

 <https://doi.org/10.28925/2312-5829.2023.44>
УДК 378.091.33:004.81

Владислав Круглик

 <https://orcid.org/0000-0002-5196-7241>

доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри інформатики і кібернетики,
Мелітопольський державний педагогічний університет,
вул. Наукового містечка, 59, м. Запоріжжя, 69000, Україна,
krugvs@mdpu.org.ua



Інтеграція технологій доповненої та віртуальної реальності з адаптивними системами навчання: аналіз концептуальних моделей

***Анотація.** Технології доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності все частіше використовуються в освіті для створення інтерактивного та захоплюючого досвіду навчання. Проте, більшість додатків не використовують повною мірою потенціал технологій AR/VR для адаптивного та персоналізованого навчання. Ця стаття аналізує п'ять нещодавно запропонованих концептуальних моделей, які інтегрують адаптивні методики в освітні системи AR/VR, щоб визначити їх основні компоненти та можливості.*

Всі проаналізовані моделі включають профіль користувача, сховище контенту, дані про взаємодію, представлення середовища та компоненти пристроїв. Збирається детальна інформація про користувача, включаючи демографічні дані, рівень знань, когнітивні характеристики, сенсорно-моторні здібності та емоційно-мотиваційні чинники. Це дозволяє адаптувати контент AR/VR до індивідуальних потреб, стилів та станів здобувачів вищої освіти.

У всіх моделях було визначено два ключові компоненти впливу на адаптацію - середовище та механізм адаптації користувача на основі моделі користувача. Додаткові компоненти залежать від рівня обслуговування та особливостей пристрою. Для мобільних додатків хмарні обчислення дозволяють оптимізувати обробку даних про об'єкти, місце розташування та людину.

У дослідженні визначено, що ці моделі забезпечують ґрунтовну концептуальну основу для адаптивних систем навчання AR/VR. Проте, необхідні подальші дослідження для розробки універсальної структури з урахуванням специфіки предметної області. Слід застосовувати онтологічний підхід, щоб дозволити адаптацію для конкретних освітніх контекстів. Це могло б значно покращити стан адаптивних систем навчання AR/VR.

Існуючі концептуальні моделі включають багатообіцяючі методики, але не мають цілісних структур, адаптованих до освітніх галузей. Розробка таких структур є важливою для просування досліджень та практики адаптивного навчання AR/VR. Представлений аналіз та результати закладають фундамент для майбутніх досліджень у проектуванні та оцінці адаптивних освітніх систем AR/VR.

Ключові слова: адаптивне навчання; вища освіта; взаємодія користувача; віртуальна реальність; доповнена реальність; концептуальні моделі; профіль користувача; системи навчання.

© Круглик Владислав, 2023

Вступ. Наука та технології стали невід’ємною частиною сучасної освіти, і справді, мало хто може уявити своє існування без них. Наука та технології визначають високий ступінь розвитку, що виходить за межі існуючих обмежень та покращують умови праці, навчання, життя, а також фізичного та когнітивного благополуччя (Bainbridge, 2023). З метою успішного функціонування у цьому сучасному контексті, нам необхідно готувати майбутнє покоління до розуміння, вивчення та впровадження можливостей застосування науки та технологій у професійній діяльності (By Jaco Du Preez, 2020).

Сьогодні ми переживаємо четверту промислову революцію (4IR). Цей період характеризується значним підвищенням автоматизації та використанням розумних систем, що сприяють більш ефективному та продуктивному виробництву на всіх етапах створення продукції. Збільшена гнучкість дозволяє виробникам краще відповідати на вимоги клієнтів, використовуючи масове налаштування. Збираючи більше даних з виробництва та інтегруючи їх з іншими операційними даними підприємства, розумне виробництво може досягти високого рівня інформаційної прозорості та приймати кращі управлінські рішення. Ці технології не оминають і сферу освіти. Освітній процес активно інтегрує передові технології, такі як Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення, аналітика, штучний інтелект, доповнена реальність, віртуальна реальність і машинне навчання в методики навчання та діяльність викладачів та здобувачів вищої освіти.

Існуючі підходи та методики, які застосовуються вищій освіті не відповідають у повному обсязі вимогам четвертої промислової революції, що спричиняє недостатнє залучення студентів до навчальних матеріалів, низьку мотивацію, оскільки більшість сучасної молоді навчаються переглядаючи, а не читаючи чи прослуховуючи. Такі технології, як доповнена реальність і віртуальна реальність, мають силу об'єднати інтерактивні та класичні методики навчання, щоб стати привабливими для здобувачів вищої освіти. Крім того, гнучкі механізми презентації забезпечують ефективну основу доповненої реальності та віртуальної реальності для інтеграції у вищу освіту.

