

## ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ГЕОМЕТРІЇ: ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДНИЦЬКОГО НАВЧАННЯ УЧНІВ

### VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF TEACHING GEOMETRY: PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF STUDENTS' RESEARCH LEARNING

У дослідженні наводяться психофізіологічні аспекти використання технологій віртуальної та доповненої реальності дитини у процесі дослідницького навчання учнів геометрії, аналізуються відповідні фактори і показники впливу. Мета експериментального дослідження полягає в досягненні ґрунтовного розуміння феномену присутності дитини та психофізіологічного впливу комп'ютерної техніки у віртуальному середовищі на процес дослідницького навчання учнів геометрії. Для досягнення завдань дослідження використовуються експериментальні майданчики "Clever: School of Natural and Mathematical Sciences". Особлива увага приділяється виявленню ризиків, труднощів і небезпек у віртуальному середовищі з метою виокремлення важливих тенденцій для перспективного подальшого інтелектуального розвитку дітей з методично вмотивованим використанням компонентів комп'ютерно орієнтованої методичної системи дослідницького навчання (КОМСДН) у процесі навчання учнів геометрії. Розроблено класифікацію дослідницьких задач у рамках експериментального дослідження. Здійснено порівняльну характеристику із урахуванням особливостей використання AR/VR у процесі дослідницького навчання. Особлива увага приділяється експериментальному дослідженню впливу IVR на психофізіологічний стан і розвиток інтелекту дітей. У процесі дослідження особлива увага зверталася на сенсорну систему дитини, яка має здатність підлаштовуватися під оточуюче середовище. Досліджено існування кореляційних зв'язків між перевагами у ставленні дітей до використання IVR і рівнями інтелектуального розвитку дітей. Встановлено необхідність здійснення добору ІТ для підвищення мотивації і рівня інтелектуального розвитку дітей. Результати виявилися значущими на рівні достовірності  $p \leq 0,05$ . Отримані у процесі експериментального дослідження дані використовувалися для здійснення аналізу найбільш актуальних у процесі дослідницького навчання учнів на уроках геометрії VR/AR КОМСДН.

**Ключові слова:** дослідницьке навчання, AR, VR, імерсивні технології, рівні інтелектуального розвитку, дослідницька задача, комп'ютерно орієнтована методична система

дослідницького навчання, інтелект, когнітивний розвиток, глибоке навчання, математичне моделювання.

The study presents psychophysiological aspects of the use of virtual and augmented reality technologies in the process of exploratory teaching of geometry to students, analyses the relevant factors and indicators of influence. The purpose of the experimental study is to achieve a thorough understanding of the phenomenon of the child's presence and the psychophysiological impact of computer technology in the virtual environment in the process of exploratory teaching of geometry to students. To achieve the research objectives, the experimental platforms "Clever: School of Natural and Mathematical Sciences". Special attention is paid to the identification of risks, difficulties and dangers in the virtual environment in order to highlight important trends for the prospective further intellectual development of children with methodologically motivated use of components of the computer-oriented methodological system of research training (COMSRL) in the process of teaching geometry to students. The classification of research tasks within the experimental study is developed, and accordingly a comparative characterisation is carried out, taking into account the peculiarities of the use of AR/VR in the process of research learning. Special attention is paid to the experimental study of the impact of IVR on the psychophysiological state and the development of children's intelligence. In the course of the study, special attention was paid to the behaviour of the child's sensory system, which has the ability to adapt to the environment. The existence of correlations between children's preferences in the use of IVR and their level of intellectual development was investigated. The necessity of choosing IT to increase the motivation and level of intellectual development of children, which leads to an increase in the effectiveness of research-based teaching of geometry, was established. The results were significant at the level of reliability  $p \leq 0,05$ . The data obtained in the course of the experimental study were used to analyse the most relevant issues in the process of research teaching of students in VR/AR COMSRL geometry lessons.

**Key words:** research teaching, AR, VR, immersive technologies, levels of intellectual development, research task, computer-oriented methodological system of research teaching, intelligence, cognitive development, deep learning, mathematical modelling.

