перетворює сенсори смартфона на інструменти для проведення фізичних експериментів. Додаток дозволяє учням і студентам збирати та аналізувати дані з акселерометра, гіроскопа, мікрофона, магнітометра, камери та інших сенсорів пристрою.

Ж.4.3. Допоміжні мобільні та мультимедійні ресурси з елементами імерсивності

Wave AR – мобільний застосунок для iOS, який використовує доповнену реальність для візуалізації хвильових і екологічних даних у реальному часі (інтенсивність звуку, освітлення, Wi-Fi-сигналу). Хоча застосунок не є спеціалізованим засобом навчання фізики, його функціональні можливості можуть бути використані для ілюстрації хвильових процесів і розповсюдження фізичних полів.

NSS Mobile Physics – безоплатний мобільний застосунок, розроблений Oxford University Press (China), який надає доступ до мультимедійних навчальних матеріалів з фізики, що супроводжують підручники серії NSS Physics at Work. Застосунок підтримує інтеграцію текстового матеріалу з візуалізаціями та мультимедійними навчальними матеріалами.

AR 3D Science – мобільний застосунок для Android, розроблений Panther Studio, який використовує доповнену реальність для вивчення базових понять фізики, хімії та біології. Застосунок забезпечує інтерактивну роботу з 3D-моделями в режимах онлайн та офлайн і може використовуватися як допоміжний засіб для наочного пояснення окремих фізичних концепцій.

AR Physics Classes – мобільний застосунок для Android, що перебуває на стадії апробації та орієнтований на створення навчальних матеріалів з фізики з використанням елементів доповненої реальності. Через експериментальний статус застосунок має обмежене поширення в освітній практиці.

Ж.5. Імерсивні технології для навчання хімії

Ж.5.1. Мобільні та вебзастосунки для 3D-візуалізації молекул

Мобільні застосунки:

Molecular Constructor (<https://molconstr.com/>) – безоплатний мобільний застосунок для створення та візуалізації тривимірних моделей хімічних сполук. Забезпечує інтуїтивне моделювання молекул відповідно до правил валентності, реалістичну 3D-візуалізацію та сприяє розвитку просторової уяви під час вивчення хімії;

ModMol – мобільний застосунок для 3D-візуалізації органічних і неорганічних молекул із можливістю редагування структур за допомогою елементів періодичної системи та функціональних груп;

Chemistry AR+ – безоплатний мобільний застосунок, що забезпечує інтерактивне дослідження молекулярних структур, атомних орбіталей та інших хімічних концепцій;

ModelAR Organic Chemistry – мобільний застосунок з AR для візуалізації та взаємодії з тривимірними молекулами, що сприяє розумінню стереохімії;

360ed's Element AR – мобільний застосунок для вивчення хімічних елементів і сполук на основі маркерної AR із фізичними флешкартками.

Вебзастосунки:

Molecularweb (<https://molecularweb.epfl.ch/>) – освітня вебплатформа, що застосовує технології доповненої реальності для вивчення хімії та біології. Містить інтерактивні середовища для дослідження структури молекул, створення власних AR-моделей і візуалізації без маркерів. Окремі модулі охоплюють теми орбіталей, симетрії, водневих зв'язків, кислотно-основної взаємодії та структури біомолекул;

MolView (<https://molview.org>) – вебзастосунок для побудови структурних формул та їх перетворення на 3D-моделі. Підтримує перегляд молекул у різних представленнях, включаючи лінійні та сітчасті структури.

Десктопні програми:

Avogadro (<https://avogadro.cc>) – молекулярний редактор із відкритим вихідним кодом, що підтримує мультимовний інтерфейс та надає можливість створювати й редагувати 3D-моделі молекул, зокрема полімери. Потребує встановлення на комп'ютер, але є найпрогресивнішим для візуалізації моделей

молекул;

ChemDoodle 3D (<https://www.chemdoodle.com/3d>) – професійний інструмент для 3D-моделювання молекул та їхнього графічного представлення. Потребує встановлення на комп'ютер і є платним.

VMD (Visual Molecular Dynamics) (<https://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd/>) – програма для візуалізації, анімації та аналізу великих біомолекулярних систем за допомогою 3D-графіки та вбудованого скриптування. Потребує встановлення, а робота з програмою передбачає імпортування готових структур.

Jmol (<https://jmol.sourceforge.net/>) – програма для візуалізації молекулярних структур із відкритим кодом доступу, яка може бути як встановлена на комп'ютер, так і мати вебверсію. Підтримує перегляд молекул у різних представленнях, надає можливість вимірювати кути та довжини молекулярних зв'язків.

Ж.5.2. Віртуальні лабораторії та інтерактивні експерименти

ChemCollective (<https://chemcollective.org/>) – освітня платформа з віртуальною лабораторією, інтерактивними задачами та сценаріями реальних експериментів; підтримує аналіз результатів і зміну параметрів експериментів.

ChemSketch (<https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/>) – безоплатне програмне забезпечення для побудови та візуалізації хімічних структур у 2D- і 3D-форматах. Дає змогу створювати органічні й неорганічні сполуки, автоматично генерувати назви за IUPAC, формувати хімічні схеми й обчислювати молекулярні параметри.

Використання цих ресурсів сприяє інтерактивному навчанню, розвитку дослідницьких компетентностей та просторового мислення.

Ж.5.3. Використання доповненої реальності для навчання хімії

Augmented Math – Chemistry Modules (<https://github.com/ucalgary-ilab/augmented-math>) – безоплатний проєкт із відкритим кодом, що надає можливість створювати інтерактивні навчальні матеріали з AR. Особливістю є те, що AR дозволяє демонструвати молекули та хімічні реакції у реальному середовищі, підтримує індивідуальні та групові досліди. Для використання потрібні базові навички роботи з комп'ютером та планшетом, але для вчителя

проект надає готові навчальні матеріали та інструкції.

Використання цих технологій у навчанні хімії: 1) забезпечує інтерактивне та наочне вивчення абстрактних хімічних понять; 2) розвиває просторове мислення та стереохімічне сприйняття; 3) підтримує індивідуальну та колективну роботу; 4) формує дослідницькі компетентності через експериментальні моделі в AR/VR-середовищі.

Ж.6. Імерсивні технології для навчання біології

Ж.6.1. Мобільні та вебзастосунки для 3D-візуалізації біологічних об'єктів

Visible Body Biology – безоплатна освітня платформа з інтерактивними 3D-моделями та анімаціями біологічних процесів. Орієнтована на учнів середньої та старшої школи, студентів і викладачів. Сприяє розвитку просторового мислення та розумінню анатомічної та молекулярної структур організму.

iMolView Lite – мобільний застосунок для перегляду 3D-структур білків, ДНК та малих молекул. Підтримує завантаження моделей із баз PDB, DrugBank та PubChem, їх обертання та масштабування. Забезпечує інтерактивну взаємодію з молекулярними моделями.

Mol* Viewer (<https://molstar.org/>) – вебінструмент для перегляду та аналізу 3D-структур білків, нуклеїнових кислот та їхніх комплексів. Дозволяє виділяти ланцюги, обертати та масштабувати молекули, сприяючи наочному вивченню молекулярних структур.

NGL Viewer (<http://nglviewer.org/ngl/>) – вебпереглядач для 3D-візуалізації білків та ДНК з інтерактивним обертанням, масштабуванням та вибором стилю відображення (стрічки, стержні, поверхні). Підтримує наочне сприйняття молекулярних структур, але не має елементів AR/VR.

Molecularweb (<https://molecularweb.epfl.ch/>) – освітня вебплатформа з доповненою реальністю для створення AR-моделей молекул. Дозволяє інтерактивно обертати та масштабувати молекули, що підвищує наочність і залученість учнів у процес навчання біології та хімії.

Ж.6.2. Освітні ресурси та інтерактивні лабораторії

Ask A Biologist (<https://askabiologist.asu.edu/>) – інтерактивний ресурс із віртуальними лабораторіями, іграми, вікторинами та 360°-турами. Охоплює

клітинну будову, анатомію, екосистеми та поведінку тварин; підходить для старшої школи.

Learn.Genetics (<https://learn.genetics.utah.edu/>) – освітній ресурс, який пропонує безоплатні інтерактивні навчальні матеріали з генетики, біонаук та охорони здоров'я. Платформа для вчителів Teach.Genetics (<https://teach.genetics.utah.edu/>) містить готові навчальні модулі, лабораторні зошити та проєкти, що відповідають стандартам для середньої та старшої школи, а також інструменти для організації досліджень генетичних захворювань, аналізу мутацій та вивчення впливу навколишнього середовища.

BioMan Biology (<https://biomanbio.com/>) – вебсайт з інтерактивними іграми, лабораторіями та вікторинами; охоплює клітинну структуру, генетику, екологію, еволюцію та фізіологію людини.

HHMI Biointeractive (<https://www.biointeractive.org>) – ресурс із віртуальними лабораторіями, анімаціями, відео та симуляціями біологічних процесів; включає методичні рекомендації та готові плани уроків.

Suburban Science Virtual Labs (<https://suburbanscience.com/virtual-anatomy-labs/>) – віртуальні лабораторії та інтерактивні матеріали для старшої школи; охоплюють клітинні процеси, генетику, екологію та фізіологію.

Virtual Biology Lab (<https://virtualbiologylab.org/>) – онлайн-ресурс із моделями для експериментів; теми охоплюють популяційну екологію, генетику, біогеографію та поведінкову екологію.

Педагогічна цінність та імерсивний ефект полягають у такому: 1) ресурси забезпечують інтерактивне та наочне вивчення складних біологічних процесів і структур; 2) розвивають просторове мислення та критичне сприйняття молекулярної та клітинної будови; 3) підтримують індивідуальну та групову роботу, інтегрують AR/VR-технології для проведення віртуальних експериментів і симуляцій біологічних явищ; 4) надають можливість педагогічно обґрунтовано добирати цифрові інструменти відповідно до змісту навчального матеріалу та вікових особливостей учнів.

Ж.7. Імерсивні технології для навчання географії

Ж.7.1. Мобільні та вебзастосунки для 3D-візуалізації та AR-ландшафтів

LandscapAR Augmented Reality – безоплатний мобільний застосунок для Android, що дає змогу створювати тривимірні ландшафти на основі ескізів. Користувачі креслять горизонталі на папері, сканують їх камерою, і додаток генерує об’ємний ландшафт у доповненій реальності. Для точного сканування рекомендовано використовувати білий папір на темному тлі та товстий темний маркер. Застосунок не збирає персональні дані та відповідає політиці конфіденційності.

Google Earth / Google Earth AR – глобальна платформа для дослідження Землі у 3D, зокрема віртуальні тури та інтерактивні карти. AR-версія надає можливість проєктувати рельєфи та географічні об’єкти в реальному просторі. Підтримує навчання через моделювання місцевості, визначення координат та аналіз топографії.

Google Earth VR – версія для VR-окулярів, що забезпечує повне занурення у тривимірний світ Землі. Підходить для демонстрації рельєфу, кліматичних зон і географічних об’єктів у режимі віртуальної подорожі.

Ж.7.2. Інтерактивні навчальні ігри та платформи

GeoGuessr – онлайн-гра, яка розвиває навички орієнтування на місцевості, знання географії світу та просторову уяву. Учні визначають місце розташування за панорамними знімками Google Street View.

GeoGeek AR – Geography Quiz – мобільний застосунок із гейміфікованими завданнями для вивчення карт, країн, столиць та географічних явищ із використанням AR.

AR Planet – мобільний ресурс із доповненою реальністю для дослідження планетарних систем, глобальних ландшафтів та географічних об’єктів у реальному масштабі.

Ж.7.3. Вебресурси та картографічні інструменти

National Geographic Education – освітній портал з інтерактивними картами, відео та навчальними матеріалами з географії та екології; підтримує візуалізацію природних процесів та культурних явищ.

MapChart (<https://www.mapchart.net/>) – вебсервіс для створення кастомізованих карт країн, континентів, адміністративних регіонів та тематичних карт.

Arloopa – мобільний застосунок, що поєднує AR- та VR-технології для інтерактивного дослідження місцевості, глобальних карт та історичних об'єктів.

ArcGIS Instant Atlas, Google Street View, Earth 3D Map, CleverBooks Geography – інструменти для інтерактивного вивчення карт, просторового аналізу, побудови тематичних карт та 3D-моделювання рельєфу.

Педагогічна цінність та імерсивний ефект: 1) забезпечують наочне та інтерактивне вивчення рельєфу, кліматичних зон, географічних об'єктів і явищ; 2) розвивають просторове мислення, орієнтацію на місцевості та аналітичні навички роботи з картами; 3) підтримують індивідуальну та групову роботу, інтегруючи AR/VR-елементи у навчальні проєкти та симуляції; 4) дозволяють педагогічно обґрунтовано добирати цифрові інструменти відповідно до змісту курсу, віку учнів і дидактичних цілей.

Ж.8. Імерсивні технології для навчання астрономії

Ж.8.1. Мобільні та вебзастосунки для 3D-візуалізації космосу та AR

Spacecraft 3D – безоплатний мобільний застосунок для iOS та Android, що надає можливість переглядати тривимірні моделі космічних апаратів у доповненій реальності. Підтримує обертання та масштабування моделей, забезпечує інтерактивне занурення та сприяє розумінню конструкції й роботи космічних апаратів. Використовується як для навчання, так і для популяризації космічних технологій.

Star Walk 2 – мобільний віртуальний планетарій, що дозволяє користувачам визначати та досліджувати небесні об'єкти (зорі, сузір'я, планети, супутники) у режимі реального часу наведенням камери на небо. Забезпечує доповнену реальність, інтерактивні моделі сузір'їв та навчальні довідники з небесних тіл. Застосунок має безоплатну та платну версії з додатковими матеріалами.

Planets AR – безоплатний мобільний застосунок для Android, що дозволяє вивчати Сонячну систему в доповненій реальності. Підтримує спостереження

планет, їхніх супутників і карликових планет у реальному часі, а також у нічному режимі. Забезпечує інтерактивне використання фотознімків для навчальних проєктів.

Ж.8.2. Вебресурси та інтерактивні симуляції

Stellarium Web – вебпланетарій із підтримкою 3D-візуалізації, що дозволяє моделювати рух небесних тіл, створювати віртуальні небесні карти та досліджувати сузір'я та планети в реальному часі.

NASA Eyes on the Solar System – безоплатна вебплатформа для інтерактивного дослідження Сонячної системи, космічних апаратів та місій NASA. Дозволяє змінювати масштаб, обертати моделі та спостерігати реальні орбіти космічних об'єктів.

Universe Sandbox – симулятор космічних процесів із 3D-графікою та фізичними моделями, що дозволяє змінювати параметри планет, зоряних систем і спостерігати наслідки змін у режимі реального часу.

Celestia – безоплатна десктопна програма для вивчення космосу, яка надає інтерактивний 3D-огляд планет, зірок та галактик. Підтримує вільне переміщення у космосі та моделювання космічних подій.

Додаток К. Типи уроків із використанням імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів

Розглянемо можливі форми організації уроків із природничо-математичних предметів у розрізі використання імерсивних технологій у різних моделях організації процесу навчання, що описані в дослідженні. Для більшої наочності всі типи уроків групуються відповідно до процедурної, інструктивно-діяльнісної та функціонально-мотиваційної моделей.

1. *Процедурна модель* задає логіку послідовності навчальних дій учня, поєднуючи змістовий, операційний та рефлексивний компоненти процесу навчання. У межах цієї моделі уроки структуровані послідовно, із чітко визначеними етапами діяльності та контролем результатів. Водночас процедурна модель передбачає поступовий розвиток автономності учня, поєднуючи контрольоване опрацювання матеріалу з можливістю самостійного прийняття рішень.

