

Н. Л. НОВІКОВА

доктор економічних професор, професор,
професор кафедри менеджменту і маркетингу,
Київський національний лінгвістичний університет (Україна, Київ)
e-mail: natalia.novikova@knlu.edu.ua
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-9494>

ЦИФРОВІ ДЕТЕРМІНАНТИ РОЗВИТКУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Анотація

Метою дослідження є розроблення теоретико-методологічних засад цифровізації системи вищої освіти й обґрунтування практичних рекомендацій щодо її удосконалення в Україні. **Методологія.** У процесі дослідження було обрано шлях домінування принципів і методів пізнання, вибір яких визначався підходами до розкриття теми, поставленими завданнями та специфікою джерел. Було використано принципи системності, когнітивності, використання методів спостереження, порівняння, аналізу, синтезу, індукції, дедукції, вимірювання та абстрагування. **Наукова новизна.** Проаналізовано феномен цифровізації вищої освіти в Україні та світі. Досліджено системи управління навчанням (Moodle, Canvas, Google Classroom,) та системи управління навчальним контентом (Zoom, Microsoft Teams, Google Drive, OneDrive, Unicheck, StrikePlagiarism), які становлять технологічний фундамент цифрової освіти у закладах вищої освіти України. Систематизовано трансформаційні процеси, технологічні інновації та їхній вплив на академічне середовище у контексті глобальних тенденцій зростання EdTech ринку. **Результати дослідження.** Визначено, що період 2020-2024 років заклади вищої освіти України пройшли через фундаментальну цифрову трансформацію, яка змінила підходи до викладання та навчання. Зазначено, що понад 90% закладів вищої освіти успішно впровадили цифрові технології у свої освітні процеси. Цифровізація дозволила подолати географічні бар'єри та створити рівні можливості для молоді з різних куточків країни, що сприяє розвитку людського капіталу всієї України. Ключові напрями цифрової трансформації ЗВО мають включати розвиток цифрової інфраструктури (забезпечення високошвидкісного доступу до інтернету для всіх закладів вищої освіти, модернізація обладнання, створення центрів цифрових компетентностей), удосконалення нормативно-правової бази (регулювання дистанційної та змішаної освіти, цифрова ідентифікація та автентифікація, захист даних та кібербезпека, визнання цифрових кваліфікацій), а також стимулювання інновацій та обміну кращими практиками через грантові програми, конкурси цифрових інновацій, створення національних репозитаріїв відкритих освітніх ресурсів.

Ключові слова: цифровізація, вища освіта, блокчейн, інтернет-технології, штучний інтелект, віртуальна реальність, доповнена реальність, цифрові компетентності, персоналізація навчання.

DIGITAL DETERMINANTS OF HIGHER EDUCATION DEVELOPMENT

Abstract

The purpose of the study is to develop the theoretical and methodological foundations of digitalization of the higher education system and to substantiate practical recommendations for its improvement in Ukraine. **Methodology.** In the course of the study, the path of dominance of the principles and methods of cognition was chosen, the choice of which was determined by approaches to the disclosure of the topic, the tasks and specifics of the sources. The principles of systematic, cognitiveness, use of observation methods, comparison, analysis, synthesis, induction, deduction, measurement and abstraction were used. **Scientific novelty.** The phenomenon of digitalization of higher education in Ukraine and the world is analyzed. Learning management systems (Moodle, Canvas, Google Classroom,) and educational content management systems (Zoom, Microsoft Teams, Google

Drive, OneDrive, Unicheck, Strikeplagiarism), which form the technological foundation of digital education in institutions in institutions of digital education in institutions, have been investigated. Transformation processes, technological innovations and their impact on the academic environment in the context of global EDTECH growth growth are systematized. **Conclusions.** It is determined that in the period 2020-2024, higher education institutions of Ukraine went through a fundamental digital transformation that changed approaches to teaching and learning. It is noted that more than 90% of higher education institutions have successfully implemented digital technologies in their educational processes. Digitalization has made it possible to overcome geographical barriers and create equal opportunities for young people from different parts of the country, which contributes to the development of human capital throughout Ukraine. The key areas of digital transformation of higher education institutions should include the development of digital infrastructure (providing high-speed Internet access for all higher education institutions, modernization of equipment, creation of digital competence centers), improvement of the regulatory framework (regulation of distance and blended education, digital identification and authentication, data protection and cybersecurity, recognition of digital qualifications), as well as stimulating innovation and sharing of best practices through grant programs, digital innovation competitions, creation of national repositories of open educational resources.