УДК 373.5:5]:007  
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5208.2023.52.22>

#### Гриб'юк О.О.

к.пед.н., старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу технологій відкритого навчального середовища  
Інститут цифровізації освіти  
Національної академії педагогічних наук України,  
доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення  
Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая

**Вступ.** Підвищення значущості експериментальних методів у математичній науці, що відбулося під впливом розвитку комп'ютерної техніки, призвело до постановки задачі створення таких умов навчання математики, що сприятимуть вихованню в учнів якостей математика-експериментатора як доповнення до якостей математика-теоретика. Нижче

наведені найважливіші з таких особливостей: володіння знаннями про можливості та обмеженість експериментальних методів і засобів у математиці; здатність ставити і проводити математичні експерименти різних типів з використанням підручних і комп'ютерних засобів відповідно до їхньої ролі та місця у процесі навчального пізнання; здатність раціонально

поєднувати застосування експериментальних і теоретичних методів у процесі розв'язання навчально-дослідницьких завдань; здатність формулювати адекватні висновки на основі експериментальних даних з урахуванням обмеженості можливостей експериментального методу, а також відмінностей експериментів, які проводяться підручними та комп'ютерними засобами VR/AR [1; 2; 4].

Доцільність використання технологій віртуальної та доповненої реальності, відповідного інформаційно-психологічного впливу досліджується філософами, педагогами, психологами і соціологами. Здійснено класифікацію інформаційно-психологічних чинників і виокремлення механізму їх впливу на створення мас і окремого індивіда [2]. Актуальність досліджень щодо використання IVR у шкільній освіті беззаперечна. На підставі аналізу наукових публікацій щодо використання імерсивних технологій можна стверджувати про їх неоднозначний вплив на процеси розвитку мислення учнів, на результати навчання. У дослідженнях [3] наголошується на необхідності врахування питань етики, безпеки використання і захисту здоров'я дітей у процесі проектування IVR. У результаті педагогічного експерименту виявлено численні проблеми, такі як: конфіденційність; невміння/нездатність учнів концентрувати увагу; дорожня обладнання; побоювання щодо підміни ролі і місця «нового ґаджета» у контексті педагогічного дизайну навчально-виховного процесу; відсутність педагогічно виваженого і методично вмотивованого використання програмного забезпечення IVR. Дотепер не приводилося масштабних наукових досліджень щодо впливу занурення у віртуальну реальність на здоров'я людини. Невідомі короткотривалі і довготривалі наслідки впливу такого занурення.

Мета експериментального дослідження полягає в досягненні ґрунтовного розуміння феномену присутності дитини та психофізіологічного впливу комп'ютерної техніки у віртуальному середовищі в процесі дослідницького навчання учнів геометрії. Для досягнення завдань дослідження використовуються експериментальні майданчики “Clever: School of Natural and Mathematical Sciences” [4]. Особлива увага приділяється виявленню ризиків, труднощів і небезпек у віртуальному середовищі з метою виокремлення важливих тенденцій для перспективного подальшого інтелектуального розвитку дітей з методично вмотивованим використанням компонентів комп'ютерно орієнтованої методичної системи дослідницького навчання (КОМСДН) у процесі навчання учнів геометрії [5].

Виклад основного матеріалу. Досягнення цих освітніх результатів вимагає, по-перше, включення в практику математичної освіти

форм організації навчальних занять (або частини занять), які аналогічні формам, що використовуються під час вивчення дисциплін природничо-наукового блоку для формування якостей природодослідника (демонстраційні експерименти, самостійні лабораторні роботи, лабораторні практикуми, експериментальні дослідження учнів) [6]; по-друге, організації на таких заняттях навчально-дослідницької діяльності у стилі експериментальної математики, що забезпечує поступове формування в учнів перелічених вище якостей з використанням КОМСДН; по-третє, розв'язання питань добору змісту таких занять з урахуванням ролі експериментальних методів в історії розвитку математики та діяльності у сфері математики та її застосування сьогодні.

Опису наших поглядів на розв'язання цих найважливіших методичних завдань у контексті експериментальної математики і присвячено цю статтю.

Дидактична модель дослідницького навчання КОМСДН [2]. Під час побудови моделі спираємося на такі вихідні дані, які впливають із наведених нижче [7]:

1) дослідницьке навчання математики в закладах загальної середньої освіти – це виокремлення на всіх або окремих етапах дидактичного циклу в діяльність, схожу з діяльністю вчених у галузі експериментальної математики;

2) специфіка методології експериментальної математики полягає в доцільному використанні можливостей, що надаються експериментальним і теоретичним підходами із педагогічно виваженим і методично умотивованим використанням компонентів комп'ютерно орієнтованої методичної системи дослідницького навчання (КОМСДН);

3) у процесі проектування кожного дидактичного циклу вчитель щоразу ухвалює рішення щодо того, який підхід – репродуктивний чи дослідницький – і з яким ступенем повноти застосовувати на кожному з етапів з урахуванням принаймні трьох основних чинників: М-рівня базової математичної підготовки учнів (для позначення чинника обрано першу літеру слова “mathematics”); І-рівня сформованості в учнів якостей математика-експериментатора (для позначення чинника обрано першу букву слова “inquiry”); Т-ліміту навчального часу, що відведений для навчання.