До типових моделей уроку, які реалізують ідеї *процедурної моделі* в умовах імерсивного навчального середовища, належать:

– *урок пояснення нового матеріалу з візуалізацією*, який передбачає подання теоретичного матеріалу з використанням імерсивних засобів для кращого розуміння складних, абстрактних або просторових понять. Такий урок сприяє формуванню декларативних знань на основі візуально-когнітивної опори та підвищує рівень доступності;

– *урок відпрацювання навичок*, який спрямований на закріплення вивченого матеріалу шляхом багаторазового виконання процедур у змодельованому середовищі. Імерсивні технології забезпечують імітацію лабораторних чи практичних дій (наприклад, побудова графіків, розв'язання задач, виконання вимірювань), що сприяє підвищенню точності та результативності формування процедурних знань. Такий урок, як було зазначено вище, може приводити до помилкового уявлення про безпомилковість виконання завдань учнем, тому є доцільним лише при виконанні практичних завдань, які неможливо виконати в умовах класу;

– **урок-практикум** (віртуальний лабораторний) – реалізується як симульоване виконання експериментів у природничих науках (фізика, хімія, біологія), де дотримання алгоритму дій є обов’язковим. Імерсивне середовище дозволяє проводити практикуми без використання реальних матеріалів, що особливо корисно за обмеженого ресурсного забезпечення;

– **комбінований урок**, структура якого поєднує коротке пояснення, фронтальну роботу з імерсивними навчальними матеріалами, відпрацювання навичок і первинний контроль результатів. Такий тип уроку забезпечує збалансовану реалізацію кількох дидактичних цілей у межах однієї теми, підтримуючи алгоритмічну логіку навчання. Комбіновані уроки є найбільш поширеною формою організації уроків в академічних ліцеях;

– **урок-контроль** (наприклад, імерсивне тестування чи діагностика знань) використовує інтерактивне середовище для перевірки сформованих умінь і навичок. Наприклад, учень виконує симуляцію експерименту з дотриманням алгоритму, а система фіксує правильність етапів. Такий формат контролю відповідає особливостям процедурного мислення й дозволяє об’єктивно оцінити рівень сформованості знань. Варто зазначити, що вчитель також може контролювати правильність взаємодії учня з імерсивним середовищем через спостереження та аналіз дій.

2. *Інструктивно-діяльнісна модель* деталізує процес реалізації навчальних процедур, забезпечує поступовий перехід від зовнішнього керування вчителя до самостійної діяльності учнів. Імерсивне середовище спочатку виконує допоміжну функцію (візуалізація, демонстрація), а з розвитком компетентностей учнів стає інтерактивним дослідницьким простором. Роль учителя поступово зменшується. Для інструктивно-діялісної моделі організації навчання притаманна більша частина типів уроків процедурної моделі, але слід додати такі типи уроків:

– **урок цілеспрямованої взаємодії з імерсивним середовищем** базується на покроковому виконанні завдань в імерсивному середовищі навчання. Такий тип уроку може бути застосований на початку роботи із середовищем для уникнення негативних наслідків роботи з ним. Взаємодія учнів із середовищем відбувається

під чітким керівництвом вчителя або віртуального наставника через виконання певних інструкцій, що забезпечує безпечне навчання з поступовим зростанням складності;

– **урок-тренажер** спрямований на багаторазове повторення дій у змодельованому середовищі з можливістю корекції помилок. Імерсивне середовище виконує роль адаптивного тренажера з миттєвим зворотним зв'язком. Учні мають змогу вдосконалювати конкретні вміння й навички, отримуючи підказки, нагадування, автоматичне оцінювання;

– **урок-інструктаж** передбачає ознайомлення учнів із процедурою виконання завдання в імерсивному середовищі за допомогою демонстрації дій вчителем або віртуальним інструктором, після чого учні самостійно виконують завдання з поступовим зменшенням допомоги. Важливим елементом є перехід від зовнішньої інструкції до внутрішньої регуляції навчальних дій.

3. *Функціонально-мотиваційна модель* розглядає імерсивне середовище як концептуальну основу організації навчання. Від етапу мотивації до рефлексії освітня діяльність учнів відбувається у межах імерсивного простору, де учні не лише відтворюють знання, а й створюють власні освітні продукти, досліджують і взаємодіють.

До типових моделей уроку, які органічно інтегруються у *функціонально-мотиваційну модель*, належать:

– **урок-кейс**, який ґрунтується на розв'язанні учнями реалістичної або змодельованої проблемної ситуації, поданої у формі кейсу. Імерсивне середовище в такому уроці забезпечує контекстність, емоційне занурення й активізацію мислення. У процесі розв'язання кейсу відбувається цілісне застосування декларативних, процедурних і концептуальних знань, формуються соціальні й метакогнітивні навички;

– **урок-дослідження** або **урок-проект** передбачає дослідницьку активність учнів у змодельованому середовищі. Імерсивні технології виступають засобом віртуального експериментування, моделювання або спостереження, що є особливо актуальним для природничих дисциплін. Такий тип уроку сприяє

розвитку когнітивної гнучкості, навичок аналізу, синтезу, формуванню наукового стилю мислення. Попри те, що такі уроки є більш дієвими для вивчення природничих предметів, при вивченні тем із математики вони сприяють конструюванню знань, умінню виконувати порівняння та узагальнювати поняття;

– **урок-симуляція** базується на виконанні учнями дій у змодельованій ситуації, яка відтворює реальні явища або процеси (наприклад, хімічна реакція, фізичний експеримент, екологічна система). Імерсивність забезпечує безпечні умови для експериментування та сприяє глибшому розумінню причинно-наслідкових зв'язків;

– **урок з ігровими елементами** використовує імерсивні технології для створення ігрових ситуацій, що підвищують внутрішню мотивацію учнів, активізують пізнавальну діяльність і забезпечують емоційну наснагу. Така модель особливо ефективна на етапі первинного ознайомлення з матеріалом або його закріплення, особливо якщо вона підкріплена елементами стимулювання додатковими балами;

– **інтегрований STEM-урок** забезпечує міждисциплінарну взаємодію між природничими й математичними предметами через розв'язання комплексних завдань. Імерсивне середовище надає можливість одночасно оперувати різними типами навчальних відомостей, поданих через текст, графіку, 3D-моделі чи симуляції, що розкриває потенціал інтеграції знань і навичок із різних галузей.

Додаток Л. Матриця типів інтерактивності в імерсивному навчанні залежно від форми занурення

Форма навчання	Технічна інтерактивність	Соціальна інтерактивність	Навчальна інтерактивність	Емоційна інтерактивність	Тактильна інтерактивність
<i>Фронтальне занурення</i>	Керування віртуальними об'єктами, зміна параметрів моделей.	Короткі обговорення, колективні спостереження.	Засвоєння нового матеріалу, первинне осмислення.	Наративи, віртуальні екскурсії.	Використання VR-контролерів, AR-маркерів.
<i>Групове занурення</i>	Спільне керування об'єктами, моделювання.	Командна робота, дебати, ігрові змагання.	Спільні дослідження та розв'язання проблем.	Соціальні та емоційні кейси.	Маніпуляція об'єктами у спільному просторі.
<i>Особистісно-орієнтоване занурення</i>	Індивідуальне налаштування середовища.	Опосередкована взаємодія (асинхронна).	Персоналізовані завдання та траєкторії.	Посилення ефекту присутності.	Тактильна взаємодія з віртуальними об'єктами.

Додаток М. Методична матриця реалізації методів навчання в імерсивному середовищі

Форма навчання	Метод навчання	Домінуюча педагогічна функція методу	Види інтерактивності	Очікуваний результат
Фронтальне занурення	Імерсивно-ігровий метод навчання.	Формування мотиваційно-пізнавального інтересу.	Технічна, навчальна, емоційна.	Активне сприйняття, підвищення навчальної мотивації.
	Наративно-імерсивний метод навчання.	Емоційне залучення.	Емоційна, навчальна.	Залучення, краще запам'ятовування.
	Метод імерсивного занурення у навчальний контекст.	Унаочнення та контекстуалізація знань.	Емоційна, тактильна.	Емпатія, захоплення темою.
Групове занурення	Метод імерсивної командної взаємодії.	Розвиток співпраці та комунікації.	Соціальна, навчальна.	Формування командних та комунікативних умінь.
	Метод віртуальних дискусій та дебатів.	Розвиток критичного мислення.	Соціальна, емоційна.	Аргументація, комунікативна та соціальна компетентності
	Метод взаємного імерсивного	Формування рефлексивних умінь.	Соціальна, навчальна.	Усвідомлення якості власної діяльності.

Форма навчання	Метод навчання	Домінуюча педагогічна функція методу	Види інтерактивності	Очікуваний результат
	рецензування.			
Особистісно орієнтоване занурення	Метод адаптивного імерсивного навчання.	Компенсація навчальних втрат.	Технічна, навчальна.	Індивідуалізація навчання.
	Рефлексивно-імерсивний метод навчання.	Саморегуляція та відповідальність.	Емоційна, навчальна.	Самоорганізація, автономність.
	Імерсивно-творчий метод навчання.	Стимулювання творчості.	Тактильна, емоційна.	Самовираження, творче мислення.
Змішані форми організації навчання	Метод імерсивного оцінювання діяльності.	Контроль і корекція навчальних досягнень.	Технічна, навчальна.	Об'єктивний зворотний зв'язок.
	Імерсивний метод навчання через помилки.	Корекція та закріплення знань.	Навчальна, емоційна.	Безпечне повторення, самоконтроль.
	Кейс-метод з емоційно-соціальним контекстом.	Формування ціннісних орієнтацій.	Емоційна, соціальна.	Розвиток емпатії та соціального мислення.

Додаток Н. Процедурна модель організації навчання в імерсивному середовищі

Опишемо процедурну модель уроку вивчення нового навчального матеріалу на прикладі вивчення стереометрії в 11 класі закладів загальної середньої освіти. Основою моделі є традиційні складники навчання, які можуть реалізовуватися як у форматі очного, так і дистанційного навчання.

Метою організації процесу навчання за процедурною моделлю є формування нових знань у учнів шляхом підвищення інтерактивності навчання через використання імерсивних технологій. Основне завдання моделі полягає не лише у засвоєнні нового навчального матеріалу, а й у забезпеченні можливості отримувати допоміжні підказки з раніше вивчених тем у процесі розв'язання завдань, що потребують повторення.

Для організації повторення навчального матеріалу застосовано індивідуалізований підхід, який передбачає самостійний вибір учнями мобільних застосунків з урахуванням їхніх особистих уподобань та рівня цифрової компетентності. Найбільш популярним серед учнів виявився застосунок All Maths Formulas App, який відзначається інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом та можливістю автономного використання, що є критично важливим у сучасному освітньому процесі. Особливу зацікавленість учнів викликав застосунок Gemini, що використовує ШІ для отримання теоретичних відомостей з планіметрії. Його вибір був зумовлений інтеграцією у платформу Google Classroom, що використовується закладом для організації навчання, а також безоплатним доступом, що забезпечує широке застосування серед учнів. Наведені цифрові інструменти слугують прикладом реалізації процедурної підтримки навчальної діяльності та не є обов'язковими компонентами моделі. Наведемо нижче етапи уроку як приклад практичної реалізації процедурної моделі.

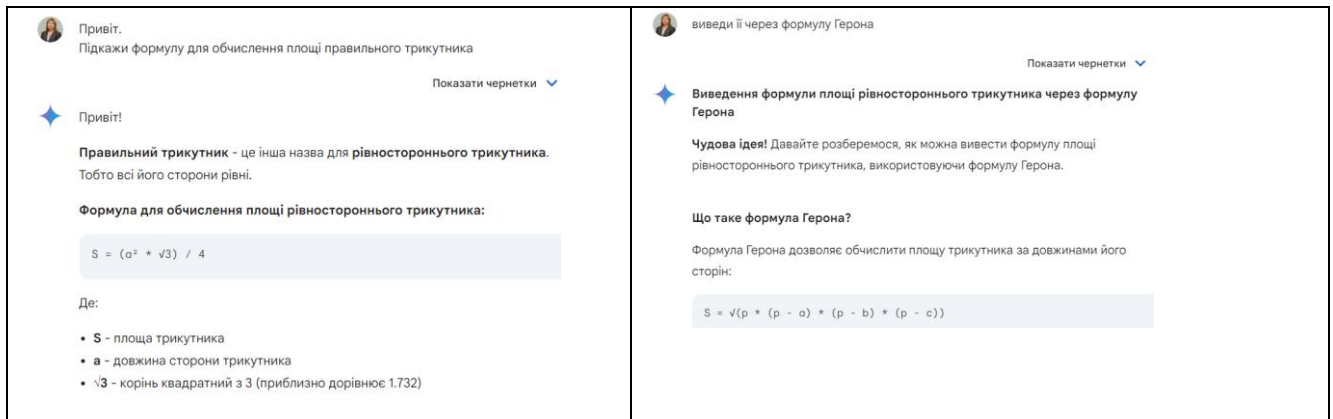
I етап – **актуалізація** навчання передбачає три основні складники: мотивацію учнів, пояснення теоретичного матеріалу вчителем та постановку проблеми, що потребує розв'язання в імерсивному середовищі. Мотивація є ключовим компонентом, оскільки створює передумови для усвідомленого

засвоєння нового матеріалу. Після пояснення вчителем учні переходять до імерсивного середовища, інтегрованого в систему підтримки навчання за моделлю змішаного навчання, і працюють із симуляціями, що надають можливість візуалізувати теоретичний матеріал та самостійно досліджувати навчальні об'єкти за допомогою готових інтерактивних моделей.

II етап – *навчальна діяльність* в імерсивному середовищі передбачає активне конструювання знань учнями. Працюючи з інтерактивними моделями, учні проводять дослідження, формують власні висновки та розвивають критичне та просторове мислення. Використання засобів доповненої реальності зосереджується не на пасивному сприйнятті навчальних відомостей, а на конструюванні знань через візуалізацію та просторове моделювання.

На цьому етапі також реалізується зворотний зв'язок та саморефлексія учнів через тестування, що надає можливість оцінити рівень засвоєння теоретичного матеріалу.

Ще одним важливим фактором навчання є відпрацювання практичних навичок – розв'язання стереометричних задач з теми та уміння переносити отримані знання для розв'язання життєвих ситуацій. Отже, на етапі «виконання практичних завдань» учні повинні виконувати побудови та дослідження в моделях задачі, яку вони самостійно створили. Побудова стереометричного тіла за допомогою наочного приладдя є обов'язковою, оскільки така побудова показує ступінь розуміння учнем розглянутого матеріалу. На цьому етапі учні можуть використовувати імерсивні технології для візуалізації з метою самодопомоги. Особливістю даного етапу є можливість звернутися до інтерактивних навчальних матеріалів з тем, що були вивчені раніше, але теоретичні відомості з цих тем потребують використання у процесі формування знань та умінь з нової теми (рис. Н.1 а). При цьому можна не просто отримувати теоретичні відомості, що були призабуті, а й зрозуміти математичний процес, наприклад, виведення формул (рис. Н.1 б).



а)

б)

Рис. Н.1. Робота з Gemini у середовищі підтримки навчання Google Classroom

III етап — **контроль** засвоєння нових знань включає формувальне оцінювання та рефлексію. Формувальне оцінювання є ключовим компонентом процесу навчання, оскільки надає можливість оцінити ефективність засвоєння матеріалу та активізувати учнів як активних учасників навчання, а не пасивних спостерігачів. У межах процедурної моделі, за умови чіткої постановки цілей уроку вчителем на початку заняття, формувальне оцінювання сприяє конструктивному зворотному зв'язку між учителем та учнем щодо досягнень і прогресу у засвоєнні навчального матеріалу.

Формувальне оцінювання та рефлексія в цій моделі тісно взаємопов'язані. Для їх інтеграції у процес уроку можуть застосовуватися вправи на саморефлексію, такі як «кубик сподівань» та «кубик результатів», або колективне обговорення індивідуальних шляхів учнів до розуміння теми. Учні, які залишаються незадоволеними власними результатами під час уроку, мають можливість продовжити роботу з імерсивними технологіями вдома, опрацьовуючи навчальний матеріал у власному темпі.

Імерсивне середовище навчання в моделі змішаного навчання не має на меті лише перевірку знань, а створює умови для активного залучення учнів до конструювання власних знань, розвитку творчих здібностей та застосування отриманих знань у практичній діяльності. Особливістю такого середовища є його гнучкість: процес навчання може організовуватися не лише в класах або вдома, а

й у шкільних укриттях під час надзвичайних ситуацій за умови наявності мобільного пристрою в учнів (рис. Н.2).