Key words: digitalization, higher education, blockchain, Internet technologies, artificial intelligence, virtual reality, supplemented reality, digital competences, personalization of learning.

Вступ. Цифровізація вищої освіти становить складний багатовимірний процес, що потребує глибокого теоретичного осмислення та методологічного обґрунтування. Сучасні концептуальні моделі цифрової трансформації університетів формуються на перетині педагогіки, інформаційних технологій, соціології, психології та управлінських наук, створюючи міждисциплінарне поле для дослідження цієї проблематики. Еволюція підходів до використання цифрових технологій у навчанні пройшла шлях від початкових уявлень про комп'ютеризацію як додатковий інструментарій до розуміння цифровізації як всеохоплюючого процесу, що трансформує саму парадигму освіти. Сучасні теоретичні концепції розглядають цифрові технології не просто як засіб передачі знань, а як середовище формування нових компетентностей та механізм глибинної трансформації освітніх практик.

Міждисциплінарні аспекти цифровізації освітнього процесу охоплюють широкий спектр питань: від технологічних особливостей впровадження цифрових інструментів до психологічних та соціальних наслідків віртуалізації освітньої взаємодії. Особливої уваги заслуговує методологія інтеграції цифрових інструментів у педагогічну практику, яка передбачає переосмислення традиційних дидактичних принципів та розробку нових підходів до організації навчального процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання цифрових трансформацій сфери освіти є предметом розгляду як вітчизняних так і зарубіжних вчених-дослідників. Серед них Bernuy C., Chumbe S. & Daniel Bell, Garcia C. (2021), які досліджували феномен віртуальної реальності в освітньому процесі, Khrisna L., Suryapranata P. & Lazarusli I. A. (2023), які досліджували мотиваційні аспекти в освіті. Крім того, зазначеної теми торкалися у своїх дослідженнях Burton R. Clark, Martin Heidegger, Dr. Stijn Kelchtermans, Pierre Lévy, R. E. Litan, Eric Mazur, Steven Pinker, Alvin Toffler, Alain Touraine. В той же час, тема пропонованої статті залишається актуальною і потребує подальших досліджень.

Метою статті є розроблення теоретико-методологічних засад цифровізації системи вищої освіти й обґрунтування практичних рекомендацій щодо її удосконалення в Україні.

Для досягнення мети передбачено розв'язати такі **завдання**: дослідити теоретико-методологічні основи цифровізації вищої освіти; проаналізувати сучасний стан цифровізації вищої освіти в Україні; дослідити кращі світові практики цифровізації

вищої освіти; визначити перспективи та стратегічні напрями розвитку цифрової вищої освіти України.

Методи та методологія проведення дослідження. Методологічною основою дослідження обрані принципи системності, когнітивності. Для проведення дослідження використано сучасну методологію соціальних досліджень, ґрунтовану на системному підході, зокрема методи моделювання, порівняння, спостереження, аналізу, синтезу, індукції, дедукції, вимірювання, абстрагування, систематизації формально-логічного аналізу.

Виклад та обговорення основного матеріалу дослідження. Цифровізація вищої освіти в Україні характеризується нерівномірною динамікою та диференційованими проявами залежно від регіону, типу та фінансових можливостей закладів вищої освіти. Кількісні показники доступу до цифрових технологій свідчать про значний прогрес у матеріально-технічному забезпеченні цифрової трансформації – близько 56% закладів вищої освіти активно використовують системи управління навчанням (LMS). Проте цей показник варіюється від майже повної імплементації у столичних університетах до фрагментарного впровадження у регіональних закладах.

Регіональні особливості впровадження цифрових інновацій проявляються в суттєвих відмінностях між столичними, обласними та районними закладами вищої освіти. Ці відмінності зумовлені нерівномірним доступом до фінансування, різною якістю інтернет-інфраструктури та різним рівнем цифрових компетентностей педагогічних працівників. Порівняльний аналіз із європейськими країнами демонструє як досягнення, так і прогалини у цифровізації вищої освіти України. Якщо європейські університети активно реалізують комплексні програми цифрової трансформації в рамках Digital Education Action Plan, українські заклади часто обмежуються впровадженням окремих цифрових інструментів без системного підходу. Водночас, позитивною тенденцією є зростання кількості українських університетів, що беруть участь у міжнародних проєктах з цифровізації освіти, що сприяє обміну найкращими практиками та підвищенню якості цифрових освітніх послуг.