**Метою** побудови дидактичної моделі є дослідження впливу поєднання поточних значень чинників  $M(t)$ ,  $I(t)$ ,  $T(t)$  на ухвалення вчителем рішення щодо ступеню відображення стилю експериментальної математики на окремих етапах дидактичного циклу дослідницького навчання математики. Під моделлю розуміють таку подумки уявлювану або мате-

ріально реалізовану систему, яка, відбиваючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна заміщати його так, що її вивчення дає нам нову інформацію про об'єкт [8]. Пропоноване визначення містить у собі чотири властивості цього поняття: уявна або матеріальна система; замісник об'єкта дослідження; носій значущих властивостей об'єкта дослідження, відображених у вихідних відомостях про нього; засіб для отримання нових відомостей про об'єкт дослідження.

Дидактична модель у рамках експериментального дослідження [9] є замісником не одного, а двох об'єктів – дидактичного циклу навчання математики (А) і гносеологічного циклу експериментальної математики (В). Пропонована дидактична модель КОМСДН використовується з метою відображення не тільки основних властивостей пропонованих об'єктів, а й у міцних взаємозв'язках (С) з їхніми властивостями. Значення міцності взаємозв'язків між властивостями цих об'єктів не може бути зафіксоване в моделі однозначно, тому що воно залежить від поточних (змінних залежно від часу  $t$ ) значень набору принаймні трьох таких чинників:  $M(t)$  – рівня базової математичної підготовки учнів, досягнутого на момент часу  $t$ ;  $I(t)$  – рівня сформованості в них особливостей/якостей математика-експериментатора та математика-теоретика, досягнутого на момент часу  $t$ ;  $T(t)$  – наявного на цей момент ліміту часу на опрацювання навчального матеріалу [2].

Призначення цієї моделі також відрізняється від зазначеного, оскільки дидактична модель має передпроектний характер, тобто вона використовується в контексті інформаційного підґрунтя для проектування такого процесу дослідницького навчання математики з елементами експериментальної математики, що забезпечує формування в учнів стилю мислення математика-експериментатора, які перебувають у зоні найближчого розвитку в момент часу  $t$ . У межах експериментального дослідження [10] під дидактичною моделлю дослідницького навчання в стилі експериментальної математики ми розумітимемо інформаційну систему, що характеризує повноту реалізації на етапах дидактичного циклу дослідницького навчання математики гносеологічного циклу експериментальної математики. Було сформульовано дві гіпотези. 1. Показники обдарованості учнів, які проживають в різних соціокультурних середовищах, відрізняються, оскільки вони беруть участь в різних полісистемних процесах. Відповідно, належність учнів до систем різного порядку проявляється в психологічних рисах учнів. 2. Духовність учнів виявляється по-різному, тому ціннісний життєвий простір обдарованих учнів відрізнятиметься за структурою.

Можливість експериментального дослідження, як відомо, визначається рівнем математичної підготовки дослідника та рівнем оволодіння математичними основами дослідження [11]. У зв'язку з цим ідеться не про загальнокультурний рівень математичної підготовки учня, а про рівень його математичної підготовки, достатній для освоєння запланованого вчителем елемента предметного змісту у процесі дослідницького навчання. Обсяг наявних в учнів знань має бути таким, щоб забезпечити можливість створення чуттєвого образу об'єкта дослідження на основі вихідних даних, проектування, конструювання його дослідницької моделі, перетворення вихідних даних і чуттєвого образу. Такими міркуваннями визначається прийняття кваліметричної шкали оцінювання рівня математичної підготовки учня ( $M$ ) [12]. Значення 0 і 3 у цій шкалі є граничними, тому що  $M=0$ , що відповідає можливостям організації продуктивної діяльності не тільки теоретичного характеру, але й експериментального;  $M=3$ , що надає можливість вільного вибору або навіть поєднання стилів продуктивної діяльності в навчальному пізнанні.