Заклади вищої освіти, мають виступати як лабораторії для проведення досліджень та інновацій, де технології Четвертої промислової революції (4IR) використовуються для поліпшення якості життя людей, розвитку технологічної сфери, підвищення рівня професійної підготовки.

Злиття даних освітніх систем з інформацією з систем управління, індивідуальних освітніх траєкторій та інших джерел даних про здобувачів вищої освіти, створює абсолютно новий рівень видимості та розуміння на основі раніше недоступної інформації. Ці цифрові технології призводять до автоматизації, прогнозування освітнього процесу, оптимізації окремих освітніх елементів і значно покращують оперативність у реагуванні на потреби здобувачів вищої освіти, що раніше було неможливим.

Аналіз великих обсягів даних, що надходять від освітніх інформаційних систем, забезпечує оперативне управління освітнім процесом та можливість динамічно адаптувати систему навчання для максимізації досягнення освітніх результатів.

Мета статті: дослідити та узагальнити концептуальні моделі інтеграції технологій доповненої та віртуальної реальності з адаптивними системами навчання.

Методологія дослідження. Організація і проведення дослідження передбачала аналіз наукових публікацій з окресленої проблеми; узагальнення та систематизацію наявних підходів до вивчення технологій доповненої та віртуальної реальності з адаптивними системами навчання.

Аналіз досвіду інтеграції доповненої та віртуальної реальності з адаптивними системами навчання. Доповнена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR) – це передові технології, які об'єднуються віртуальний і реальний світ навколо нас, накладаючи цифрову інформацію, таку як звук, зображення або об'єкти, які можна побачити за допомогою звичайних портативних пристроїв, таких як мобільні телефони, планшети, ноутбуки.

Сьогодні існує багато досліджень спрямованих на встановлення потенційної ролі, яку AR і VR можуть забезпечити в покращенні навчання, надаючи студентам практичний досвід у різних освітніх галузях, використовуючи технології доповненої та віртуальної реальності для моделювання навчальних середовищ.

Існує ряд досліджень використання AR та VR в освітньому процесі, зокрема і інженерії (Markova, 2018), (Arulanand, 2020), виявленні об'єктів (Saif, 2013), (Saif, 2014), методичній освіті (Tang, 2019), (Chytas, 2020), науці (Salar, 2020), (Goff, 2020) тощо.

Результати дослідження. На основі аналізу наукових публікацій (Chauhan, 2015), (Chlebusch, 2020), (Osadcha, 2020), (Symonenko, 2020), (Syrovatskyi, 2018) узагальнимо подібні та відмінні риси AR та VR технологій

Таблиця 1.

Порівняння технологій AR та VR

Характеристика	Віртуальна реальність	Доповнена реальність
Визначення	Доповнена реальність – це технологія, при якій реальний світ оснащений додатковою інформацією, такою як текст, зображення, анімація, відео або 3D-об'єкти, які можуть рухатися. Ця технологія додає цифрові елементи та підкреслює, що ці елементи	Віртуальна реальність – це технологія, яка дозволяє користувачам взаємодіяти з віртуальним світом, змодельованим комп'ютером. Користувачі, які використовують обладнання віртуальної реальності, таке як рукавички, можуть відчувати, що вони знаходяться у

	є частиною реального світу (Elmqaddem, 2019).	віртуальному світі (Mulders, 2020).
Мета	Моделювання реалістичних сценаріїв та взаємодій у віртуальному середовищі	Технології доповнюють реальність і додають віртуальні об'єкти до реального середовища
Концепція	Користувачі ізольовані від реального світу та відчують себе повністю зануреними у віртуальний світ.	Користувачі не відриваються від реальності, оскільки взаємодія з цифровими віртуальними об'єктами відбувається в реальному фізичному середовищі.
Технологія	Щоб використовувати цю технологію, користувачам потрібна спеціалізована гарнітура.	Доступ до технології можна отримати через камеру телефону, а об'єкти віртуального вмісту можна переглядати через екран пристрою.
Пристрої	Рукавички, VR-гарнітура	Смартфон, планшет, комп'ютер

Технології доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності роблять навчання в закладах вищої освіти більш захоплюючим для студентів. AR простіше реалізувати порівняно зі складнішими і дорожчими VR, які потребують спеціального обладнання. Головні переваги технологій AR, і VR в освіті – це підвищення залученості студентів та поліпшення розуміння ними навчального матеріалу. Проте наразі в освітньому процесі найчастіше застосовують лише AR. Використання доповненої та віртуальної реальності дозволяє викладачам робити навчання більш цікавим та інтерактивним, пояснювати складні концепції в контрольованому віртуальному середовищі. Технології AR та VR відкривають нові можливості для покращення навчання у різних галузях знань:

У гуманітарних науках віртуальні тури допомагають студентам краще зануритися в історію, археологію, політологію. Можливість відвідати музеї та пам'ятки online розширює обрії мистецтвознавців.