Системи управління навчанням (LMS) та системи управління навчальним контентом (LCMS) становлять технологічний фундамент цифрової освіти у вищих навчальних закладах України. Архітектура сучасних LMS/LCMS систем ґрунтується на модульному принципі, що забезпечує гнучкість конфігурації та можливість інтеграції додаткових функціональних компонентів. Ядро таких систем зазвичай включає модулі реєстрації та авторизації користувачів, каталог курсів, сховище навчальних матеріалів, інструменти створення контенту, засоби комунікації, механізми оцінювання та аналітичні компоненти (Lysenko S., A. Kachur, 2023).

Moodle є найпоширенішою LMS в українських ЗВО завдяки відкритому коду, безкоштовному використанню та великій спільноті розробників. Система підтримує різноманітні формати контенту, має потужні інструменти оцінювання та комунікації. Гнучкість налаштувань дозволяє адаптувати платформу під потреби конкретного закладу. Перевагами Moodle є безкоштовність, гнучкість, масштабованість. Щодо недоліків, то можна виділити: складність адміністрування, а також застарілий інтерфейс

Canvas набуває популярності серед українських університетів, особливо тих, що орієнтовані на міжнародну співпрацю. Відрізняється сучасним інтерфейсом, інтуїтивною навігацією та високою продуктивністю. Має потужні інструменти для співпраці та аналітики.

Google Classroom активно впроваджується завдяки простоті використання та інтеграції з іншими сервісами Google. Особливо популярний серед викладачів,

які раніше не мали досвіду роботи з LMS. Забезпечує базові функції управління навчанням (Окгерка Н., 2022).

Інтеграція систем управління навчанням з іншими цифровими інструментами є критично важливим аспектом формування цілісної цифрової екосистеми університету. В українському контексті поширеною практикою стало підключення до LMS відеоконференцій (Zoom, Microsoft Teams), хмарних сховищ (Google Drive, OneDrive), систем перевірки на плагіат (Unicheck, StrikePlagiarism), електронних бібліотек та репозитаріїв. Складнішою задачею є інтеграція з системами управління навчальним закладом та студентськими інформаційними системами, що потребує розробки спеціальних програмних інтерфейсів та забезпечення сумісності даних.

Метрики ефективності використання освітніх платформ слугують важливим інструментом оцінки успішності цифрової трансформації. Українські університети поступово впроваджують системи моніторингу таких показників, як активність користувачів, час взаємодії з навчальними ресурсами, результативність виконання завдань, рівень залучення у дискусії та проєктну роботу. Аналіз цих даних дозволяє оптимізувати структуру курсів, ідентифікувати проблемні місця та адаптувати навчальний контент до потреб студентів. Впровадження технологій штучного інтелекту у вищу освіту України відкриває революційні можливості для персоналізації навчального процесу та підвищення його ефективності. Технології персоналізації освітнього процесу на основі ШІ дозволяють адаптувати навчальний контент, темп та методи навчання відповідно до індивідуальних особливостей кожного студента. Інтелектуальні системи аналізують дані про успішність, стиль навчання, сильні та слабкі сторони студента, автоматично коригуючи освітню траєкторію для досягнення оптимальних результатів.

В українських закладах вищої освіти поступово впроваджуються елементи адаптивного навчання, зокрема через використання інтелектуальних тьюторів, рекомендаційних систем та динамічного генерування навчальних матеріалів. Ці технології особливо ефективні у дисциплінах з чітко структурованими знаннями та навичками, таких як математика, програмування, іноземні мови. Важливим аспектом є інтеграція адаптивних компонентів з існуючими системами управління навчанням, що дозволяє зберегти цілісність освітнього середовища. Предиктивна аналітика для прогнозування успішності студентів становить один з найперспективніших напрямів застосування ШІ в освіті. Алгоритми машинного навчання, аналізуючи історичні дані про успішність, активність у системі управління навчанням, відвідуваність та інші показники, можуть з високою точністю передбачати академічні результати та ідентифікувати студентів, які потребують додаткової підтримки. Це дозволяє проактивно втручатися у навчальний процес, запобігаючи відставанню та відрахуванню.