Найважливішим чинником, що забезпечує можливість опанування змісту в дослідницькому навчанні, є також володіння методологічними основами дослідження. Ступінь самостійності учнів у проведенні навчальних досліджень, віднесених до стилю експериментальної математики, визначається рівнем розвитку в них відповідних методологічних знань про експериментальні методи, що використовуються у процесі дослідницького навчання математики. На підставі аналізу результатів експериментального дослідження [3; 13] можна зробити висновок, що розвиток методологічних знань супроводжується зміною форми їхнього існування (неявні особистісні знання учнів – неявні; потім частково виявлені міжособистісні знання – об'єктивізовані надособистісні знання), супроводжуваною двома процесами – їхньою раціоналізацією та генералізацією. Методологічні знання зароджуються в момент інсайту (осаяння) або передаються в процесі сприйняття зразків діяльності, що їх пропонує вчитель. Усвідомлення екстрапізнавальної значущості методологічного знання відбувається поступово під час нагромадження уявлення про інші ситуації успішного застосування нової ідеї. Об'єктивізація методологічного знання починається із зіткнення із ситуаціями його неефективності за умови реалізації спроби розкриття причин цієї неефективності. Об'єктивізація є необхідним підґрунтям для виникнення здатності до усвідомленої саморегуляції використання методологічних знань включно зі здатністю критичного оцінювання типового стилю, варіювання

та поєднання стилів дослідницького навчання [14; 23].

Віртуальна реальність (VR) – це 3D-комп'ютерне середовище, з використання якого можна здійснювати симуляцію реального світу, наближену до реального. Віртуальне середовище можна проектувати з використанням персонального комп'ютера, мобільного застосунку або дисплею HMD, який може бути представлений гарнітурою або окулярами.

Імерсивна віртуальна реальність (IVR) з використанням HMD – технологія для створення відчуття присутності (в т.ч. психологічної присутності) користувача у віртуальному просторі. З використанням різноманітних технологій IVR створюються різні рівні завантаження та відчуття присутності в штучному (імітованому) середовищі [15; 23]. Можливості варіативно змінюються від пасивного спостереження за віртуальним світом до таких, де користувач забезпечується обмеженою навігацією та взаємодією, а також до віртуального середовища, де користувач здійснює маніпуляції (переміщення), взаємодіючи, в результаті чого набувається індивідуальний досвід. Здійснення дослідницького навчання можливе за нижче наведених варіантів / способів [16]: 1) перший досвід із врахуванням соціально-конструктивістської концепції навчання шляхом емпіричного відкриття; 2) природна семантика у контексті пропедевтики вивчення символів і абстракцій (наприклад, здійснення маніпуляцій кутами, сторонами многокутників перед вивченням важливості дослідження кутів у математиці); 3) уточнення навчального матеріалу/знань у процесі перетворення абстрактних ідей у сформовані наукові положення/теорії (наприклад, «подорож із вірусом» у процесі мутації та поширення в популяції тощо); 4) розмір і масштабованість з метою зміни розмірів об'єктів/середовища з метою забезпечення взаємодії з мікро/макросвітом (наприклад, маніпуляції з атомами); 5) трансдукція (наприклад, моделювання шляхів міграції китів, морських свинок, вивчення яких дозволяє учням досліджувати шляхи різноманітних видів тощо); зміна перспективи в контексті використання IVR як «механізму/машини співчуття, співпереживання» задля ламання стереотипів [23].

Виробники обладнання IVR оприлюднили рекомендації щодо охорони праці і техніки безпеки з урахуванням вікових обмежень щодо використання імерсивних технологій [17]. Учитель перед використанням IVR в навчальному процесі повинен ознайомитися з рекомендаціями виробників. Необхідно обов'язково врахувати когнітивні, лінгвістичні, фізичні (перцептивні, рухові), емоційні (афективні), соціальні та моральні особливості в контексті розвитку

перед використанням IVR у процесі навчання, оскільки використання IVR може призвести до виникнення шкідливої реакції у дітей, які не в змозі когнітивно регулювати такий набутий досвід. Маленькі діти можуть набувати хибних переконань, підмінюючи поняття, що віртуальний світ і є реальним [18]. Неможливо передбачити процес виникнення у дитини кібернетичної хвороби (різновид захитування!), саме тому вчитель повинен навчати учнів виявленню симптомів з метою попередження шкідливого впливу віртуальної реальності з інтенсивним використанням IVR [23].