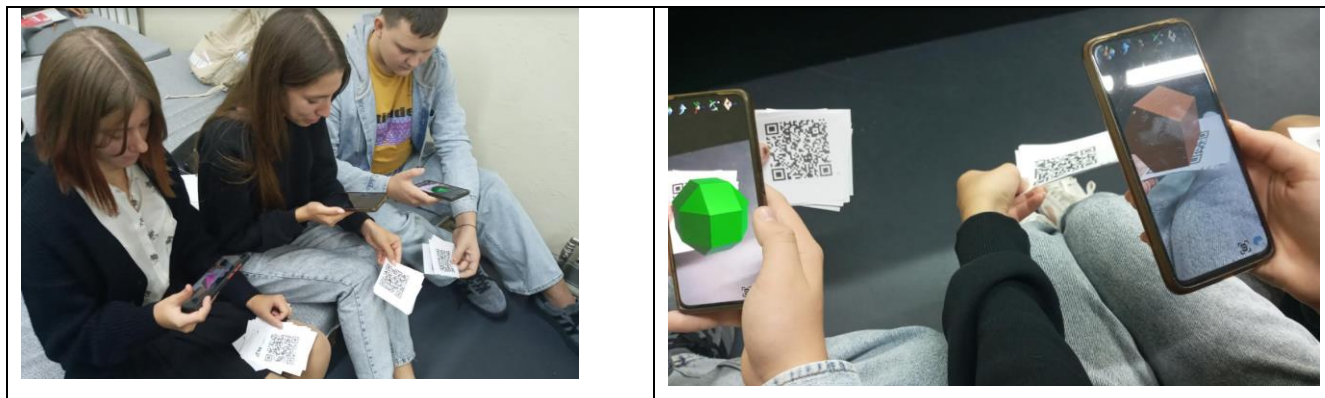


Рис. Н.2. Робота з моделями в укритті

Робота в імерсивному середовищі під час повітряних тривог сприяє мінімізації розривів у процесі навчання: учні зазнають меншого стресу, залишаються залученими до навчального процесу, отримують емоційне задоволення та мають можливість обговорювати всі етапи своєї навчальної діяльності.

Організація навчання за процедурною моделлю уроку дозволяє зробити такі висновки:

1. *Подолання фрагментарності знань.* Процедурна модель, що поєднує елементи традиційного навчання та імерсивного середовища з можливістю проведення власних досліджень, сприяє інтеграції знань у реальному часі. Звернення до теоретичних матеріалів попередніх тем під час виконання практичних завдань допомагає подолати навчальні прогалини.

2. *Розвиток саморегуляції.* У межах моделі учні самостійно обирають інструменти та ресурси відповідно до своїх потреб, що стимулює розвиток автономного навчання – ключової компетентності для ефективної роботи в імерсивному середовищі.

3. *Компенсація абстрактності тем.* Акцент на дослідницькій та візуалізованій діяльності через симуляції надає учням можливість краще засвоювати абстрактні теми природничо-математичного циклу, зокрема складні

теми з високим когнітивним навантаженням.

4. *Простір прийняття рішень.* Імерсивне середовище виконує функцію не лише візуалізації навчального матеріалу, а й простору для прийняття освітніх рішень, де учень формує власні стратегії навчання, працює з помилками та рефлексує над результатами, що підвищує усвідомленість процесу навчання.

5. *Адаптивність та гнучкість.* Модель поєднує структуровану та послідовну організацію навчання, водночас дозволяючи адаптувати її до конкретних умов і потреб учнів, що забезпечує ефективне досягнення цілей уроку на кожному етапі.

Таким чином, процедурна модель задає методичну структуру організації навчання в імерсивному середовищі, визначаючи логіку послідовності навчальних дій і способи інтеграції цифрових інструментів. Водночас вона зберігає провідну роль учителя в організації та контролі навчальної діяльності, що відповідає особливостям формування процедурних знань і створює підґрунтя для подальшого переходу до інструктивно-діяльній моделі.

З огляду на це доцільним є розроблення інструктивно-діяльній моделі, яка деталізує процес реалізації навчальних процедур, забезпечує поступовий перехід від зовнішнього педагогічного керування до самостійної діяльності учнів і створює умови для формування в них рефлексивних та дослідницьких умінь.

Додаток П. Узагальнена класифікація імерсивних навчальних кейсів

У додатку подано узагальнені результати теоретико-методичного аналізу та практичного використання кейсів з використанням імерсивних технологій, представлені у публікації [455]. Матеріали додатка систематизують підходи до класифікації імерсивних навчальних кейсів за технологією реалізації, дидактичною організацією, функціональним призначенням та віковою доцільністю їх застосування в закладах загальної середньої освіти.

У таблиці П.1 наведено узагальнену класифікацію імерсивних кейсів, що відображає результати аналізу практик їх використання в освітньому процесі та може бути застосована для наукового аналізу й порівняння різних підходів до реалізації кейс-технології в імерсивному середовищі навчання.

Таблиця П.1

Класифікація кейсів в умовах імерсивного середовища навчання

Критерій класифікації	Тип кейсу	Характеристика	Приклад використання
За технологією імерсивного середовища	VR-кейси	Повне занурення учнів у віртуальне тривимірне середовище з можливістю просторової навігації та маніпуляції об'єктами	Віртуальні екскурсії, лабораторні дослідження
	AR-кейси	Поєднання реального середовища з цифровими об'єктами, що накладаються на фізичний простір	Доповнені моделі, навчальні симуляції
	MR-кейси	Інтеграція реальних і віртуальних об'єктів із взаємною адаптацією та зворотним зв'язком	Гібридні навчальні симуляції
За	Ігрові	Реалізація навчального змісту	Навчальні імерсивні

Критерій класифікації	Тип кейсу	Характеристика	Приклад використання
дидактичною організацією та способом взаємодії		через ігрові механіки та правила	ігри
	Сценарні	Послідовне розгортання навчального сюжету з визначеними ролями та етапами діяльності	Проблемно-сюжетні симуляції
	Інтерактивні	Активна взаємодія учнів із цифровими об'єктами та середовищем	Маніпулятивні навчальні середовища
	Модельні	Робота з моделями об'єктів, процесів або явищ у віртуальному просторі	Моделювання фізичних або географічних процесів
За дидактичною функцією	Дослідницькі	Аналіз явищ і процесів у змодельованому середовищі	Віртуальні експерименти
	Рольові	Виконання соціальних або професійних ролей у межах навчальної ситуації	Симуляції професійної діяльності
	Практичні	Розв'язання прикладних завдань на основі змодельованих даних	Проектування, прийняття рішень
	Творчі	Створення нових продуктів, моделей або рішень у цифровому середовищі	3D-дизайн, творчі проекти
	Інклюзивні	Адаптація навчання до різних освітніх потреб	Соціально-орієнтовані симуляції

Для узагальнення результатів аналізу практичного використання імерсивних кейсів у роботі також систематизовано їх відповідність віковим особливостям учнів, що подано в таблиці П.2.

Таблиця П.2

Відповідність типів імерсивних кейсів віковим категоріям учнів

Вікова категорія	Доцільні типи кейсів	Дидактичні акценти
Початкова школа (6–10 років)	Ігрові, інтерактивні, рольові	Наочність, емоційне залучення, коротка тривалість
Базова школа (11– 14 років)	Дослідницькі, практичні, сценарні	Аналіз, експериментування, групова робота
Старша школа (15–18 років)	Практичні, креативні, сценарні, бізнес-симуляції	Міждисциплінарність, проєктна діяльність

На рис. П.1 узагальнено основні критерії класифікації імерсивних навчальних кейсів та показано їх відповідність віковим особливостям учнів, що відображає результати аналізу практичного використання кейс-технології в імерсивному середовищі навчання.

Узагальнюючи наведену на рис. Р.1 схему, можна стверджувати, що ефективне впровадження кейс-технології з використанням імерсивних технологій потребує не лише розуміння їхньої типології та вікової доцільності, але й методичних підходів до їх розробки. Тому важливим є надання вчителям чітких рекомендацій щодо створення якісних і дидактично обґрунтованих кейсів для процесу навчання.

Кейс-технологія є ключовим компонентом педагогічної діяльності вчителя, оскільки вона віддзеркалює досвід, професіоналізм, особистісний та інтелектуальний потенціал викладача. Така технологія стимулює формування прогресивного мислення, розвиток педагогічної етики та мотивації, що сприяє новаторським підходам до викладання, розкриттю та максимальній реалізації творчого потенціалу педагога [402].

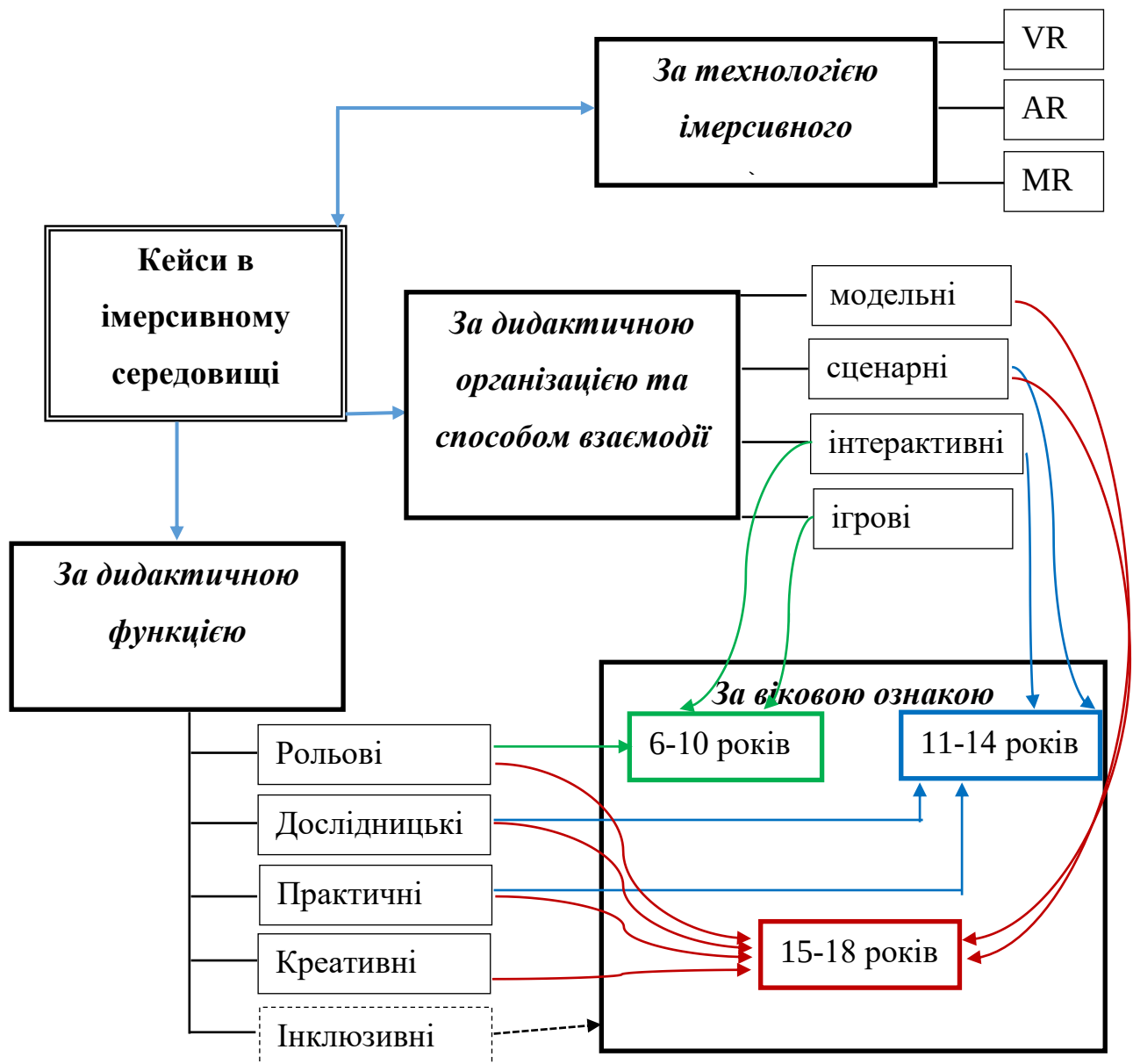


Рис. П. 1. Класифікація та відповідність імерсивних кейсів віковим особливостям учнів

На основі результатів аналізу практичного використання імерсивних кейсів сформульовано такі узагальнені рекомендації:

- *вікова адаптація* – добір технологій і складності кейсів відповідно до пізнавальних можливостей учнів;
- *індивідуалізація навчання* – створення варіативних освітніх траєкторій за допомогою імерсивних середовищ;
- *інтерактивність і залучення* – активна взаємодія учнів із цифровими

об'єктами та сценаріями;

– *командна робота* – організація групових кейсів і рольових симуляцій;

– *оцінювання та зворотний зв'язок* – використання цифрових інструментів для моніторингу результатів навчання.

Додаток Р. Варіанти реалізації імерсивних картографічних навчальних кейсів

У додатку узагальнено приклади реалізації навчальних кейсів на основі цифрових картографічних сервісів у поєднанні з імерсивними середовищами, що використовуються для візуалізації просторових, природничих, економічних і культурних даних. Подані варіанти ілюструють можливості інтеграції двовимірних картографічних зображень у AR/VR-середовища з подальшим накладанням тривимірних моделей об'єктів, інформаційних маркерів та інтерактивних елементів.

Приклад 1. Імерсивна карта природних ресурсів Європи.

Освітня галузь: географія.

Тип кейсу: навчально-дослідницький, модельний.

Дидактична функція: формування уявлень про просторовий розподіл природних ресурсів і розвиток умінь аналізу природно-ресурсного потенціалу регіонів.

Імерсивна карта реалізується шляхом інтеграції тематичного картографічного зображення у віртуальне або доповнене середовище з подальшим накладанням тривимірних моделей об'єктів, що репрезентують різні типи природних ресурсів. Просторове розміщення моделей відповідає географічному положенню родовищ або зон видобутку, а інформаційні маркери забезпечують доступ до довідкових відомостей і пояснень.

У межах такого кейсу карта функціонує не лише як засіб наочної демонстрації, а й як інтерактивна модель, з якою учні взаємодіють у процесі дослідження та аналізу просторових закономірностей.

Приклад 2. Імерсивна карта економічних показників.

Освітня галузь: географія, економіка.

Тип кейсу: аналітичний, практико-орієнтований.

Дидактична функція: розвиток умінь інтерпретації статистичних і соціально-економічних даних у просторовому контексті.

У цьому варіанті картографічний кейс ґрунтується на візуалізації кількісних

економічних показників (рівень урбанізації, ВВП на душу населення, чисельність населення тощо) з використанням засобів просторового кодування. В імерсивному середовищі показники можуть бути представлені у вигляді об'ємних елементів різної висоти, кольору або форми, розміщених над відповідними територіями.

Інтеграція текстових або аудіокоментарів, зокрема з використанням інструментів штучного інтелекту, розширює можливості інтерпретації даних та сприяє формуванню цілісного уявлення про соціально-економічні відмінності регіонів.

Приклад 3. Віртуальна карта культурних об'єктів Європи.

Освітня галузь: географія, історія, мистецтво, громадянська освіта.

Тип кейсу: культурологічний, інтегрований.

Дидактична функція: формування міжкультурної компетентності та інтересу до історико-культурної спадщини.

У межах цього кейсу цифрова карта використовується як основа для створення віртуальної виставки або інтерактивної подорожі. Над географічними об'єктами розміщуються тривимірні моделі пам'яток архітектури, культурних символів або історичних об'єктів, доповнені пояснювальними матеріалами.

Карта трансформується у віртуальний простір, що поєднує географічні, історичні та культурні відомості й забезпечує можливість їх дослідження у VR-або AR-режимі.

Подані в додатку приклади відображають узагальнені варіанти реалізації імерсивних картографічних кейсів та ілюструють дидактичний потенціал інтеграції цифрових картографічних ресурсів в імерсивне освітнє середовище. Вони конкретизують механізми, описані в основному тексті дисертації, і підтверджують можливість використання таких підходів у процесі навчання природничих і суспільствознавчих предметів.

**Додаток С. Анкета щодо стану визначення готовності використовувати
іммерсивні технології навчання природничо-математичних
предметів в академічних ліцях**

Розділ І. Основні відомості про анкетованих.

1. Заклад загальної середньої освіти, в якому Ви працюєте, розміщений у:

- ☐ місто – обласний центр;
- ☐ місто;
- ☐ селище;
- ☐ село.

2. Укажіть скільки Вам повних років.

- ☐ 22-25;
- ☐ 26-30;
- ☐ 31-35;
- ☐ 36-40;
- ☐ 41-45;
- ☐ 46-50;
- ☐ 51-55;
- ☐ 56-60;
- ☐ понад 60.

3. Який Ви маєте педагогічний стаж?

- ☐ до трьох років;
- ☐ 4-5 років;
- ☐ 6-10 років;
- ☐ 11-15 років;
- ☐ 16-20 років;
- ☐ 21-25 років;
- ☐ 26-30 років;
- ☐ понад 30 років.