Інтелектуальні системи моніторингу навчальних досягнень забезпечують автоматизацію процесів оцінювання та зворотного зв'язку. Технології автоматизованого оцінювання письмових робіт, розпізнавання мовлення для аналізу усних відповідей, системи виявлення плагіату з елементами ШІ дозволяють підвищити об'єктивність оцінювання та звільнити викладачів від рутинних завдань. Водночас, впровадження таких систем піднімає важливі етичні питання щодо приватності даних, прозорості алгоритмів та потенційної упередженості.

Етичні аспекти використання ШІ в академічному середовищі включають питання захисту персональних даних студентів, забезпечення прозорості алгоритмів прийняття рішень, запобігання дискримінації та упередженості, а також збереження академічної доброчесності в умовах доступності генеративних моделей ШІ.

Українські університети лише починають формувати етичні кодекси та політики щодо використання ІІІ, і ця сфера потребує подальшого розвитку з урахуванням міжнародних стандартів та локального контексту.

Розробка та впровадження масових відкритих онлайн-курсів (МООС) у освітні програми університетів становить важливий напрям розвитку цифрової освіти в Україні. МООС пропонують унікальну можливість масштабувати доступ до якісного освітнього контенту та залучити широку аудиторію до навчання. Українські платформи, такі як Prometheus, EdEra, ВУМ (Відкритий Університет Майдану), пропонують сотні курсів з різних дисциплін, розроблених провідними викладачами та експертами.

Розробка МООС потребує значних інвестицій часу, експертизи та ресурсів. Українські університети поступово накопичують досвід створення якісних онлайн-курсів, впроваджуючи сучасні підходи до проєктування навчального досвіду, розробки інтерактивного контенту, організації оцінювання та сертифікації. Важливими аспектами є забезпечення технічної та методичної підтримки викладачів-розробників, створення відповідної інфраструктури для виробництва високоякісного відеоконтенту, розробка стандартів якості.

Моделі інтеграції відкритих ресурсів у формальну освіту дозволяють максимізувати переваги відкритих освітніх практик та подолати обмеження традиційних форматів навчання. Українські університети використовують різні підходи до інтеграції: включення МООС як додаткових ресурсів до існуючих курсів, зарахування результатів навчання на відкритих платформах як частини формальної освітньої програми, використання моделі “перевернутого класу”, де онлайн-ресурси забезпечують теоретичну підготовку, а аудиторні заняття фокусуються на практичному застосуванні, дискусіях та проєктній роботі.

Забезпечення якості відкритих освітніх продуктів становить критично важливе завдання для підтримки довіри до відкритої освіти та її ефективності. В Україні поступово формуються підходи до оцінювання та забезпечення якості ВОР та МООС, які включають експертну оцінку контенту, відповідність освітнім стандартам, технічну якість матеріалів, педагогічний дизайн, доступність та інклюзивність, актуальність та своєчасне оновлення. Важливими інструментами є залучення зовнішніх експертів до рецензування, збір та аналіз відгуків користувачів, моніторинг показників завершення курсів та успішності учасників.

Хмарні технології у забезпеченні освітнього процесу відіграють все більш значущу роль у цифровій трансформації українських університетів. Перенесення ключових інформаційних систем та сервісів у хмару дозволяє суттєво підвищити доступність, надійність та масштабованість ІТ-інфраструктури. Найбільш поширеними хмарними рішеннями в українських ЗВО є освітні платформи Google Workspace for Education та Microsoft 365 for Education, що надають широкий спектр інструментів для забезпечення навчального процесу, комунікації та спільної роботи.

Гібридні хмарні рішення, що поєднують приватні хмари університетів з публічними хмарними сервісами, стають оптимальним варіантом для багатьох закладів. Такий підхід дозволяє забезпечити гнучкість у використанні ресурсів, зберігаючи контроль над критичними даними та системами. Важливими аспектами впровадження хмарних технологій є навчання персоналу, розробка політик і процедур використання хмарних сервісів, забезпечення сумісності різних хмарних платформ.

Цифрова трансформація вищої освіти вимагає значних інвестицій у технології, інфраструктуру, програмне забезпечення та розвиток компетентностей.

Бюджетування цифрових ініціатив у вищій освіті України здійснюється в умовах обмежених фінансових ресурсів, що потребує стратегічного планування та пріоритизації інвестицій. Структура витрат на цифровізацію університету зазвичай включає кілька ключових категорій: розвиток фізичної та мережевої інфраструктури, придбання та розробка програмного забезпечення, створення цифрового контенту, підтримка та обслуговування систем, навчання персоналу та студентів, дослідження та інновації у сфері цифрових технологій.