Конфіденційність учнів потрібно врахувати не лише під час ведення записів у системі IVR, але й для забезпечення даних задля уникнення накопичення біометричних даних виробниками обладнання і програмного забезпечення віртуальної реальності. Біометричні дані – це автоматизоване розпізнавання на накопичення даних про біологічні та поведінкові характеристики людей, що можуть піддаватися модифікації (наприклад, розпізнавання обличчя, відстежування руху очей, руху верхніх і нижніх кінцівок тощо). Інтеграція біометрії в імерсивні технології створюватиме проблеми щодо питань згоди й конфіденційного зберігання даних людини. У навчально-виховному процесі учнів необхідно врахувати наслідки використання імерсивних технологій для забезпечення конфіденційності учнів. Рекомендації для вчителів щодо використання IVR пропонуються в рамках експериментального дослідження [16; 22]. У процесі створення та поширення VR-контенту було враховано питання конфіденційності та культури (наприклад, розміщення зображення людей, локалізації, інформаційних повідомлень у рамках використання застосунків VR), питання інтелектуальної власності (проблема використання власником платформи VR-контенту, створеного учнями), проблему авторського права (чи порушуються користувачами/власниками авторські права) [23].

Доповнена реальність у процесі навчання геометрії [19; 22; 23]. З використанням доповненої реальності (AR) в режимі реального часу здійснюється накладання відомостей, згешерованих комп'ютером, і віртуальних об'єктів на фізичний об'єкт. Доповнена реальність створюється з використанням персональних комп'ютерів, проекційних систем, мобільних засобів і дисплеїв (гарнітура, окуляри). Переваги використання доповненої реальності в процесі дослідницького навчання геометрії наведені нижче: перетворення контенту з текстового формату у візуальні та інтерактивні форми; можливість AR-моделювання шляхом віртуального переміщення у важко доступні для людини місця (наприклад, здійснення польових досліджень у віддалених місцях). Недо-

ліки використання AR наведено нижче: когнітивне перевантаження, відволікання учнів від основних аспектів дослідницького навчання. Рекомендації для учителів щодо безпечної та етичного використання доповненої реальності пропонуються у рамках експериментального дослідження (див. рис. 1) [20; 22; 23].

Дослідницькі (когнітивні) задачі на уроках геометрії ефективно та швидко розв'язуються з використанням сучасних комп'ютерних систем [2], а пізнавальні завдання дотепер залишаються недосяжними для комп'ютерів, проте людина легко з ними може впоратися [21].

Із урахуванням різноманітних досягнень у галузі машинного навчання момент створення універсального штучного інтелекту (AGI) відтерміновано у нескінченність, відповідно прослідковуються лише теоретичні можливості такої реалізації.

Моделі глибокого навчання представляються у вигляді чорного ящика. Приклади використання методів навчання DeepViz є винятковими ситуаціями.

Глибоке навчання потребує аналізу численних зразків, а відповідні набори даних не завжди доступні порівняно з біологічними системами навчання. Наприклад, дитині часто достатньо запропонувати один приклад для реалізації дослідницького навчання. У моделях глибокого навчання трапляються помилки

незрозумілого походження. Безперечно, вони з'являються у процесі зміни лише одного пікселю вхідного зображення. У моделях глибокого дослідницького навчання не передбачається використання знань про навколишній світ, у тому числі в процесі прийняття рішень не використовуються численні фактори та евристичні алгоритми. У моделях глибокого навчання передбачена кореляція між деякими входами  $x$  та виходами  $y$  не використовується з метою оцінювання причинно-наслідкових зв'язків. Здібності/здатності здійснення переходу від передбачення кореляції між змінними до виявлення причинно-наслідкових зв'язків між ними має виключне значення у процесі розвитку універсального штучного інтелекту (AGI). Перспективою подальшого дослідження є вирішення описаних вище проблем з виваженим використанням технології штучного інтелекту [2].

Особлива увага у процесі дослідження приділяється розробленню і уточненню компонентів комп'ютерно орієнтованих методичних систем дослідницького навчання із використанням комп'ютерного зору (наприклад, у процесі традиційного машинного навчання необхідно завчасно виокремити візуальні аспекти/ознаки на підставі узагальнення тривалого досвіду роботи в досліджуваній галузі). З використанням моделей глибокого навчання