4. У закладі освіти якого типу Ви працюєте?

- ☐ навчально-виховний комплекс;
- ☐ початкова школа;
- ☐ гімназія;
- ☐ ліцей, який буде академічним;

- ☐ професійний ліцей;
- ☐ науковий ліцей;
- ☐ інший тип закладу освіти.

5. Оберіть предмет / предмети, який / які Ви викладаєте в закладі загальної середньої освіти.

- ☐ Математика (алгебра, геометрія);
- ☐ Біологія (екологія);
- ☐ Початкові класи;
- ☐ Географія;
- ☐ Фізика (астрономія);
- ☐ Інформатика;
- ☐ Українська мова та література;
- ☐ Зарубіжна література;
- ☐ Іноземна мова;
- ☐ Історія України;
- ☐ Всесвітня історія;
- ☐ Хімія;
- ☐ Музичне мистецтво;
- ☐ Образотворче мистецтво;
- ☐ Дизайн і технології;
- ☐ Я досліджую світ;
- ☐ Фізична культура;
- ☐ Інтегрований курс «Пізнаємо природу»;
- ☐ Інтегрований курс «Здоров'я, безпека та добробут»;
- ☐ Технології;
- ☐ Основи правознавства;
- ☐ Громадянська освіта;
- ☐ Трудове навчання;
- ☐ Захист України.

6. Ви викладаєте предмет на

- ☐ рівні стандарту;
- ☐ профільному рівні;
- ☐ поглибленому рівні;
- ☐ це інтегрований курс.

Розділ II Щодо забезпечення процесу навчання технічними засобами.

1. Чи маєте Ви в класі доступ до мережі інтернет?

- ☐ так;
- ☐ ні;
- ☐ не завжди.

2. Чи маєте Ви в класі персональний комп'ютер, ноутбук або планшет для забезпечення процесу навчання?

- ☐ так;
- ☐ ні.

3. Чи мають учні в класі доступ до персональних комп'ютерів, планшетів чи мобільних телефонів?

- ☐ так;
- ☐ ні.

4. Чи дозволяєте Ви учням використовувати під час аудиторного навчання планшети чи мобільні телефони?

- ☐ так, використовують як засіб для інтерактивного навчання;
- ☐ категорично проти використання їх у процесі аудиторного навчання.

5. Чи є у Вас у класі додаткове оснащення (мультимедійна дошка, проектор, тощо)? Укажіть, що саме.

Розділ III Обізнаність вчителів щодо імерсивних технологій.

1. Чи знаєте Ви, що таке імерсивні технології?

- ☐ так;
- ☐ ні.

2. Чи цікаво Вам було б ознайомитися з імерсивними технологіями?

- ☐ так;
- ☐ ні.

3. Чи використовували Ви під час організації навчання імерсивні технології?

- ☐ так;
- ☐ ні.

4. Що із переліченого Ви використовуєте чи готові використовувати у процесі навчання учнів?

- ☐ технології штучного інтелекту;
- ☐ технології віртуальної реальності;
- ☐ технології доповненої реальності;
- ☐ 360⁰-відео;

☐ нічого з переліченого.

5. Якщо в навчальній діяльності Ви використовували щось із переліченого вище, то під час викладання якого предмета, якої теми?

6. Визначте переваги застосування імерсивних технологій, які, на Вашу думку, є найбільш значущими для покращення процесу навчання.

- ☐ підвищення мотивації та зацікавленості учнів;
- ☐ забезпечення індивідуалізації, інклюзивності навчання;
- ☐ реалістичні симуляції (можливість «занурення» у різні процеси, явища, що недоступні в реальному житті);
- ☐ мультисенсорність, потужне унаочнення;
- ☐ покращення просторового мислення;
- ☐ покращення зосередженості учнів, фокусування на досліджуваних явищах;
- ☐ покращення запам'ятовування та розуміння матеріалу;
- ☐ важко сказати.

7. Що потрібно для того, щоби Ви почали використовувати імерсивні технології в процесі навчання? (можна обрати кілька варіантів).

- ☐ пройти навчання (тренінги, курси, майстер-класи тощо);
- ☐ доступність супроводу та консультації фахівців з імерсивного навчання;
- ☐ інтегрувати імерсивні технології у навчальні програми на державному рівні;
- ☐ забезпечити школи/класи відповідним оснащенням, апаратними засобами;
- ☐ забезпечити доступність україномовного контенту, програмного забезпечення;
- ☐ доступність методичної підтримки (методичні рекомендації, посібники, поради тощо);
- ☐ доступність бази готових уроків з використанням імерсивних технологій;
- ☐ доступність банку, каталогів, де можна ознайомитися та обрати імерсивні технології;
- ☐ всього достатньо, вже використовую;
- ☐ у будь-якому разі не хочу їх використовувати.

Додаток Т. Експериментальна перевірка ефективності методичної системи

Т.1. Експериментальна перевірка з предмета «Природничі науки»

Перевірка ефективності розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання інтегрованого курсу «Природничі науки» здійснювалася на базі Криворізького ліцею № 71 Криворізької міської ради під час вивчення теми «Сучасні технології». Тривалість педагогічного експерименту становила 16 навчальних годин.

В експерименті взяли участь учні двох 11-х класів: контрольна група – 11-А, історичний профіль (28 учнів); експериментальна група – 11-Б, профіль іноземної філології (30 учнів). Формування груп здійснювалося з урахуванням принципу їхньої максимальної порівнюваності за рівнем навчальних досягнень. Рівень навчальних досягнень учнів на початку експерименту визначався за результатами попереднього тематичного оцінювання з розділу «Технології» (тема «Транспорт. Туризм в Україні»), а після завершення експерименту – за результатами тематичного оцінювання з теми «Сучасні технології». Порівняльний розподіл учнів за рівнями навчальних досягнень з предмета «Природничі науки» наведено в табл. Т.1 та Т.2.

Таблиця Т.1

Порівняльний розподіл учнів за рівнями навчальних досягнень з предмета «Природничі науки» (до експерименту)

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	14	50,0%	11	36,7%
7-9	достатній	10	35,7%	14	46,7%
10-12	високий	4	14,3%	5	16,6%
Всього		28	100%	30	100%

Таблиця Т.2

**Порівняльний розподіл учнів за рівнями навчальних досягнень з предмета
«Природничі науки» (після експерименту)**

Кількість балів	Рівень	% учнів			
		КГ		ЕГ	
		осіб	%	осіб	%
1-6	початковий та середній	17	60,7%	10	33,3%
7-9	достатній	9	32,1%	11	36,7%
10-12	високий	2	7,2%	9	30,0%
Всього		28	100%	30	100%

Графічне представлення результатів подано на рис. Т.1.

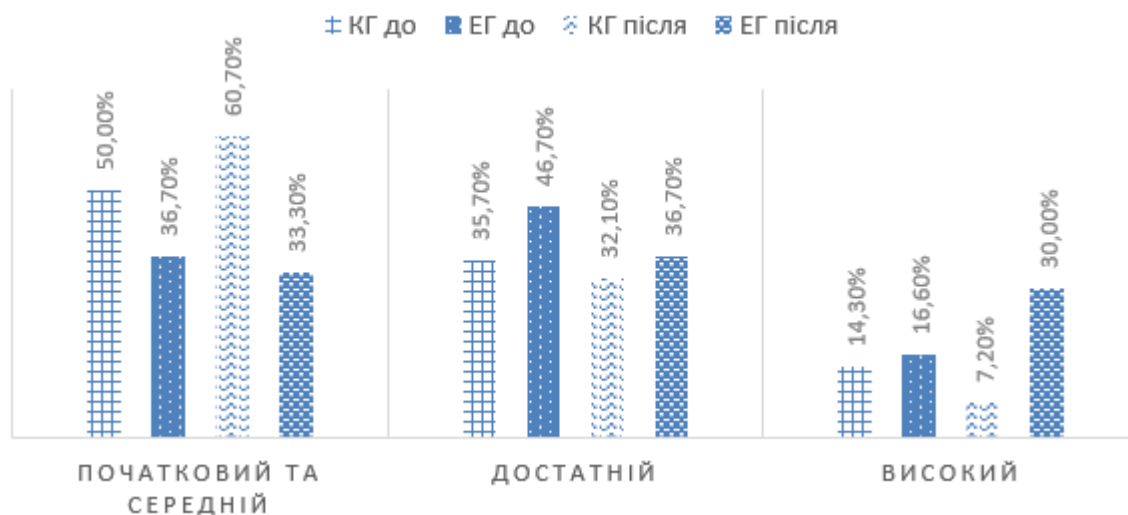


Рис. Т.1. Розподіл учнів за рівнями навчальних досягнень з предмета «Природничі науки» у КГ та ЕГ (за результатами тематичного оцінювання до та після експерименту)

Для перевірки статистичної значущості відмінностей між частками учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ та ЕГ використано ϕ^* -критерій Фішера. Сформульовано статистичні гіпотези:

H_0 : відмінності між частками учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ та ЕГ є статистично незначущими;

H_1 : відмінності між частками учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень у КГ та ЕГ є статистично значущими.

Результати обчислення статистики зазначених вибірок наведені в табл. Т.3.

Таблиця Т.3

Розподіл учнів КГ та ЕГ за часткою учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень

Етап експерименту	КГ	ЕГ	$\Phi_{\text{емп}}$	Інтерпретація
Констатувальний зріз	$14/28 = 0,5000$	$19/30 = 0,6333$	1,03	Відмінності статистично незначущі (групи однорідні)
Підсумковий зріз	$11/28 = 0,3929$	$20/30 = 0,6666$	2,16	Відмінності статистично значущі, перевага ЕГ.

Отримані результати засвідчують відсутність статистично значущих відмінностей між КГ та ЕГ на початку експерименту, що підтверджує їхню порівнянність. Після завершення експерименту зафіксовано статистично значуще зростання частки учнів із достатнім і високим рівнями навчальних досягнень в ЕГ.

Т.2. Пояснення вибору груп педагогічного експерименту

Експериментальна перевірка ефективності розробленої методичної системи навчання *хімії* здійснювалася на базі Криворізького ліцею № 77 Криворізької міської ради протягом другого семестру 2025-2026 навчального року. У дослідженні взяли участь учні 10-х класів, які вивчають хімію на рівні стандарту: експериментальну групу (ЕГ) становили 27 учнів 10-Б класу, контрольну групу (КГ) – 26 учнів 10-А класу.

Тривалість формувального етапу експерименту становила один семестр. Рівні навчальних досягнень учнів КГ та ЕГ визначалися на початку експерименту (за результатами підсумкового оцінювання за I семестр) та після його завершення (за результатами II семестру).

Експериментальна перевірка розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання *біології* здійснювалася на базі Криворізького Покровського ліцею під час вивчення теми «Спадковість і мінливість». Тривалість педагогічного експерименту становила 18 навчальних годин. У

дослідженні взяли участь учні 10-х класів, які вивчають предмет «Біологія і екологія» на рівні стандарту. До КГ увійшли 29 учнів історичного профілю, до ЕГ – 28 учнів філологічного профілю. Рівні навчальних досягнень учнів КГ та ЕГ визначалися на початку експерименту (за результатами підсумкового оцінювання за I семестр) та після його завершення (за результатами тематичного оцінювання в II семестрі).

Перевірка ефективності розробленої методичної системи використання імерсивних технологій навчання *географії* здійснювалася на базі Криворізького ліцею № 129 Криворізької міської ради під час вивчення розділу «Країни Азії». Тривалість педагогічного експерименту становила 17 навчальних годин.

В експерименті взяли участь учні двох 10-х класів гуманітарного профілю. Контрольна та експериментальна групи налічували по 30 учнів. Експеримент проводився у II семестрі. Рівень навчальних досягнень учнів на початку експерименту визначався за результатами тематичного оцінювання з розділу «Країни Європи», а після завершення експерименту – за результатами оцінювання з розділу «Країни Азії».

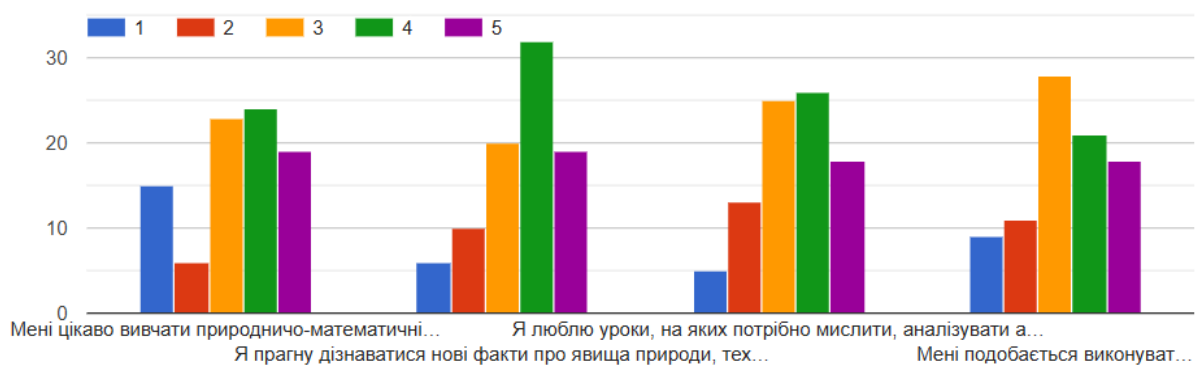
Додаток У. Анкета для визначення рівня сформованості пізнавального та мотиваційного компонентів

Анкета для визначення рівня сформованості мотиваційного компонента (для учнів академічного ліцею, констатувальний етап експерименту).

Інструкція: прочитайте твердження і поставте оцінку за шкалою: 5 – повністю згоден, 4 – скоріше згоден, 3 – важко сказати, 2 – скоріше не згоден, 1 – зовсім не згоден.

Блок 1. *Пізнавальний інтерес*

1. Мені цікаво вивчати природничо-математичні предмети.
2. Я прагну дізнаватися про нові факти щодо явищ природи, техніки, науки..
3. Я люблю уроки, на яких потрібно мислити, аналізувати або робити висновки.
4. Мені подобається виконувати завдання, що потребують дослідження або експериментів.



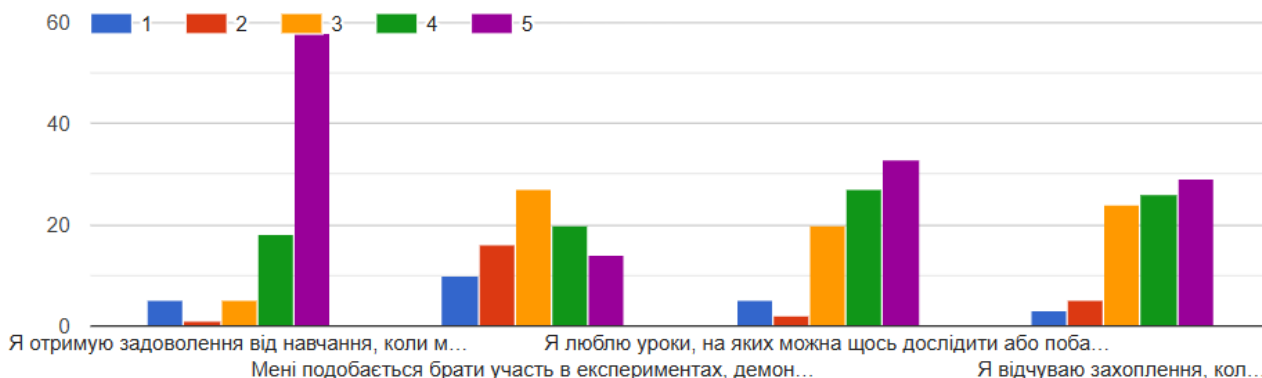
Блок 2. *Внутрішня мотивація*

5. Я вчуся не лише заради оцінок, а щоб краще зрозуміти матеріал.
6. Мені приємно, коли я можу самостійно розібратися у складній темі.
7. Я намагаюся знайти логічні пояснення тим фактам, які вивчаю.
8. Якщо чогось не розумію, намагаюся знайти додаткову інформацію.