У медицині та природничих науках AR/VR застосовується для вивчення анатомії, молекулярної біології, фізики, хімії, а також для тренування астронавтів і пілотів.

Для вивчення іноземних мов AR/VR створює ефект занурення в мовне середовище країни, допомагає краще засвоїти вимову.

В інженерії AR/VR використовується для 3D-моделювання, симуляцій, проектування інноваційних конструкцій без фізичних обмежень.

У психології та соціальних науках віртуальна реальність використовується для тренування м'яких навичок, моделювання різних ситуацій взаємодії.

При навчанні програмуванню AR/VR використовується для візуалізації коду, створення спільного віртуального середовища програмування, симуляції викликів та помилок.

Отже, сфера застосування технологій AR і VR в освіті постійно розширюється. Ці інструменти мають величезний потенціал для підвищення ефективності навчального процесу в різних галузях знань.

Однак більшість підходів до використання AR і VR технологій в освіті не використовують можливості адаптації AR/VR під освітні можливості та потреби конкретної особистості здобувача вищої освіти.

Інтеграція AR і VR з адаптивними системами навчання – це новітня концепція використання AR та VR де вони реагують і адаптуються відповідно до контексту в реальному часі залежно від характеристики користувача (Damala, 2012), (Tenemaza, 2015). Така інтеграція забезпечує адаптація AV/VR до користувача і може допомогти студентам бути більш зануреними в освітній процес (вивчення нового матеріалу, розв'язання завдання, проведення експерименту, моделювання) на основі свого рівня навченості, емоційного стану, практичного досвіду.

З проблеми інтеграції AR/VR з адаптивними технологіями навчання було проведене ряд наукових досліджень у різних освітніх сферах, зокрема з навчання

IT-фахівців (Osadchyi, 2020), навчання людей з інвалідністю (Tenemaza, 2016), навчання людей похилого віку (Hervas, 2013). Ці дослідження ґрунтуються на трьох основних концептах, це користувач, середовище та платформа. Зазначається, що використання цих концептів дозволить сприяти функціональним можливостям, простоті використання та переносимості нових AR/VR додатків. Необхідно відзначити, що в цих дослідженнях не приділяється достатньо уваги освітньому контексту.

Сьогодні науковцями з різних країн запропоновано низку концептуальних моделей для інтеграції AR/VR та адаптивних технологій навчання.

Однією з перших концептуальних моделей інтеграції AR/VR та адаптивних технологій навчання є запропонована модель Damala та Stojanovic (Damala, 2012). Модель передбачала адаптивне навчання історії та археології на основі узгодження візитів до музею та змістом навчання, який мав на меті посилювати ефективність впливу, розширення досвіду та заохочення до само мотивованого навчання. Автори цієї моделі зосередилися на міждисциплінарній та змістовно-інформаційній взаємодії користувача та AR/VR додатка.

Іншу модель інтеграції AR/VR та адаптивних технологій навчання запропонували Hervas та співавтори (Hervas, 2013). У своєму дослідженні науковці запропонували концептуальну модель інтелектуальної системи доповненої реальності для задоволення повсякденних потреб користувачів. Система передбачає просту та інтуїтивну взаємодію людини з навколишнім середовищем за допомогою технологій AR. Особливістю запропонованого підходу є використання механізмів проактивної адаптації та персоналізації контенту на основі знань про контекст ситуації та користувача.

Архітектура розробленої інтелектуальної системи AR включає онтологічну модель для формалізованого представлення знань про предметну область, користувача та контекст. Це дозволяє системі автоматично адаптувати інтерфейс та контент AR відповідно до потреб та уподобань користувача в конкретній ситуації. На відміну від традиційних систем AR, запропонований підхід забезпечує

персоналізацію досвіду взаємодії на основі моделей користувача, що постійно оновлюються через зворотний зв'язок.

Tenemaza та співавтори (Tenemaza, 2015) у своєму дослідженні приділили увагу проблемі розробки моделі користувача в адаптивних технологіях навчання з використанням AR/VR. Автори детально проаналізували існуючі підходи до побудови профілів користувачів на основі онтологій та визначили набір ключових характеристик, які мають враховуватися в моделях користувачів систем AR/VR.