Рис. 1. Комп'ютерне моделювання в контексті інших методів пізнання КОМСДН

здійснюється автоматичне виявлення ознак без особливих знань у відповідній галузі для їхнього впровадження. Відбувається повторення (імітація) [2] візуальних/художніх образів (ідеться про наявність генеративно-змагальних зв'язків з використанням моделей глибинного навчання, використання яких забезпечує створення реалістичнішого зображення порівняно з наявними методами/підходами. Цікавими є ігри в гейміфікацію (наприклад, можливості здійснення глибинного навчання із використанням алгоритму AlphaZero, в тому числі без використання БЗ). Перспективним є опрацювання природної мови (наприклад, у процесі традиційного машинного навчання з метою створення ефективного алгоритму потрібно враховувати багаторічний досвід у лінгвістиці, розуміти семантичні, синтаксичні особливості конкретної мови). Моделі глибинного навчання працюють ефективніше порівняно з традиційними підходами/методами, в тому числі з використанням моделей аналізуються і виявляються відповідні ознаки, не потребуючи відповідного лінгвістичного досвіду розробників.

З урахуванням того факту, що можливості здійснення класифікації візуальних образів є прикладом вузькоспеціалізованого штучного інтелекту (ANI), при цьому не спостерігається тенденція щодо сповільнення експоненційного зростання об'ємів цифрових даних,

з'являються надії щодо виникнення AGI. Безперечно, більшість даних, які створюються, низької якості, наприклад, розміщені у відкритих БЗ. Швидкість зростання виробничих потужностей окремих процесорів може сповільнюватися, однак масове розпаралелення матричних операцій у графічних процесорах і серед численних серверів буде продовжувати збільшувати необхідну обчислювальну потужність. У рамках експериментального дослідження [2] спостерігається стрімке зростання щодо удосконалення методів і алгоритмів для ефективного здійснення аналізу наборів даних з метою виявлення типових шаблонів з використанням глибинного навчання. Безперечно, завдяки наявності відповідної інфраструктури програмного забезпечення першого покоління (наприклад, операційні системи з відкритим вихідним кодом та мови програмування у поєднанні з бібліотеками, методами програмного забезпечення другого покоління, що поширюються з використанням arXiv, GitHub тощо) та з урахуванням низької вартості послуг хмарних обчислень (Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud Platform) зростають можливості для здійснення експериментального дослідження з використанням великих наборів даних. Розглянемо доцільність та фактичність використання інформаційних ресурсів у процесі дослідницького навчання геометрії (див. таблиці 1–5).

Таблиця 1

**Структура доцільного та фактичного використання інформаційних ресурсів у процесі навчання математики**

Назва групи інформаційних ресурсів	Використання (у %)	
	доцільне	фактичне
Динамічні візуалізації	15,1	3,9
Статичні візуалізації	15,6	33,2
Програмне забезпечення навчального призначення	18	11,9
Навчальний матеріал	18,2	28,3
Програмне забезпечення для здійснення контролю	12	21
Комп'ютеризовані навчальні лабораторії	15,6	0
Інші	21,1	1,7

Таблиця 2

**Структура доцільного та фактичного використання інформаційних ресурсів у процесі навчання фізики**

Назва групи інформаційних ресурсів	Використання (у %)	
	доцільне	фактичне
Динамічні візуалізації	10,5	9,52
Статичні візуалізації	20,2	27,8
Програмне забезпечення навчального призначення	16,4	11,3
Навчальний матеріал	11,5	11
Комунікації та Інтернет	14	8,21
Програмне забезпечення для здійснення контролю	10	15,8
Інші	17,3	16,4

**Структура доцільного та фактичного використання інформаційних ресурсів у процесі навчання біології**

Назва групи інформаційних ресурсів	Використання (у %)	
	доцільне	фактичне
Динамічні візуалізації	12,4	0
Статичні візуалізації	21,1	29,7
Пошукові системи		10,6
Програмне забезпечення навчального призначення	10,3	0
Навчальний матеріал	16,3	21,2
Програмне забезпечення для здійснення контролю	9,52	11,9
Інтегровані програмні системи	12,7	14,6
Інші	17,7	1,35

Таблиця 4

**Структура доцільного та фактичного використання інформаційних ресурсів у процесі навчання хімії**

Назва групи інформаційних ресурсів	Використання (у %)	
	доцільне	фактичне
СКМ математичного моделювання	9,53	0
Статичні візуалізації	32,1	56,1
Програмне забезпечення навчального призначення	8,5	3,15
Навчальний матеріал	21,2	32
Програмне забезпечення для здійснення контролю	6,86	5
Пошукові системи	0	1,85
Комунікації та Інтернет	8,2	1,3
Інші	13,6	0,556