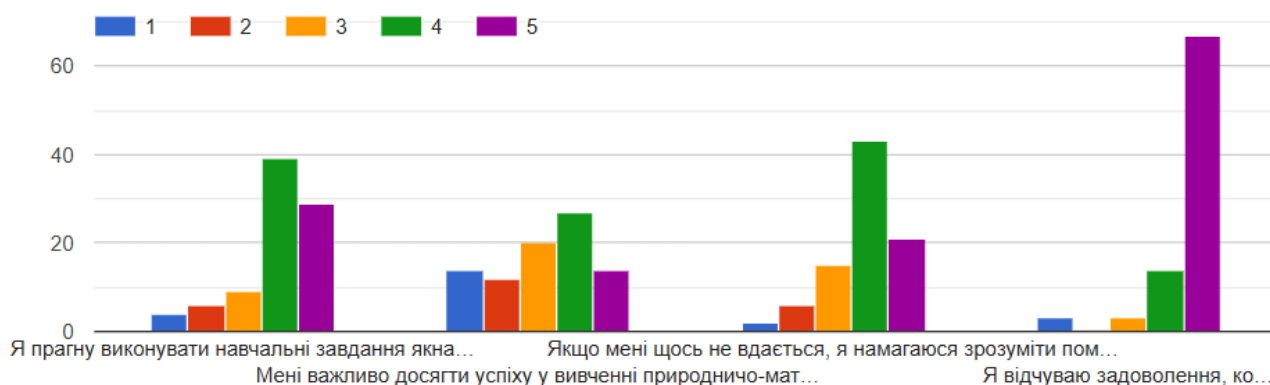
Блок 3. *Емоційне ставлення до навчання*

1. Я отримую задоволення від навчання, коли матеріал подається цікаво.
2. Мені подобається брати участь в експериментах, демонстраціях або практичних роботах.
3. Я люблю уроки, на яких можна щось дослідити або побачити наочно.
4. Я відчуваю захоплення, коли дізнаюся щось нове про природу чи світ.



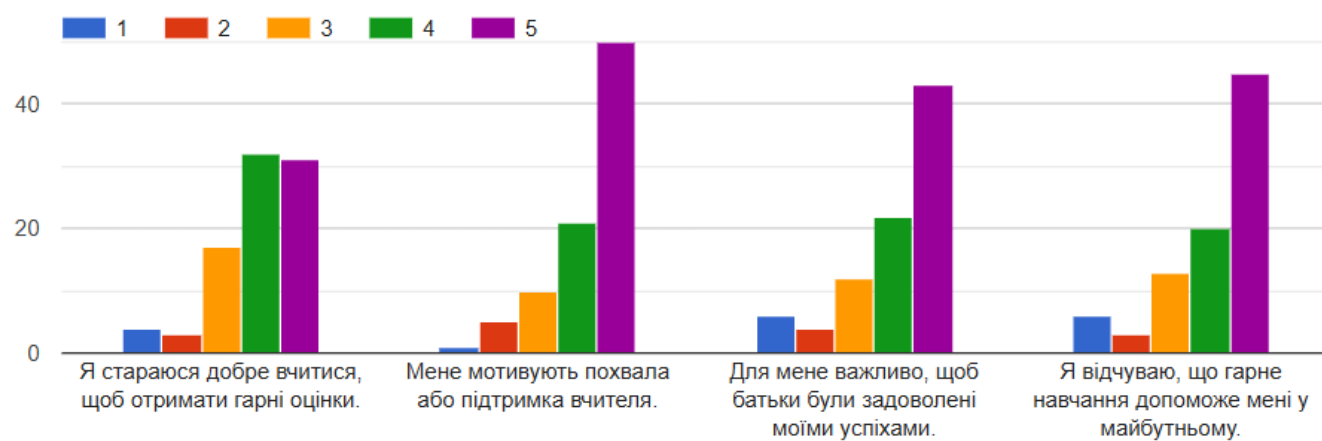
Блок 4. *Орієнтація на досягнення*

1. Я прагну виконувати навчальні завдання якнайкраще.
2. Мені важливо досягти успіху у вивченні природничо-математичних предметів.
3. Якщо мені щось не вдається, я намагаюся зрозуміти помилку і виправити її.
4. Я відчуваю задоволення, коли отримую хороші результати своєї роботи.



Блок 5. *Зовнішня мотивація*

1. Я стараюся добре вчитися, щоб отримати гарні оцінки.
2. Мене мотивують похвала або підтримка вчителя.
3. Для мене важливо, щоб батьки були задоволені моїми успіхами.
4. Я відчуваю, що добре навчання допоможе мені в майбутньому.

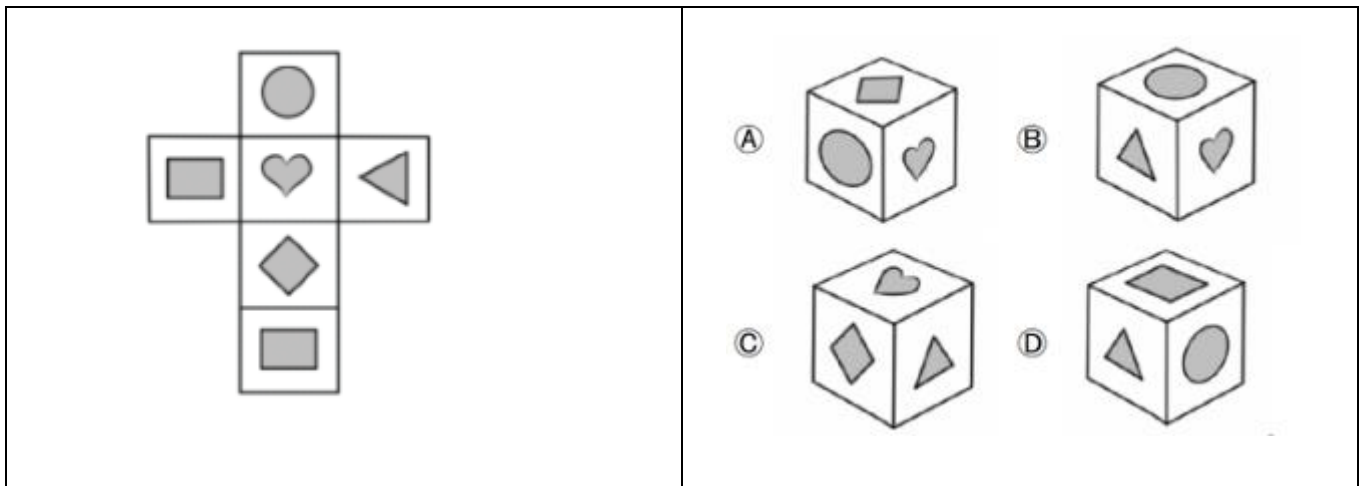


Додаток Ф. Завдання діагностичної карти для вимірювання рівня просторового мислення учня 10 класу

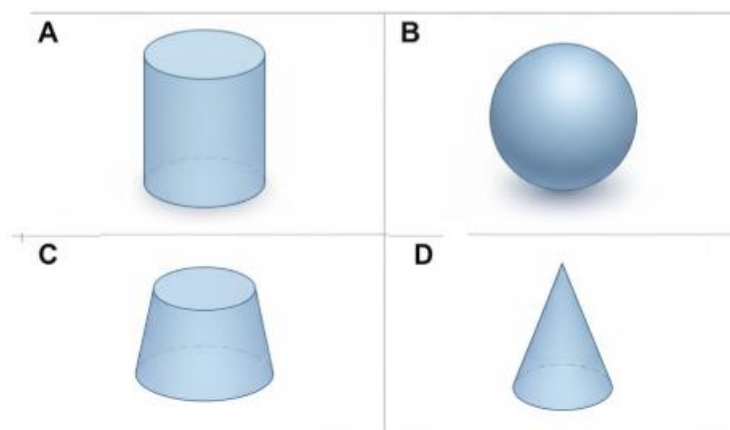
Виконайте завдання за 15 хвилин. Кожне завдання буде оцінено за своєю шкалою.

1. Візуалізація. Уявлення просторових форм: 1 бал за правильну відповідь, 0 балів – за хибну.

Завдання 1. Подано розгортку куба. Оберіть, який із наведених кубів можна скласти з неї.

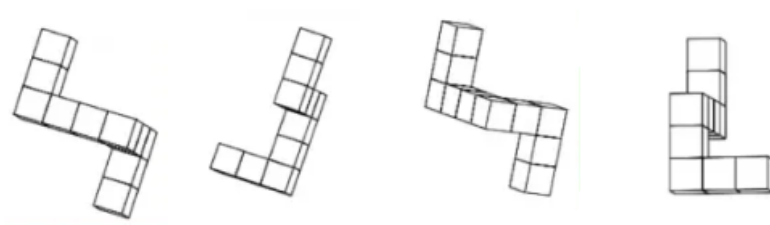
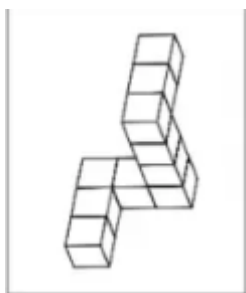


Завдання 2. На рисунку зображено тіло, утворене обертанням трикутника навколо його катета. Оберіть правильну фігуру обертання.



2. Ментальна ротація.

Завдання 3. На рисунку зображено модель, складену з кількох кубиків. Оберіть варіанти, які відповідають цій моделі після повороту навколо вертикальної осі. Максимальна кількість балів – 4.



Завдання 4. Нарисуйте літеру F, а також її зображення після повороту:

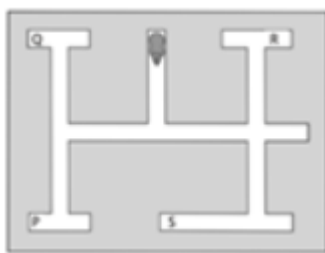
а) на 180° за годинниковою стрілкою – 1 бал за правильну відповідь;

б) на 270° проти годинникової стрілки – 1 бал за правильну відповідь.

3. Просторова орієнтація.

Завдання 5. Хом'яка поставили на початок лабіринту, як показано нижче.

Хом'як пробіг лабіринтом. Він повернув праворуч, потім ліворуч, а потім праворуч. Де закінчив хом'як? Оцінювання: 1 бал за правильну відповідь, 0 – за хибну.



Завдання 6. Безпілотник стартує в точці O – початку координат і рухається за маршрутом: 1) на схід на 2 одиниці; 2) на північ на 1 одиницю; 3) на захід на 3 одиниці; 4) на схід на 2 одиниці.

Укажіть координати положення безпілотника. Максимальна кількість балів – 2.

4. Просторова реконструкція

Завдання 7. На рисунку зображено прямокутний аркуш паперу. Яку з наведених нижче порожнистих тривимірних фігур не можна отримати, склавши цей прямокутний аркуш паперу? Оцінювання: 1 бал за правильну відповідь, 0 – за хибну.



Diagram 1



A.



B.



C.



D.

Завдання 8. Нарисуйте довільні чотири точки та з'єднайте їх у такій послідовності, щоб утворити об'ємну фігуру – трикутну піраміду. Після цього ліворуч нарисуйте куб. Максимальна кількість балів – 3.

Шкала оцінювання рівня сформованості просторового мислення (15 балів загалом).

Рівень сформованості	Діапазон балів	Характеристика проявів
Високий	13-15 балів	Учень вільно оперує просторовими образами, здійснює точні уявні обертання, здатний прогнозувати зміни форми об'єкта при трансформаціях, розпізнає складні тривимірні фігури у проєкції. Виконує завдання без зовнішніх підказок, швидко та логічно аргументує відповіді.
Достатній	10-12 балів	Просторові уявлення сформовані на достатньому рівні. Учень виконує більшість завдань правильно, допускає незначні помилки при ментальних обертаннях або орієнтації у просторі, але демонструє логіку та послідовність у мисленні.
Середній	7-9 балів	Учень має базові просторові уявлення, проте потребує часу або наочних опор для розв'язання завдань. Часто використовує проби й помилки. Ментальні обертання або реконструкції викликають труднощі, однак є потенціал до розвитку.
Низький	4-6 балів	Просторове мислення недостатньо розвинене. Учень може виконати лише елементарні завдання, що не потребують складних уявних дій. Спостерігається невпевненість у визначенні просторових напрямів і співвідношень.
Початковий	0-3 бали	Просторові уявлення несформовані. Учень не може уявити об'єкт у просторі, не розуміє принципів його трансформації, не розпізнає просторові відношення навіть у простих фігурах.

Додаток Х. Діагностичні контрольні роботи за базову середню школу

Діагностична контрольна робота з алгебри

І рівень (завдання оцінюється в один бал)

1. Розв'яжіть нерівність: $3x - 5 < x + 1$.
 а) $x < 3$; б) $x > 3$; в) $x < 2$; г) $x > 2$; д) $x < 4$.
2. Знайдіть суму коренів квадратного рівняння $2x^2 - 10x + 3 = 0$.
 а) -5 ; б) 5 ; в) 10 ; г) -10 ; д) 3 .
3. Скільки коренів має рівняння $|2x - 1| = -3$?
 а) один; б) два; в) жодного; г) безліч; д) визначити неможливо.
4. Знайдіть п'ятий член a_5 арифметичної прогресії, якщо $a_1 = 2$ і різниця прогресії $d = 4$.
 а) 18 ; б) 14 ; в) 20 ; г) 22 ; д) 24 .
5. Поставити у відповідність до кожного завдання (1–4) відповідний розв'язок (А–Е).

<i>Нерівність</i>	<i>Розв'язок</i>
1. $x^2 - 5x = 0$;	А $(-\infty; 2) \cup (3; +\infty)$
2. $x^2 - 5x + 6 = 0$;	Б $(2; 3)$
3. $x^2 - 5x + 6 > 0$;	В $\{3\}$
4. $x^2 - 6x + 9 \leq 0$;	Г $\{0; 5\}$
	Д $\{2; 3\}$
	Е розв'язків немає

ІІ рівень. Наведіть повний розв'язок завдань.

6. (1 бал) Розв'яжіть систему рівнянь
$$\begin{cases} 2x + y = 7 \\ 3x - 2y = 7 \end{cases}$$
7. (2 бали) Розв'яжіть нерівність $x^2 - 4|x| + 3 \leq 0$.

ІІІ рівень

9. (3 бали) При яких значеннях параметра a рівняння $(a - 1)x^2 - 2(a + 1)x + a - 2 = 0$ має рівно один корінь?

Діагностична контрольна робота з геометрії

І рівень (завдання оцінюється в один бал)

1. Скільки діагоналей можна провести з однієї вершини опуклого восьмикутника?
а) 3; б) 4; в) 5; г) 6; д) 8.
2. Знайти площу рівностороннього трикутника зі стороною $a = 4$ см.
а) $16\sqrt{3}$ см²; б) $8\sqrt{3}$ см²; в) $4\sqrt{3}$ см²; г) $2\sqrt{3}$ см²; д) 16 см²
3. Периметр паралелограма дорівнює 40 см. Одна його сторона на 6 см довша за іншу. Знайдіть довжину меншої сторони паралелограма.
а) 7 см; б) 10 см; в) 13 см; г) 14 см; д) 17 см;
4. Дано вектори $\vec{a}(2; -3)$ та $\vec{b}(-1; 4)$. Знайдіть координати вектора $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$.
а) (3; -7); б) (1; 1); в) (3; 1); г) (1; -1); д) (-2; -12).
5. Установіть відповідність між завданням (1–4) та формулами, що їх реалізують (А–Е).

	Завдання		Формула/умова
1.	Площа трикутника за двома сторонами a, b та кутом γ між ними	А	$x_1y_2 - x_2y_1 = 0$
2.	Умова перпендикулярності векторів $a(x_1; y_1)$ і $b(x_2; y_2)$.	Б	$S = \frac{a+b}{2}h$
3.	Площа трапеції з основами a, b та висотою h .	В	$S = \frac{1}{2}ab \sin \gamma$
4.	Умова колінеарності векторів $a(x_1; y_1)$ і $b(x_2; y_2)$.	Г	$x_1x_2 + y_1y_2 = 0$
		Д	$x_1x_2 - y_1y_2 = 0$
		Е	$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$

ІІ рівень. Наведіть повне розв'язання завдань

6. (2 бали) Периметр прямокутника дорівнює 34 см, а його діагональ – 13 см. Знайдіть площу цього прямокутника.
7. (1 бал) Знайдіть скалярний добуток векторів $\vec{a}$ та $\vec{b}$, якщо $|\vec{a}| = 4$, $|\vec{b}| = 5$, а кут між ними дорівнює 60° .

ІІІ рівень

8. (3 бали) Вершини трикутника мають координати $A(2; 1)$, $B(4; 5)$, $C(0; 3)$. Визначте вид трикутника (за сторонами та кутами) та знайдіть довжину його найбільшої сторони.