Українські університети використовують різні підходи до бюджетування цифрових ініціатив, включаючи централізоване планування (єдиний бюджет на цифровізацію), децентралізоване фінансування (окремі бюджети факультетів/ підрозділів), проєктне фінансування (бюджети для конкретних цифрових проєктів) та гібридні моделі. Важливими аспектами є визначення співвідношення між капітальними та операційними витратами, балансування між різними категоріями витрат, а також забезпечення сталості фінансування у довгостроковій перспективі.

Грантове фінансування доступне українським університетам через міжнародні програми (Erasmus+, Horizon Europe, USAID, British Council), національні фонди та програми (Національний фонд досліджень України, Український культурний фонд), корпоративні гранти (Microsoft, Google, Amazon) та благодійні фонди. Успішне залучення грантових коштів вимагає розвитку спеціальних компетентностей з розробки та управління проєктами, формування мережі партнерств, вивчення пріоритетів донорів та відповідності інституційних цілей глобальним трендам цифровізації освіти.

Аналіз моделей цифрової трансформації провідних університетів світу дозволяє виявити різноманітні підходи до системної цифровізації вищої освіти, що можуть бути адаптовані до українського контексту. Успішні університети розглядають цифрову трансформацію не просто як впровадження технологій, а як комплексну зміну освітньої моделі, організаційної культури та взаємодії з усіма зацікавленими сторонами. Найбільш ефективні моделі характеризуються стратегічним баченням, чіткими цілями, залученням усіх учасників освітнього процесу, фокусом на інноваціях та безперервним вдосконаленням.

Массачусетський технологічний інститут (MIT) використовує модель “цифрового кампусу”, що інтегрує технології у всі аспекти університетського життя. Акцент на експериментуванні, створенні прототипів та пілотних проєктах перед широким впровадженням. Потужна екосистема інновацій, що поєднує освіту, дослідження та взаємодію з індустрією.

Університету Единбурга використовує стратегію цифрової трансформації, орієнтовану на людей та цінності. При чому, важливий баланс між централізованим керівництвом та децентралізованими інноваціями, системний розвиток цифрових компетентностей усіх учасників освітнього процесу. Й обов'язково фокус на інклюзивності та доступності цифрових сервісів (Bernuy C., Chumbe S. & Garcia C., 2021).

Підхід Наньянського технологічного університету (Сінгапур) характеризується інтегрованим характером до створення “розумного кампусу” з використанням IoT, аналітики даних та ШІ. Фокус тримається на персоналізованому навчанні та адміністративній ефективності. Використовуються: цифрові двійники фізичних просторів кампусу; аналітика для персоналізації навчання, а також автоматизація рутинних адміністративних процесів.

Стратегії цифровізації вищої освіти у різних країнах відображають як глобальні тенденції, так і локальні особливості, пріоритети та виклики. Естонія, яка

вважається одним з лідерів цифрової трансформації в Європі, реалізує стратегію “Digital Estonia”, що включає повну цифровізацію державних послуг, інтегровані інформаційні системи для освіти, та розвиток цифрових компетентностей громадян з раннього віку. Система X-Road забезпечує безпечний обмін даними між освітніми установами та іншими державними сервісами, спрощуючи адміністративні процеси та покращуючи доступ до освіти.

Південна Корея впроваджує модель “Освіта 4.0”, що передбачає інтеграцію передових технологій (ШІ, VR/AR, IoT) в освітній процес, розвиток глобальних онлайн-платформ (K-MOOC), та підготовку студентів до професій майбутнього. Особливістю корейського підходу є тісна співпраця між університетами, IT-компаніями та урядом, що забезпечує швидке впровадження інновацій та їх масштабування. Фінляндія фокусується на розвитку цифрових педагогічних компетентностей викладачів, створенні відкритих освітніх ресурсів та формуванні культури експериментування та інновацій (Bernuy C., Chumbe S. & Garcia C., 2021).

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Адаптація міжнародного досвіду до українського контексту потребує уважного аналізу локальних умов, викликів та можливостей. Ключові фактори, що впливають на успішність адаптації, включають: рівень розвитку цифрової інфраструктури та доступу до технологій; наявність цифрових компетентностей у викладачів та студентів; нормативно-правове середовище; фінансові можливості університетів; інституційна готовність до змін; культурні особливості та освітні традиції. Не всі міжнародні практики можуть бути безпосередньо перенесені в український контекст, і часто потрібна їх суттєва адаптація або поетапне впровадження.