Таблиця 5

**Організація дослідницького навчання на прикладі математики з урахуванням рівнів інтелектуального розвитку учнів**

№ з/п	Варіант	Практична реалізація	Недоліки
1.	Приведення у відповідність компонентів процесу дослідницького навчання геометрії навчальним уподобанням учнів	Угрупування учнів з відповідними рівнями інтелектуального розвитку та використання в кожному з класів відповідних прийомів та засобів дослідницького навчання геометрії	Установлені нормативні співвідношення вчитель/учень не дозволяють вільно варіювати кількість та склад учнів у класах. Такий підхід не створює умов для інтелектуального розвитку
2.	Створення спеціального навчального середовища, де учні зможуть обирати індивідуальну траєкторію навчання геометрії відповідно до рівня інтелектуального розвитку учня	Робота учнів з адаптивними навчальними ресурсами	Вимагається використання спеціального програмного забезпечення. Вітчизняні розробки програмних засобів такого типу для навчання геометрії практично відсутні
3.	Ідентифікація групового середнього типу та вибір відповідних інформаційних ресурсів	Використання набору різних інформаційних ресурсів, що відповідають специфічним перевагам класу (групи учнів)	Неявно виражений дисконфорт для деяких учнів, який не перешкоджає дослідницькому навчанню геометрії

На основі аналізу наукової літератури вітчизняних та зарубіжних дослідників, власного досвіду застосування програмних продуктів навчального призначення, результатів експериментального дослідження сформульовано основні положення, що використовуються педагогами для вибору інформацій-

них ресурсів [2]. Інтеграція добору ресурсів з методами навчання предметів природничо-математичного циклу з урахуванням рівнів інтелектуального розвитку учнів у реальних умовах освітнього процесу відрізняє пропонуване дослідження від інших у цій галузі [22].