Діагностична контрольна робота з фізики

I рівень (1 бал за завдання)

1. Яка фізична величина є векторною і характеризує швидкість зміни швидкості тіла?

а) шлях; б) переміщення; в) швидкість; г) прискорення; д) маса.

2. Який процес описує перехід речовини з твердого стану в рідкий?

а) випаровування; б) конденсація; в) плавлення;
г) кристалізація; д) сублімація.

3. Який прилад використовується для вимірювання сили електричного струму в колі?

а) вольтметр; б) омметр; в) амперметр; г) ватметр; д) реостат.

4. Яке явище лежить в основі роботи електричних генераторів?

а) закон Ома; б) закон збереження заряду; в) закон Кулона;
г) явище електромагнітної індукції; д) теплова дія струму.

5. Установіть відповідність між назвою фізичної величини (1–4) та її одиницею вимірювання в системі СІ (А–Е).

	<i>Величина</i>		<i>Одиниця СІ</i>
1.	Маса	А	Дж (джоуль)
2.	Сила	Б	кг (кілограм)
3.	Робота	В	Вт (ват)
4.	Потужність	Г	м/с (метр за секунду)
		Д	Н (ньютон)
		Е	А (ампер)

II рівень

6. Автомобіль, рухаючись рівномірно прямолінійно, за 2 години подолав відстань 180 км. Визначте швидкість автомобіля у м/с.

7. Яка кількість теплоти потрібна для нагрівання мідного дроту масою 0,5 кг від температури 20°C до 100°C ? (Питома теплоємність міді $c = 400 \text{ Дж/кгC}$).

III рівень

8. Два резистори опорами $R_1 = 6 \text{ Ом}$ і $R_2 = 12 \text{ Ом}$ з'єднані паралельно і підключені до джерела струму з напругою $U = 24 \text{ В}$. Визначте: а) загальний опір ділянки кола; б) силу струму в нерозгалуженій частині кола.

Додаток Ц. Анкета для визначення показників діяльнісного та мотиваційного компонентів

Анкета для визначення показників діяльнісного та мотиваційного компонентів ефективності методичної системи використання імерсивних технологій навчання (узагальнювальний етап експерименту).

Інструкція: прочитайте твердження і поставте оцінку за шкалою: 5 – повністю згоден, 4 – скоріше згоден, 3 – важко сказати, 2 – скоріше не згоден, 1 – зовсім не згоден.

Блок 1. *Діяльнісні показники*

1. Здатність працювати в імерсивному середовищі.

- я легко орієнтуюсь у віртуальному/3D-середовищі;
- я розумію, як взаємодіяти з об'єктами (обертати, змінювати, досліджувати);
- я швидко освоюю нові інструменти імерсивного середовища;
- я можу виконувати навчальні завдання без сторонньої допомоги;
- я відчуваю себе впевнено під час роботи в імерсивному середовищі.

2. Виконання практичних / дослідницьких завдань.

- я можу виконувати практичні завдання з використанням імерсивних технологій;
- я розумію, як застосовувати отримані знання під час виконання завдань;
- я можу самостійно досліджувати об'єкти або явища у віртуальному середовищі;
- я здатний(-на) пояснити результати виконаного завдання;
- я намагаюся виконувати завдання більш складного рівня.

3. Самостійність і вибір стратегій.

- я сам(-а) обираю спосіб виконання завдання;
- я пробую різні підходи, якщо перший не дав результату;
- я можу планувати свої дії під час виконання завдання;
- я не чекаю підказок, а намагаюся знайти рішення самостійно;
- я аналізую свої помилки та намагаюся їх виправити.

Блок 2. *Мотиваційні показники*

4. Рівень внутрішньої мотивації.

- мені цікаво навчатися з використанням імерсивних технологій;
- я отримую задоволення від виконання таких завдань;
- я хочу дізнаватися більше про тему навіть поза уроком;
- я відчуваю зацікавленість під час роботи на уроці;
- я навчаюся не лише заради оцінки, а тому що мені цікаво.

5. Активність у взаємодії.

- я активно беру участь у роботі на уроці;
- я взаємодію з іншими учнями під час виконання завдань;
- я ставлю запитання, якщо щось незрозуміло;
- я ділюся своїми ідеями з однокласниками;
- я беру участь в обговоренні результатів.

6. Ставлення до навчання.

- мені подобається формат навчання з використанням імерсивних технологій;
- такий формат навчання допомагає мені краще розуміти матеріал;
- я вважаю, що такі уроки є ефективними;
- я хотів(-ла) б, щоб таких занять було більше;
- я позитивно ставлюсь до використання сучасних технологій у навчанні.

Для опрацювання результатів визначимо рівні наступним чином:

- 1-2 – низький рівень,
- 3 – середній рівень,
- 4-5 – високий рівень.

Додаток III. Список публікацій здобувача за темою дисертації

Рашевської Наталі Василівни

«Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»

зі спеціальності 13.00.10 «Інформаційно-комунікаційні технології в освіті»

Монографії, посібники, методичні рекомендації

1. Рашевська Н. В. Імерсивні платформи та застосунки для організації навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв : метод. рек. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. 122 с.

2. Використання генеративного штучного інтелекту для розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти : аналітичні матеріали / Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Осадча К. П., Пінчук О. П., Рашевська Н. В., Сухіх А. С. / за наук. ред. С. Г. Литвинової, Ю. Г. Носенко. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. 100 с.

3. Імерсивні технології для підтримки змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти : метод. посіб. / Баценко С. В., Богачков Ю. М., Буров О. Ю., Горбаченко В. І., Коркішко І. А., Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Полященко І. М., Рашевська Н. В., Савченко В. Ю., Слободяник О. В., Соколюк О. М., Сухіх А. С., Ухань П. С. / за заг. ред. Носенко Ю. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2025. 174 с.

4. Використання імерсивних технологій вчителями у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти : метод. рек. / С. Г. Литвинова, Ю. Г. Носенко, Н. В. Рашевська, О. В. Слободяник, О. М. Соколюк, Н. В. Сороко, А. С. Сухіх. / за заг. ред. Носенко Ю. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 121 с.

5. Імерсивні технології в освітньому процесі. Бібліографічний покажчик праць науковців інституту цифровізації освіти НАПН України / С. Г. Литвинова, Ю. Г. Носенко, Н. В. Рашевська, О. М. Соколюк, О. В. Слободяник, А. С. Сухіх / за наук. ред. Ю. Г. Носенко. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 60 с.

Статті у наукових фахових виданнях України

6. Рашевська Н. В. Імерсивні освітні ресурси. *Науковий вісник*

Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота». 2026. Вип. 1 (58). С. 211-215. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2026.58.211-215>.

7. Рашевська Н. Моделі імерсивного середовища навчання. *Фізико-математична освіта*. 2026. Т. 41. № 1. С. 26-31. DOI : <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i1-04>.

8. Литвинова С. Г., Носенко Ю. Г., Осадча К. П., Пінчук О. П., Рашевська Н. В., Сухіх А. С. Перспективи та етичні виклики використання генеративного штучного інтелекту для розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти. *Освітня аналітика України*. 2026. № 1 (38). С. 5-21. DOI : <https://doi.org/10.32987/2617-8532-2026-1-89-105>

9. Рашевська Н. Імерсивне середовище навчання як педагогічний феномен у старшій профільній школі. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2026. Вип. 222. С. 391-395. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2026-1-222-391-395>

10. Литвинова С., Носенко Ю., Осадча К., Пінчук О., Рашевська Н., Сухіх А. Концептуальна модель інтеграції генеративного штучного інтелекту у процес розвитку інформаційно-цифрової компетентності учнів рівня базової середньої освіти. *Фізико-математична освіта*. 2025. Т. 40. № 5. С. 44-52. DOI : <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i5-06>.

11. Рашевська Н. В., Литвинова С. Г. Процедурна модель здобуття знань учнями старшої школи в імерсивному середовищі навчання. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Т. 109. № 5. С. 49-68. DOI : <https://doi.org/10.33407/itlt.v109i5.6157> (*індексується у Web of Science*).

12. Рашевська Н. В. Функціонально-мотиваційна модель імерсивного навчання. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2025. Вип. 2 (57). С. 156-160. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2025.57.156-160>.

13. Литвинова С., Рашевська Н. Кейси практичного використання імерсивних технологій : рекомендації для вчителів. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2025. № 77. С. 124-141. DOI :

<https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-77-124-141>.

14. Горбаченко В. І., Рашевська Н. В. Змістовий аспект навчання з використанням імерсивних технологій у закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 220. С. 172-177. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-220-172-177>.

15. Рашевська Н. В. Теоретичні аспекти інтеграції імерсивних технологій у навчання природничо-математичних дисциплін в академічних ліцєях. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 219. С. 400-405. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-219-400-405>

16. Рашевська Н. В. Психолого-педагогічні умови імерсивного середовища навчання. *Наукові записки*. 2025. Вип. 161. С. 134-141. DOI : <https://doi.org/10.31392/NZ-udu-161.2025.15>.

17. Рашевська Н. В. Інноваційно-трансформативний підхід імерсивного навчання. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2025. Вип. 1 (56). С. 192-196. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2025.56.192-196>.

18. Рашевська Н. В. Імерсивне навчання як педагогічна проблема. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 217. С. 168-174. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-217-168-174>.

19. Баценко С. В., Рашевська Н. В. Змішане навчання: теоретичний аналіз поняття та можливості впровадження в процес навчання в закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Вип. 216. С. 92-97. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-92-97>.

20. Рашевська Н. В. Аналіз деяких систем та застосунків в моделі змішаного навчання в закладах середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2024. Вип. 1 (54). С. 167-172. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2024.54.167-172>.

21. Рашевська Н. В. Імерсивні технології навчання природничих дисциплін учнів старших класів закладів середньої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Вип. 213. 2024. С. 223-228. DOI : <https://doi.org/10.36550/2415->

7988-2024-1-213-222-228.

22. Рашевська Н. Використання засобів доповненої реальності у процесі вивчення планіметрії в закладах середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2020. Вип. 2 (47). С. 147-150. DOI : <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2020.47.147-150>

23. Рашевська Н. В. Модель формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики. *Науковий вісник Ужгородського національного університету: Серія «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2017. Вип. 1 (40). С. 237-240.

24. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Персональне навчальне середовище учня ліцею профільного рівня як складова моделі змішаного навчання. *Вісник Черкаського університету. Серія педагогічні науки*. 2016. Вип. 7. С. 16-23.

Статті у наукових виданнях інших держав

25. Rashevskaya N. V., Semerikov S. O. From philosophical immersion to digital reality: A unified theoretical framework for understanding and classifying immersive technologies in education. *Computers & Education: X Reality*. 2026. Vol. 8 Art. 100147. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2026.100147>. (*індексується у Scopus*).

26. Lytvynova S., Rashevskaya N. Mobile Learning by Students in the Conditions of Martial Law. *Proceedings of the 12th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 12, 2025. CEUR Workshop Proceedings, Vol-4043. P. 116-131. DOI : <https://doi.org/10.55056/ceur-ws.org/Vol-4043/paper02.pdf> (*індексується у Scopus*).

27. Lytvynova S., Rashevskaya N. Immersive learning tools for teaching mathematics to high school students in general secondary education institutions. *Proceedings of the 7th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 14, 2024. CEUR Workshop Proceedings, Vol-3918. P. 29-42. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3918/paper004.pdf> (*індексується у Scopus*).

28. Kiv A. E. et al. From cloud computing to quantum informatics: Advances in

educational technology at CoSinE 2024. *Proceedings of the 11th Illia O. Teplytskyi Workshop on Computer Simulation in Education (CoSinE 2024) co-located with XVI International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2024)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 15, 2024. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3820. P. 1-12. DOI : <https://doi.org/10.55056/ceur-ws.org/Vol-3820/paper000.pdf> (*індексується у Scopus*).

29. Lytvynova S., Rashevskaya N., Proskura S. The use of artificial intelligence in teaching students programming languages. *3L-Person 2024: IX International Workshop on Professional Retraining and Life-Long Learning using ICT: Person-oriented Approach, co-located with the 19th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2024)* September 23, 2024, Lviv, Ukraine. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3781. P. 10-29. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3781/paper01.pdf> (*індексується у Scopus*).

30. Rashevskaya N. V., Semerikov S. O., Zinonos N. O., Tkachuk V. V., Shyshkina M. P. Using augmented reality tools in the teaching of two-dimensional plane geometry. *AREdu 2020. Augmented Reality in Education 2020*. Proceedings of the 3rd International Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine, May 13, 2020. CEUR Workshop Proceedings, Vol 2731. P. 79-90. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-2731/paper03.pdf> (*індексується у Scopus*).

31. Rashevskaya N. V., Soloviev V. N. Augmented Reality and the Prospects for Applying Its in the Training of Future Engineers. *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education*. Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, Vol 2257. P. 192-197. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-2257/paper18.pdf> (*індексується у Scopus*).

32. Kiyanovska N., Rashevskaya N. Using LMS for Supporting Training Mathematics in Higher Education. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 9. C. 593-598. URL : http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_9/095_Natalia-Kiyanovska.pdf (*індексується у Scopus*).

33. Rashevskaya N., Tkachuk V. Technological conditions of mobile learning at high school. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. C. 161-164. URL :

https://www.researchgate.net/publication/326851756_Technological_conditions_of_mobile_learning_in_high_school (*індексується у Scopus*).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

Статті в інших наукових виданнях України

34. Semerikov S. O., Kiianovska N. M., Rashevskaya N. V. The early history of computer-assisted mathematics instruction for engineering students in the United States: 1965-1989. *Educational Technology Quarterly*. 2021. Vol. 2021. Iss. 3. P. 360-374. DOI : <https://doi.org/10.55056/etq.18>

35. Рашевська Н. В., Корсун А. О. Використання мобільних інформаційно-комунікаційних технологій навчання математики під час дистанційного навчання в закладах середньої освіти. *Наукові записки молодих учених*. 2021. № 8. URL : <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1875>

36. Рашевська Н. В., Бугайов Б. С. Організація навчання математики учнів загальноосвітніх навчальних закладів в умовах карантину. *Наукові записки молодих учених*. 2020. № 6. URL : <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1750>

37. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Модель формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики засобами ІКТ. *Новітні комп'ютерні технології*. 2017. Том XV. С. 52-56.

38. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Аналіз використання мобільних інформаційно-комунікаційних технологій навчання учнями у процесі підготовки до ЗНО. *Новітні комп'ютерні технології*. 2016. Том XIV. С. 79-80.

39. Kiyanovska N., Rashevskaya N., Tkachuk V. Mobile technologies in education. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. № 5. С. 40-43.

40. Рашевська Н. В. Розвиток хмарних технологій у процесі навчання математичних дисциплін як наукова проблема. *Новітні комп'ютерні технології*. 2014. Том XII : спецвипуск «Хмарні технології в освіті». С. 278-285.

41. Рашевська Н. В., Семеріков С. О. Моделі змішаного навчання. *Новітні комп'ютерні технології*. 2013. Вип. XI. С. 103-104.

42. Рашевська Н. В., Рашевська А. М. Інформаційно-комунікаційні

технології підтримки процесу навчання математики. *Теорія та методика електронного навчання : збірник наукових праць*. 2013. Вип. IV. С. 248-253.

43. Рашевська Н. В., Цимбал С. В. Використання систем комп'ютерної математики MathPiper у процесі вивчення геометрії. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : збірник наукових праць*. 2012. Вип. X. Т. 1 : Теорія та методика навчання математики. С. 212-217.

Тези доповідей в матеріалах конференцій

44. Рашевська Н. В. Використання систем штучного інтелекту як засобу підтримки навчання стереометрії в академічному ліцеї. *Штучний інтелект у науці та освіті (AISE 2026) : збірник матеріалів III Міжнародної наукової конференції* (Київ, 7 квітня 2026 р.) / упорядники: Яцишин Анна, Яцишин Андрій. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 262-264.

45. Рашевська Н. В. Трансформація методів навчання природничо-математичних предметів в умовах цифрового середовища. *Цифрова компетентність вчителя 2026: стратегії навчання зі штучним інтелектом: збірник матеріалів III Міжнародної наукової конференції* (Київ, 31 березня 2026 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 222-225.

46. Рашевська Н. В. Компонентна структура методичної системи використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних дисциплін учнів академічних ліцеїв. *Актуальні проблеми математики, економіки та менеджменту : Всеукраїнська науково-практична конференція* (Кропивницький, 16-17 квітня 2026 р.). Кропивницький : РВВ ЦДУ ім. В. Винниченка, 2026. С. 169-172.