Успішні стратегії адаптації міжнародного досвіду включають: селективний підхід (вибір практик, найбільш релевантних для конкретних потреб та можливостей); пілотне впровадження з подальшим масштабуванням; залучення міжнародних експертів та консультантів; навчальні візити та обмін досвідом; створення локальних центрів експертизи; адаптація та переклад методичних матеріалів; формування спільнот практики для обміну досвідом адаптації. Важливим аспектом є також розвиток власних інноваційних підходів на основі міжнародного досвіду, з урахуванням унікальних особливостей та потреб української системи вищої освіти. Шляхи подолання існуючих викликів та обмежень у розвитку цифрової вищої освіти в Україні потребують комплексного підходу, що поєднує зусилля на державному, інституційному та індивідуальному рівнях. Для подолання цифрової нерівності необхідні цільові програми розвитку інфраструктури у менш забезпечених регіонах, забезпечення доступу до пристроїв та інтернету для вразливих категорій студентів, розвиток інклюзивних цифрових рішень. Забезпечення балансу між технологіями та педагогікою потребує розробки нових педагогічних підходів, адаптованих до цифрового середовища, розвитку відповідних компетентностей викладачів та переосмислення освітніх програм.

Стале фінансування вимагає диверсифікації джерел ресурсів, розробки бізнес-моделей для цифрових освітніх продуктів, оптимізації витрат через спільне використання ресурсів та хмарні рішення. Безпека та етичні аспекти цифровізації потребують розробки відповідних політик та процедур, навчання користувачів, впровадження технічних засобів захисту та формування культури відповідального використання технологій. Успішне подолання цих викликів дозволить українській вищій освіті повною мірою скористатися перевагами цифрової трансформації та забезпечити її конкурентоспроможність у глобальному освітньому просторі.

ЛІТЕРАТУРА

- Bernuy, C., Chumbe, S. & Garcia, C. (2021). Virtual Reality (VR) in Superior Education Distance Learning: A Systematic Literature Review. *International Journal on Informatics Visualization*, 5, 264–270.
- Gungor, A., Kool, D., Lee, M., Avraamidou, L., Eisink, N., Albada, B., van der Kolk, K., Tromp, M. & Bitter, J. H. (2022). The Use of Virtual Reality in A Chemistry Lab and Its Impact on Students' Self-Efficacy, Interest, Self-Concept and Laboratory Anxiety. *Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18, (3).
<https://doi.org/10.29333/ejmste/11814>
- Khrisna, L., Suryapranata, P. & Lazarusli, I. A. (2023) Gamification Using Visual Novel to Improve Chemistry Learning Motivation. *Journal of Games Game Art and Gamification*, 8(1), 13–17.
- Lysenko, S. & Kachur, A. (2023). Challenges Towards VR Technology: VR Architecture Optimization. *13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT): abstracts, Athens, Greece, 13–15*, 1–9.
- Okrepka, H. (2022). Virtual Laboratory ChemCollective: Features, Benefits and Prospects of Using in Chemistry Practical Classes in Higher Education Establishments. *Problems of Education*, 1(96), 120–133.

REFERENCES

- Bernuy, C., Chumbe, S. & Garcia, C. (2021). Virtual Reality (VR) in Superior Education Distance Learning: A Systematic Literature Review. *International Journal on Informatics Visualization*, 5, 264–270.
- Gungor, A., Kool, D., Lee, M., Avraamidou, L., Eisink, N., Albada, B., van der Kolk, K., Tromp, M. & Bitter, J. H. (2022). The Use of Virtual Reality in A Chemistry Lab and Its Impact on Students' Self-Efficacy, Interest, Self-Concept and Laboratory Anxiety. *Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18, (3).
<https://doi.org/10.29333/ejmste/11814>
- Khrisna, L., Suryapranata, P. & Lazarusli, I. A. (2023) Gamification Using Visual Novel to Improve Chemistry Learning Motivation. *Journal of Games Game Art and Gamification*, 8(1), 13–17.
- Lysenko, S. & Kachur, A. (2023). Challenges Towards VR Technology: VR Architecture Optimization. *13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT): abstracts, Athens, Greece, 13–15*, 1–9.
- Okrepka, H. (2022). Virtual Laboratory ChemCollective: Features, Benefits and Prospects of Using in Chemistry Practical Classes in Higher Education Establishments. *Problems of Education*, 1 (96), 120–133.