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Hrybiuk O. Psychophysiological aspects of the phenomenon of a child's presence in a virtual environment in the process of research learning: results of empirical research. *European potential for the development of pedagogical and psychological science: Collective monograph*. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2021. P. 147–187.
2. Гриб'юк О.О. Дослідницьке навчання учнів предметів природничо-математичного циклу з використанням комп'ютерно орієнтованих методичних систем : монографія. Київ : НПУ імені М.П. Драгоманова, 2019. 858 с.
3. Гриб'юк О.О. Дослідження розвитку інтелекту: особливості дослідницького навчання учнів з різними рівнями розвитку інтелекту в закладах загальної середньої освіти України та Польщі. Технології розвитку інтелекту. 2020. Том 4. № 3 (28). DOI: <http://doi.org/10.31108/3.2020.4.3.4>.
4. Гриб'юк О.О. Психофізіологічні підходи щодо проєктування комп'ютерно орієнтованих методичних систем дослідницького навчання учнів з педагогічно виваженим використанням імерсивних технологій. *Габітус*. 2022. Випуск 39. С. 95–103. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-5208.2022.39.17>.
5. Hrybiuk O. Problems of expert evaluation in terms of the use of variative models of a computer-oriented learning environment of mathematical and natural science disciplines in schools. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Seria: "Organizacja i Zarządzanie"*. Zeszyt. Nr 79. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej (WPP), 2019. P. 101–119.
6. Hrybiuk O. Improvement of the Educational Process by the Creation of Centers for Intellectual Development and Scientific and Technical Creativity. *Advances in Manufacturing II. MANUFACTURING 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering / A. Hamrol, A. Kujawińska, M. Barraza* 2019. P. 370–382. Springer, Cham Online.
7. Hrybiuk O. Mathematical modeling as a means and method of problem solving in teaching subjects of branches of mathematics, biology and chemistry. *Proceedings of the First International conference on Eurasian scientific development. "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH*. Vienna. 2014. P. 46–53.
8. Гриб'юк О.О. Рівнева модель дослідницького навчання учнів математики з використанням комп'ютерно орієнтованої методичної системи. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020. Том 77. № 3. С. 39–65.
9. Гриб'юк О.О. Перспективи впровадження варіативних моделей комп'ютерно орієнтованого середовища навчання предметів природничо-математичного циклу у загальноосвітніх навчальних закладах України. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету. Серія «Педагогічна»*. 2016. С. 184–190.
10. Hrybiuk O. Experience in Implementing Computer-Oriented Methodological Systems of Natural Science and Mathematics Research Learning in Ukrainian Educational Institutions. *Innovations in Mechatronics Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering / J. Machado, F. Soares*. 2022. P. 55–68. Springer, Cham Online.
11. Гриб'юк О.О. Імерсивні технології в освіті: особливості когнітивного розвитку дитини у віртуальному середовищі в процесі дослідницького навчання. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. Вінниця : ТОВ «Друк плюс», 2021. Вип. 62. С. 138–162. ISBN 978-966-2337-01-3.
12. Гриб'юк О.О. Педагогічне проєктування комп'ютерно орієнтованого середовища навчання дисциплін природничо-математичного циклу. *Наукові записки. Випуск 7. Серія «Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти»*. Кіровоград : ПБВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2015. С. 38–50.
13. Hrybiuk O. Engineering in Educational Institutions: Standards for Arduino Robots as an Opportunity to Occupy an Important Niche in Educational Robotics in the Context of Manufacturing 4.0. *Proceedings of the 16th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume 27–32*, 2020. P. 770–785.
14. Hrybiuk O., Vedishcheva O. Experimental Teaching of Robotics in the Context of Manufacturing 4.0: Effective Use of Modules of the Model Program of Environmental Research Teaching in the Working Process of the Centers "Clever". *Innovations in Mechatronics Engineering II. icieng 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2022. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-09385-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-09385-2_20).
15. Гриб'юк О.О. Дослідницьке навчання учнів з використанням імерсивних технологій у контексті їх впливу на інтелектуальний і психофізіологічний розвиток. *Перспективи та інновації науки. Серія «Педагогіка. Психологія. Медицина»*. 2021. № 5. С. 185–205. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2021-5\(5\)-185-204](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2021-5(5)-185-204).
16. Гриб'юк О.О. Імерсивні технології у процесі навчання предметів математичного циклу: становлення нової освітньої парадигми. *Педагогічні науки: теорія та практика*. Запоріжжя : Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 4 (40). С. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.26661/2786-5622-2021-4-05>.
17. Hrybiuk O. Improvement of the Educational Process by the Creation of Centers for Intellectual Development and Scientific and Technical Creativity. *Advances in Manufacturing II. MANUFACTURING 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering / A. Hamrol, A. Kujawińska, M. Barraza*. 2019. P. 370–382. Springer, Cham Online ISBN978-3-030-18789-7.
18. Гриб'юк О.О. Вплив інформаційно-комунікаційних технологій на психофізіологічний розвиток молодого покоління. *"Science", the European Association of pedagogues and psychologists. International scientific-practical conference of teachers and psychologists "Science of future": materials of proceedings of the International Scientific and Practical Congress. Prague (Czech Republic)*. Publishing Center of the European Association of pedagogues and psychologists "Science", Prague, Vol. 1, 2014. S. 190–207.
19. Hrybiuk O. Problems of expert evaluation in terms of the use of variative models of a computer-oriented learning environment of mathematical and natural science disciplines in schools, [w:] *Zeszyty*



*Naukowe Politechniki Poznańskiej. Seria "Organizacja i Zarządzanie", Zeszyt Nr 79, Poznań : Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej (WPP), 2019. S. 101–119.*

20. Grybyuk O.O. Mathematical modeling as a means and method of problem solving in teaching subjects of branches of mathematics, biology and chemistry. *Proceedings of the First International conference on Eurasian scientific development. "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna, 2014. P. 46–53.*

21. Гриб'юк О.О. Когнітивна теорія комп'ютерно орієнтованої системи навчання природничо-математичних дисциплін та взаємозв'язки вербальної і візуальної компонент. *Гуманітарний вісник ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди»*. Додаток 1 до Вип. 36, Том IV (64). 2015. С. 158–175.

22. Гриб'юк О.О. Педагогічне проєктування компонентів віртуальної і доповненої реальності КОМСДН у процесі дослідницького навчання учнів предметів природничо-математичного циклу у закладах загальної середньої освіти. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 83. С. 78–93. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.32840/1992-5786.2022.83.13](https://doi.org/10.32840/1992-5786.2022.83.13).

23. Гриб'юк О.О. MR/VR/AR КОМСДН у процесі дослідницького навчання учнів предметів природничо-математичного циклу: специфіка педагогічного проєктування освітніх систем. *Цифрова трансформація освіти України в умовах воєнного стану : збірник матеріалів звітної наукової конференції Інституту цифровізації освіти НАПН України, м. Київ, 24 лютого 2023 р. Київ : ІЦО НАПН України, 2023. С. 102–114. DOI: 10.33407/lib.NAES.735053.*