47. Рашевська Н. В. Інструктивно-діяльнісна модель організації навчання в імерсивному середовищі закладів загальної середньої освіти. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 25 лютого 2026 р.). / упоряд.: О. П. Пінчук, Н. В. Вознюк. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. С. 168-170.

48. Рашевська Н. В. Імерсивні технології як чинник трансформації

методичної системи навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях. *Міжнародна науково-практична конференції «Сучасні трансформації педагогічної освіти: проблеми теорії і практики»* (Запоріжжя, 29-30 січня 2026 р.) / за заг. ред. М. І. Воровки. Запоріжжя : ФОП Однорог, 2026. С. 480-483.

49. Рашевська Н. В. Застосунки доповненої реальності у навчанні математики учнів закладів загальної середньої освіти. *XX Міжнародна наукова конференція імені академіка Михайла Кравчука* (Київ, 17-20 листопада 2025 р.). Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2025. С. 248-249.

50. Рашевська Н. В. Динаміка освітнього процесу в Україні в умовах пандемії та повномасштабного вторгнення. *Сучасний освітній простір – досвід, пошук, результат: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції* (Суми, 27 серпня 2025 р.) / упоряд., заг.ред. О. Семеног, М. Бойченко. Суми : Вид-во СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2025. С. 15-19.

51. Рашевська Н. В. Етичні та безпекові застосування імерсивних технологій у процесі навчання в закладах загальної середньої освіти. *Імерсивні технології в освіті : V Міжнародна науково-практична конференція* (Київ, 29 квітня 2025 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 141-147.

52. Рашевська Н. В. Імерсивна компетентність та імерсивна грамотність учасників процесу навчання закладів загальної середньої освіти. *Цифрова компетентність вчителя 2025: формуючи майбутнє освіти : збірник матеріалів II міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 18 березня 2025 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 147-150.

53. Рашевська Н. В. Компоненти математичного імерсивного середовища навчання учня старших класів закладів загальної середньої освіти. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 27 лютого 2025 р.). / упоряд.: О. П. Пінчук, Н. В. Яськова. Київ : ІЦО НАПН України, 2025. С. 142-145.

54. Рашевська Н. В. Застосунок RA AUGMENTED POLYHEDRONS для візуалізації геометричних тіл в курсі геометрії 11 класу. *Теорія і практика*

використання інформаційних технологій в умовах цифрової трансформації освіти: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 19-20 червня 2024 р.) / упорядник: Твердохліб І. А. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. С. 61-64.

55. Rashevskа N. Immersive educational technologies as a part of the immersive mathematical environment of a student. *Імерсивні технології в освіті : IV Міжнародна науково-практична конференція* (Київ, 30 квітня 2024 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2024. С. 36-39.

56. Рашевська Н. В. Формування деяких компетентностей учнів старшої школи в моделі змішаного навчання. *Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» : збірник матеріалів* (Київ, 23 лютого 2024 р.). Київ : ІЦО НАПН України, 2024. С. 134-139.

57. Рашевська Н. В. Формування мовлення учнів старшої школи на уроках математики. *Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти : збірник тез III регіональної науково-методичної інтернет-конференції* (Кривий Ріг, 30 листопада 2023 р.). Кривий Ріг : ВСП «КРФК НАУ», 2023. С. 3-4.

58. Рашевська Н. В. Формування деяких компетентностей учнів закладів середньої освіти у процесі навчання математики. *Інформаційні технології в освіті та науці : збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції* (Мелітополь-Запоріжжя, 25-26 травня 2023 р.). Вип. 13. Мелітополь-Запоріжжя : ФОП Однорог Т. В., 2023. С. 85-87.

59. Рашевська Н. В. Застосунок Geometria RA як засіб візуалізації геометричних тіл на уроках геометрії. *Сучасні інформаційні технології в освіті і науці : збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції* (Умань, 16-17 листопада 2023 р.). Умань : УДПУ ім. П. Тичини, 2023. С. 117-119.

60. Рашевська Н. В., Земляна Т. Ю. Використання системи ONLINE TEST PAD в процесі навчання математики. *Авіація, промисловість, суспільство : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* (Кременчук, 18

травня 2023 р.). Харків : ХНУВС, 2023. С. 329-331.

61. Рашевська Н. В., Бузинарський К. Є. Використання онлайн-сервісу TINKERCAD у процесі вивчення стереометрії учнями старших класів закладів загальної середньої освіти. *Фундаментальні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів ЗВО і молодих учених: творчий розвиток ідей : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 06-07 квітня 2023 р.). Харків : ХНАДУ, 2023. С. 30-34.

62. Рашевська Н. В., Земляна Т. Ю. Використання системи тестування Kahoot в процесі навчання математики учнів старшої школи. *Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти : збірник тез II регіональної науково-методичної інтернет-конференції* (Кривий Ріг, 24 листопада 2022 р.). Кривий Ріг : ВСП «КРФК НАУ», 2022. С. 3-4.

63. Рашевська Н. В., Бугайов Б. С. Вплив позакласного часу на учнів під час навчання математики в закладах середньої освіти. *Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 08-09 квітня 2021 р.). Харків : ХНАДУ, 2021. С. 115-118.

64. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Конструкторська діяльність на уроках геометрії. *Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених* (Харків, 09-10 квітня 2020 р.). Харків : ХНАДУ, 2020. С. 190-195.

65. Рашевська Н. В. Побудова персонального навчального середовища учня у процесі підготовки його до ЗНО з математики. *Розвиток промисловості та суспільства : матеріали міжнародної науково-технічної конференції* (Кривий Ріг, 22-25 травня 2019 р.). Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2019. С. 345-347.

66. Рашевська Н. В. Формування дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики в суспільно-гуманітарних класах. *Наукова діяльність як шлях формування професійних компетентностей майбутнього фахівця (НПК-2016) : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю* (Суми, 1-2 грудня 2016 р.). Суми : ФОП Цьома С. П., 2016. Ч. 2. С. 23-26.

67. Рашевська А. М., Рашевська Н. В. Аналіз Інтернет-месенджерів, що можуть бути корисними у процесі навчання учнів старшої школи. *Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2016)* (Черкаси, 12-14 травня 2016 р.). Черкаси : ЧДТУ, 2016. С. 208-209.

Додаток Щ. Відомості про апробацію результатів дисертації

Рашевської Наталі Василівни

«Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»

зі спеціальності 13.00.10 «Інформаційно-комунікаційні технології в освіті»

Масові науково-практичні заходи міжнародного рівня:

1. III Міжнародна наукова конференція «Штучний інтелект у науці та освіті (AISE 2026)» (Україна, м. Київ, 7 квітня 2026 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Використання систем штучного інтелекту як засобу підтримки навчання стереометрії в академічному ліцеї».

2. III Міжнародна науково-практична конференція «Цифрова компетентність вчителя 2026: стратегії навчання зі штучним інтелектом» (Україна, м. Київ, 31 березня 2026 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Трансформація методів навчання природничо-математичних предметів в умовах цифрового середовища».

3. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні трансформації педагогічної освіти: проблеми теорії і практики» (Україна, м. Запоріжжя, 29-30 січня 2026 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Імерсивні технології як чинник трансформації методичної системи навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцях».

4. XX Міжнародна наукова конференція імені академіка Михайла Кравчука (Україна, м. Київ, 17-20 листопада 2025 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Застосунки доповненої реальності у навчанні математики учнів закладів загальної середньої освіти».

5. XVII Міжнародна виставка «Інноватика в сучасній освіті» (Україна, м. Київ, 30 жовтня 2025 р.). Форма участі – виступ з презентацією на тему: «Сервіси доповненої реальності для підтримки навчання математики у профільній середній школі в умовах змішаного навчання».

6. 12-й міжнародний семінар «Хмарні технології в освіті» (Україна, м. Кривий Ріг, 12 травня 2025 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Mobile Learning by Students in the Conditions of Martial Law».

7. V Міжнародна науково-практична конференція «Імерсивні технології в освіті» (Україна, м. Київ, 29 квітня 2025 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Етичні та безпекові застосування імерсивних технологій у процесі навчання в закладах загальної середньої освіти».

8. II міжнародна науково-практична конференція «Цифрова компетентність вчителя 2025: формуючи майбутнє освіти» (Україна, м. Київ, 18 березня 2025 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Імерсивна компетентність та імерсивна грамотність учасників процесу навчання закладів загальної середньої освіти».

9. XVI Міжнародна конференція з математичної, наукової та технологічної освіти (ICoN-MaSTEd 2024) (Україна, м. Кривий Ріг, 15 травня 2024 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «From cloud computing to quantum informatics: Advances in educational technology at CoSinE 2024.».

10. 7-ий міжнародний семінар «Доповнена реальність в освіті» (Україна, м. Кривий Ріг, 14 травня 2024 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Immersive learning tools for teaching mathematics to high school students in general secondary education institutions».

11. IV Міжнародна науково-практична конференція «Імерсивні технології в освіті» (Україна, м. Київ, 30 квітня 2024 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Immersive educational technologies as a part of the immersive mathematical environment of a student».

12. IX Міжнародний семінар «Професійна перепідготовка та навчання впродовж життя з використанням ІКТ» та 19-а Міжнародна конференція «Використання ІКТ в освіті, наукових дослідженнях та промислових застосуваннях» (Україна, м. Львів, 23 вересня 2024 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «The use of artificial intelligence in teaching students programming languages».

13. III Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті та науці» (Україна, м. Запоріжжя, 25-26 травня 2023 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Формування деяких компетентностей учнів закладів середньої освіти у процесі навчання математики».

14. IV Міжнародна науково-практична конференція «Авіація, промисловість, суспільство» (Україна, м. Кременчук, 18 травня 2023 р.). Форма

участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Використання системи ONLINE TEST PAD в процесі навчання математики».

15. 3-ий міжнародний семінар «Доповнена реальність в освіті» (Україна, м. Кривий Ріг, 13 травня 2020 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Using augmented reality tools in the teaching of two-dimensional plane geometry».

16. IV Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2020) (Україна, м. Черкаси, 21-23 травня 2020 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Мобільні додатки навчання математичних дисциплін в технічних закладах вищої освіти».

17. Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства» (Україна, м. Кривий Ріг, 22-25 травня 2019 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Побудова персонального навчального середовища учня у процесі підготовки його до ЗНО з математики».

18. 1-ий міжнародний семінар «Доповнена реальність в освіті» (Україна, м. Кривий Ріг, 2 жовтня 2018 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Augmented Reality and the Prospects for Applying Its in the Training of Future Engineers».

19. III Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2016) (Україна, м. Черкаси, 12-14 травня 2016 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Аналіз Інтернет-месенджерів, що можуть бути корисними у процесі навчання учнів старшої школи».

Масові науково-практичні заходи всеукраїнського рівня:

1. Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми математики, економіки та менеджменту» (Україна, м. Кропивницький, 16-17 квітня 2026 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Компонентна структура методичної системи використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних дисциплін учнів академічних ліцеїв».

2. IV Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Сучасний освітній простір – досвід, пошук, результат» (Україна, м. Суми, 27 серпня 2025 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему:

«Динаміка освітнього процесу в Україні в умовах пандемії та повномасштабного вторгнення».

3. II Всеукраїнська науково-практична конференція «Теорія і практика використання інформаційних технологій в умовах цифрової трансформації освіти» (Україна, м. Київ, 19-20 червня 2024 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Застосунок RA Augmented Polyhedrons для візуалізації геометричних тіл в курсі геометрії 11 класу».

4. V Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології в освіті і науці» (Україна, м. Умань, 16-17 листопада 2023 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Застосунок Geometria RA як засіб візуалізації геометричних тіл на уроках геометрії».

5. Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фундаментальні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів ЗВО і молодих учених: творчий розвиток ідей» (Україна, м. Харків, 06-07 квітня 2023 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Використання онлайн-сервісу TINKERCAD у процесі вивчення стереометрії учнями старших класів закладів загальної середньої освіти».

6. Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти» (Україна, м. Харків, 08-09 квітня 2021 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Вплив позакласного часу на учнів під час навчання математики в закладах середньої освіти».

7. Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Класичні та прикладні математичні проблеми у наукових дослідженнях здобувачів вищої освіти і молодих вчених: історичний та сучасний аспекти» (Україна, м. Харків, 09-10 квітня 2020 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Конструкторська діяльність на уроках геометрії».

8. IV Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Наукова діяльність як шлях формування професійних компетентностей майбутнього фахівця (НПК-2016)» (Україна, м. Суми, 1-2 грудня 2016 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Формування

дослідницьких компетентностей учнів на уроках математики в суспільно-гуманітарних класах».

Масові науково-практичні заходи регіонального рівня:

1. Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» (Україна, м. Київ, 25 лютого 2026 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Інструктивно-діяльнісна модель організації навчання в імерсивному середовищі закладів загальної середньої освіти».

2. Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» (Україна, м. Київ, 27 лютого 2025 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Компоненти математичного імерсивного середовища навчання учня старших класів закладів загальної середньої освіти».

3. Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ в умовах воєнного стану» (Україна, м. Київ, 23 лютого 2024 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Формування деяких компетентностей учнів старшої школи в моделі змішаного навчання».

4. III регіональна науково-методична інтернет-конференція «Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти» (Україна, м. Кривий Ріг, 30 листопада 2023 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Формування мовлення учнів старшої школи на уроках математики».

5. II регіональна науково-методична інтернет-конференція «Сучасний науково-педагогічний досвід при викладанні фундаментальних дисциплін у закладах освіти» (Україна, м. Кривий Ріг, 24 листопада 2022 р.). Форма участі – публікація матеріалів та виступ з презентацією на тему: «Використання системи тестування Kahoot в процесі навчання математики учнів старшої школи».

6. Обласний науково-методичний семінар «Інноваційні технології навчання математики» (Україна, м. Дніпро, 27 жовтня 2022 р.). Форма участі – виступ з презентацією на тему: «Інноваційні технології навчання математики в закладах загальної середньої освіти».

7. Міська школа педагогічного зростання вчителів математики (Україна, м. Кривий Ріг, 14 грудня 2021 р.). Форма участі – виступ з презентацією на тему: «Доповнена реальність на уроках математики».

Додаток Ю. Довідки про впровадження результатів дисертації

Рашевської Наталі Василівни
зі спеціальності 13.00.10 «Інформаційно-комунікаційні технології в освіті»
(СКАНОВАНІ КОПІЇ)



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(КДПУ)

просп. Університетський, 54, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, 50086, тел. (056) 470-13-34
E-mail : kdpu@kdpu.edu.ua, Код ЄДРПОУ 40787802

12 ТРА 2026 № 08-265/3

На № _____

ДОВІДКА
про впровадження результатів наукового дослідження
Наталі Рашевської
«Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»
на природничому факультеті
Криворізького державного педагогічного університету

З 2025/2026 н.р. результати дисертаційної роботи Н. Рашевської впроваджуються в освітній процес природничого факультету Криворізького державного педагогічного університету в межах методики викладання природничих предметів.

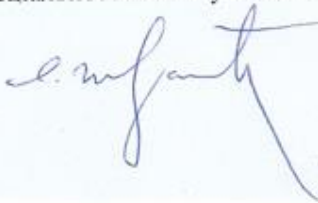
Зокрема, у межах методики викладання хімії, біології та географії було реалізовано такі напрями апробації:

- інтеграція імерсивного контенту: використання платформ для 3D-візуалізації складних хімічних процесів та молекулярних структур, що дозволило студентам моделювати реакції, недоступні для спостереження у звичайних умовах;
- застосування AR-технологій: впровадження мобільних застосунків доповненої реальності для вивчення географічних об'єктів та біологічних систем, що забезпечує високий рівень наочності та інтерактивності;
- методичне проектування: студенти опанували алгоритми створення фрагментів уроків, де імерсивні технології є функціональним складником навчального процесу, а не лише засобом ілюстрації;
- техніко-технологічний аспект: під час проведення віртуальних лабораторних робіт особлива увага приділялася точності наукового апарату, зокрема використанню коректної термінології та засобів вимірювання.

Результати апробації, зафіксовані науково-педагогічними працівниками факультету, свідчать про суттєве підвищення якості освітнього процесу. Матеріали дослідження Н. Рашевської рекомендовані для подальшого використання у підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальностями галузі знань А Освіта.

РЕКТОР





Ярослав ШРАМКО



**КРИВОРІЗЬКИЙ ЛІЦЕЙ №71
КРИВОРІЗЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ**

вул. Корнія Речмидила, буд. 22, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, Україна, 50029,
тел. 097-567-56-52, Email: kss71@ukr.net; Web-site:
<https://sites.google.com/klkmr71.education/klkmr71>

від 07.05.2026 № 43

Довідка

про впровадження результатів наукового дослідження за темою «Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»
Рашевської Наталі Василівни

Результати наукового дослідження впроваджувалися в освітній процес з предмета «Природничі науки» в Криворізькому ліцеї № 71 Криворізької міської ради.

Упродовж 2025-2026 навчального року вчителем природничих наук Гострик Вікторією Василівною було впроваджено в навчальний процес методичну систему використання імерсивних технологій навчання інтегрованого курсу «Природничі науки». Зазначена система передбачає цілеспрямовану інтеграцію цифрових імерсивних засобів у процес вивчення навчального матеріалу учнями 11-х класів.

Під час впровадження використовувалися такі ключові елементи розробленої методичної системи: 1) імерсивні цифрові освітні ресурси, інтерактивні моделі та симуляції для візуалізації природничих явищ і процесів; 2) організація навчальної діяльності учнів із застосуванням інтерактивних цифрових середовищ; 3) виконання дослідницьких і практико-орієнтованих завдань із використанням імерсивних технологій; 4) поєднання традиційних і цифрових форм навчання на засадах педагогічно доцільної інтеграції.

За результатами впровадження встановлено позитивну динаміку навчальних досягнень учнів. Також відзначено підвищення пізнавальної активності, навчальної мотивації та зацікавленості учнів у вивченні інтегрованого курсу «Природничі науки».

Методична система продемонструвала ефективність та може бути рекомендована до використання в закладах загальної середньої освіти, зокрема в академічних ліцеях, у процесі навчання інтегрованого курсу «Природничі науки».

Вчитель фізики та астрономії, старший вчитель:

Вікторія

Вікторія Гострик

Т. в. о. директора:



Оксана Мельник



Криворізький ліцей №129
Криворізької міської ради
вул.Гімназична, 39, м. Кривий Ріг, 50048, тел (056) 470-10-38, 470-10-39
E-mail: knvk129glas@ukr.net Код ЄДРПОУ 26047217

Від 14.04.2026 р. № 98

Довідка

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Рашевської Наталі Василівни

за темою «Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»

Основні результати дисертаційної роботи Рашевської Н. В. впроваджено в освітній процес Криворізького ліцею № 129 Криворізької міської ради.

Запропоновані Рашевською Н. В. навчально-методичні матеріали та рекомендації щодо використання імерсивних технологій у процесі навчання учнів старших класів сприяють підвищенню якості формування процедурних і концептуальних знань із природничо-математичних предметів, зростанню навчальної мотивації та активізації пізнавальної діяльності учнів. Розроблена дисертанткою методична система використання імерсивних технологій спрямована на розвиток предметних і цифрових компетентностей, а також формування навичок дослідницької діяльності.

У процесі впровадження здійснено апробацію навчально-методичних матеріалів, зокрема методичних рекомендацій «Імерсивні платформи та застосунки для забезпечення процесу навчання природничо-математичних предметів» та авторського блогу для вчителів «Імерсивні сервіси для допомоги вчителям природничо-математичних предметів», що використовувалися під час організації консультативної та методичної взаємодії з педагогічними працівниками ліцею.

Теоретичні положення та практичні результати дослідження рекомендовано для подальшого використання вчителями природничо-математичних предметів у закладах загальної середньої освіти.

В.о. директора



Нелля ПОГРІБНА



**КОМУНАЛЬНИЙ ЗАКЛАД ОСВІТИ
«КРИВОРІЗЬКИЙ ЛІЦЕЙ «КОЛІЯ»
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ РАДИ»**

вул.Шкапенка,1 м. Кривий Ріг 50029, тел. 0678098508, 0637151844

e-mail: kolidirector@ukr.net, koli-buh@ukr.net, <https://www.kzo-koli.com/>, код ЄДРПОУ 20214476

___07.04.2026___ № ___63___

На № _____

Довідка

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Рашевської Наталі Василівни
за темою «Методична система використання імерсивних технологій навчання
природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»

Упродовж 2023-2026 рр. на базі Криворізького ліцею «КОЛІЯ» здійснювалася експериментальна робота з впровадження результатів дисертаційної роботи Рашевської Н. В., присвяченої розробці та апробації методичної системи використання імерсивних технологій у процесі навчання природничо-математичних предметів в академічних ліцеях.

Розроблена методична система охоплює цільовий, змістовий, птехнологічний, комунікаційно-організаційний та результативно-оцінювальний компоненти, базується на принципах системності, інтеграції, інноваційності та педагогічної доцільності використання імерсивних технологій і спрямована на підвищення ефективності навчання та розвитку пізнавальної активності учнів.

З метою впровадження отриманих наукових результатів упродовж 2023-2026 рр. було здійснено такі види діяльності:

- організація та проведення навчальних занять з природничо-математичних предметів з використанням імерсивних технологій, що забезпечують ефект занурення та інтерактивну взаємодію учнів із навчальними матеріалами;
- впровадження методів дослідницького, проектного та проблемно-орієнтованого навчання в умовах імерсивного освітнього середовища;
- організація та супровід виконання учнівських науково-дослідницьких робіт у межах Малої академії наук України з тем, пов'язаних із використанням імерсивних технологій у навчанні математики, біології та хімії;

– надання методичних консультацій педагогічним працівникам щодо ефективного використання імерсивних технологій у навчальному процесі, зокрема щодо добору цифрових ресурсів, розроблення навчальних завдань і організації колаборативної діяльності учнів;

– апробація методичних рекомендацій щодо інтеграції імерсивних технологій у процес навчання природничо-математичних предметів.

У результаті впровадження встановлено позитивну динаміку навчальних досягнень учнів, підвищення рівня їхньої мотивації до навчання, розвитку дослідницьких умінь і сформованості ключових та предметних компетентностей.

Отримані результати можуть бути використані в практиці роботи закладів загальної середньої освіти, зокрема академічних ліцеїв, у процесі викладання природничо-математичних предметів, а також у системі підвищення кваліфікації педагогічних працівників.

Директор ліцею



Ігор КОЗАЧЕНКО



КРИВОРІЗЬКИЙ ПОКРОВСЬКИЙ ЛІЦЕЙ
КРИВОРІЗЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

50096, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Кропивницького, 63, тел. (098) 523-94-25, e-mail: kplznannya@gmail.com

«09» квітня 2026 р.

№ 03/63

Довідка

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Рашевської Наталі Василівни

за темою «Методична система використання імерсивних технологій навчання
природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»

Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження Рашевської Н. В. впроваджено в освітній процес Криворізького Покровського ліцею.

У межах впровадження реалізовано розроблену авторкою методичну систему використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів, яка передбачає цілеспрямовану інтеграцію цифрових та імерсивних ресурсів у структуру навчального процесу. Застосування елементів доповненої реальності забезпечило розширення можливостей візуалізації навчального матеріалу, моделювання об'єктів і процесів, а також організацію навчальної діяльності на засадах дослідницького та проєктного підходів.

У процесі практичного використання розробленої системи відзначено підвищення рівня сформованості в учнів концептуального розуміння навчального матеріалу, розвитку процедурних умінь і навичок розв'язування задач, а також активізацію пізнавальної діяльності та стійке зростання навчальної мотивації. Особливу увагу приділено формуванню предметних і

ключових компетентностей, зокрема інформаційно-цифрової та науково-дослідницької.

Під час впровадження також використовувалися розроблені авторкою навчально-методичні матеріали, зокрема рекомендації щодо добору і застосування імерсивних освітніх ресурсів, а також електронні освітні засоби, спрямовані на підтримку діяльності вчителя та організацію навчальної взаємодії учнів.

Результати впровадження засвідчили доцільність і ефективність використання імерсивних технологій у навчанні природничо-математичних предметів і можуть бути рекомендовані для широкого застосування в закладах загальної середньої освіти.

Директор



Іван КАЧАЛОВ



**КОМУНАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«КІРОВОГРАДСЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ІНСТИТУТ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ПЕДАГОГІЧНОЇ ОСВІТИ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СУХОМЛИНСЬКОГО»**

вул. Велика Перспективна, 39/63, м. Кропивницький, 25006, тел. (0522) 32-24-78,
e-mail: koipro@ukr.net, код за ЄДРПОУ 02136577

12. 05. 2026 № 283/08-09

на № _____ від _____

Довідка

про впровадження результатів наукового дослідження
Рашевської Наталії Василівни на тему «Методична система використання
імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів
академічних ліцеїв» в освітній процес комунального закладу
«Кіровоградський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти
імені Василя Сухомлинського»

Протягом 2025-2026 рр. на базі КЗ «КОІППО імені Василя Сухомлинського» було проведено майстер-класи в межах обласних семінарів-тренінгів для педагогічних працівників закладів загальної середньої освіти на тему «Імерсивні технології навчання природничо-математичних предметів учнів закладів загальної середньої освіти».

У теоретичному блоці заходів розглянуто методологічні аспекти використання імерсивних технологій у процесі навчання, психолого-педагогічні умови їх інтеграції в освітній процес, а також представлено можливі варіанти впровадження імерсивного середовища навчання в предметні методики.

Упродовж практичної частини майстер-класів педагоги ознайомилися з мобільними застосунками та цифровими ресурсами для реалізації імерсивного навчання природничо-математичних предметів. Представлені дисертанткою науково-методичні розробки отримали позитивні відгуки учасників заходів, сприяли підвищенню інтересу до імерсивних технологій та формуванню мотивації до їх використання у професійній діяльності.

Результати впровадження дослідження Рашевської Н. В. обговорено на засіданні кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та безпечного освітнього середовища (протокол № 5 від «07» травня 2026 року).

Директор

Скрипка Ганна 0664494099

Віталій ДМИТРУК

Міністерство освіти і науки України
 Управління освіти виконкому Саксаганської районної у місті ради
 Криворізький природничо-науковий ліцей
 вул. Володимира Великого, 32-А,
 м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, 50071
 тел. 097 275 11 72, e-mail: kpnl@ukr.net
 код ЄДРПОУ 20229667

«06» 04 2026

м. Кривий Ріг

№ 206

Довідка

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Рашевської Наталі Василівни

за темою «Методична система використання імерсивних технологій навчання
 природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»

Упродовж 2025-2026 рр. на базі Криворізького природничо-наукового ліцею здійснювалося впровадження результатів дисертаційного дослідження Рашевської Наталі Василівни, спрямованого на розробку та апробацію методичної системи використання імерсивних технологій у процесі навчання фізики в академічних ліцеях.

У межах впровадження наукових результатів було здійснено такі види діяльності: 1) організація та проведення навчальних занять з фізики із використанням технологій доповненої реальності, що дозволяють моделювати фізичні процеси та явища, недоступні для безпосереднього спостереження в умовах шкільного експерименту; 2) впровадження імерсивних засобів навчання для візуалізації складних фізичних понять та формування цілісного наукового уявлення про фізичну картину світу; 3) застосування методів дослідницького, проблемно-орієнтованого та проєктного навчання із використанням імерсивних технологій у процесі розв'язування навчальних і практичних завдань з фізики; 4) надання методичної підтримки педагогічним працівникам щодо інтеграції імерсивних технологій у викладання фізики, розроблення навчальних матеріалів і цифрових освітніх ресурсів.

У результаті впровадження встановлено підвищення рівня навчальних досягнень учнів з фізики, зростання їхньої навчальної мотивації, розвиток експериментальних і дослідницьких умінь, а також формування предметних і ключових компетентностей, зокрема науково-природничої та інформаційно-цифрової.

Результати дослідження можуть бути використані в практиці навчання фізики в закладах загальної середньої освіти, зокрема в академічних ліцеях природничого спрямування, а також у системі підвищення кваліфікації вчителів фізики.

Заступник директора з науково-методичної роботи,
 вчитель фізики та астрономії

Підпис затверджую

В.о. директора

Таїсія ХАРИТОНОВА

Наталія БУДНІК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО
ПІДПРИЄМСТВА «ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF UKRAINE
KRYVYI RIH PROFESSIONAL COLLEGE
OF THE STATE NON-COMMERCE
COMPANY «STATE UNIVERSITY «KYIV
AVIATION INSTITUTE»

вул. Олега Антонова, 1, м. Кривий Ріг, 50024, тел: 067-824-14-14
e-mail: pochta@kk.nau.edu.ua, kk.nau.edu.ua, ЄДРПОУ 45875458

Oleh Antonov Street, 1, Kryvyi Rih, 50024, tel 067-824-14-14
e-mail: pochta@kk.nau.edu.ua, kk.nau.edu.ua,
identification code 45875458

від/ from 21.05 2024 № 530/г
на/ on № _____

Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи Рашевської Наталі Василівни

за темою «Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв», на здобуття наукового ступеня доктора педагогічних наук зі спеціальності 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті

Провідні наукові положення і результати дослідження Рашевської Н. В. було впроваджено в освітній процес Криворізького фахового коледжу Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» упродовж 2024-2026 рр. Представлена в роботі методична система використання імерсивних технологій, моделі інтеграції імерсивного середовища в процес навчання, а також розроблені навчально-методичні матеріали застосовувалися під час викладання природничо-математичних предметів здобувачам освіти першого та другого курсів.

Упровадження результатів дослідження сприяло вдосконаленню змісту та методів навчання природничо-математичних дисциплін, розширенню можливостей візуалізації та моделювання навчального матеріалу, а також активізації пізнавальної діяльності здобувачів освіти. Використання імерсивних технологій позитивно вплинуло на якість засвоєння навчального матеріалу та формування предметних і ключових компетентностей, зокрема інформаційно-цифрової та дослідницької.

Схвальні відгуки за результатами впровадження отримали розроблені авторкою навчально-методичні матеріали, зокрема методичні рекомендації щодо використання імерсивних платформ і застосунків у навчанні, а також електронні освітні ресурси для підтримки діяльності вчителя.

Запровадження результатів дисертаційного дослідження Рашевської Н. В. сприяло підвищенню ефективності освітнього процесу, зростанню рівня навчальних досягнень здобувачів освіти та розвитку їхньої навчальної мотивації.

Начальник коледжу
доктор технічних наук, професор

Анатолій АНДРУСЕВИЧ



**ВІДДІЛ ОСВІТИ ВИКОНАВЧОГО КОМІТЕТУ
ТЕРНІВСЬКОЇ РАЙОННОЇ У МІСТІ РАДИ КРИВОРІЗЬКИЙ ЛІЦЕЙ №77
КРИВОРІЗЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ**

*50089, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Героїв Маріуполя, 45 а. e-mail: ktg.kolo@gmail.com
Ідентифікаційний код: 25840053*

Вих № 158 від 12.05.2016

Довідка

про впровадження результатів наукового дослідження за темою «Методична система використання імерсивних технологій навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв»

Рашевської Наталі Василівни

Результати наукового дослідження Н. В. Рашевської впроваджувалися в процес навчання хімії в Криворізькому ліцеї № 77 Криворізької міської ради.

Упродовж 2025-2026 навчального року вчителем хімії Колчановою Марією Ігорівною було впроваджено в навчальний процес методичну систему використання імерсивних технологій навчання хімії. Система передбачає інтеграцію цифрових імерсивних засобів (зокрема технологій віртуальної та доповненої реальності) у вивчення предмета «Хімія» в 10-х класах.

Під час впровадження використовувалися такі ключові елементи розробленої методичної системи:

- імерсивні цифрові освітні ресурси, інтерактивні моделі та симуляції для візуалізації хімічних процесів і явищ;
- організація навчальної діяльності учнів із застосуванням інтерактивних моделей і симуляцій;
- реалізація дослідницьких та практико-орієнтованих завдань в імерсивному середовищі;
- поєднання традиційних і цифрових форм навчання на засадах педагогічно доцільної інтеграції.

За результатами впровадження зріз рівень навчальних досягнень учнів підвищився рівень пізнавальної активності, мотивації до вивчення хімії та сформованості дослідницьких умінь.

Методична система продемонструвала високу ефективність і може бути рекомендована до використання в закладах загальної середньої освіти, зокрема в академічних ліцеях, під час вивчення хімії.

Вчитель хімії

Марія КОЛЧАНОВА

Затверджую

Директор КЛ № 77

Вікторія ДЕГТЯРЕНКО