Зокрема, запропонована модель містить такі групи даних: персональні дані (вік, стать, мова яку вивчали тощо), когнітивні характеристики (рівень знань у предметній галузі, навички), сенсорно-моторні особливості (порушення зору, слуху), емоційно-мотиваційні фактори (зацікавленість, рівень стресу). На основі цієї детальної моделі користувача можлива адаптація інтерфейсу та контенту системи AR до індивідуальних потреб, стилю навчання та емоційного стану людини.

Крім того, авторами запропоновано концептуальну архітектуру адаптивної системи AR/VR, що включає компоненти моделювання користувача, адаптивного інтерфейсу, керування контентом та зворотного зв'язку.

Наступна модель інтеграція AR/VR та адаптивних технологій в навчанні розглядається в роботі Abidin та співавторів (Abidin, 2017). Авторами запропонована концептуальна модель адаптивного мультимодального інтерфейсу для AR/VR систем. Модель визначає базові принципи та компоненти побудови адаптивних AR/VR систем з підтримкою різних способів взаємодії користувача.

Запропонований фреймворк складається з трьох основних модулів: вхідних модальностей (способів введення даних користувачем), адаптивного мультимодального процесора та контролера доповненої реальності. Модель базується на інтеграції попередніх підходів до створення адаптивних інтерфейсів, мультимодальної взаємодії та технологій AR/VR.

Адаптація в системі може відбуватися на основі аналізу введення користувача, змін навколишнього середовища та характеристик мобільного пристрою. Отримані дані обробляються адаптивним модулем для генерування відповідного інтерфейсу та контенту AR/VR.

Науковці Осадчий та ін. (Osadchyi, 2020) запропонували концептуальну модель навчання, засновану на поєднанні можливостей адаптивних систем навчання та AR/VR. Модель передбачає розробку профілю користувача з урахуванням індивідуальних психологічних та когнітивних особливостей студентів для адаптації навчального контенту на основі тестування для визначення типу мислення та переважного каналу сприйняття інформації студентом. В моделі пропонується використовувати AR/VR технології для студентів з візуальним або кінестетичним типом сприйняття.

В концептуальній моделі передбачено забезпечення зворотнього зв'язку і оновлення моделі користувача на основі результатів навчання, що дозволяє індивідуалізувати та оптимізувати навчання для кожного студента.

Отже, модель демонструє ефективне поєднання адаптивних технологій та AR/VR для особистісно-орієнтованого навчання.

Обговорення. Було проаналізовані дослідження, спрямовані на вивчення п'яти моделей інтеграції технологій доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) із адаптивними системами навчання.

У всіх розглянутих моделях відзначаються п'ять ключових елементів: профіль користувача, носій даних, дані про взаємодію, навколишнє середовище та пристрої. У всіх запропонованих моделях збирається та аналізується інформація про користувача, така як вік, стать та домінуючий тип мислення, а також фізіологічний стан для визначення особистих характеристик користувачів та їхніх інтересів.

Доповнений контент, що використовується в цих моделях, визначається конкретними характеристиками, пов'язаними з мультимедійним вмістом, включаючи зображення, відео, анімацію, текст, аудіокоментарі, звуки та 3D-об'єкти. Взаємодія з контентом може відбуватися за допомогою жестів, мови, дотику та погляду, залежно від пристрою, який використовується для взаємодії. Більшість моделей надають перевагу використанню вбудованих сенсорів пристроїв, щоб визначити зміни в інтересах користувача на підставі аудіо-, візуальних та біосенсорних даних, забезпечуючи відповідний контент користувачам.

У всіх розглянутих моделях ключовими компонентами, які впливають на процес адаптації навчального контенту, є оточуюче середовище (ОС) і механізм адаптації користувача (МАК). Оточуюче середовище (ОС) стосується змін в контексті відображення змісту, включаючи візуальні та звукові аспекти та елементи взаємодії. Механізм адаптації користувача (МАК), з свого боку, займається моделлю користувача, опрацьовуючи такі параметри, як вік, стать та тип мислення, до яких може бути застосована адаптивність. Інші компоненти (ІК) залежать від рівня обслуговування та конкретного пристрою. Наприклад, якщо доповнений додаток спрямований на мобільні пристрої, то важливо враховувати модель хмарних обчислень для оптимальної обробки інформації про об'єкти, місця та людину.

Висновки. У роботі було проаналізовано п'ять концептуальних моделей інтеграції технологій доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності з адаптивними системами навчання.

Визначено, що ключовими компонентами в усіх розглянутих моделях є профіль користувача, носій даних, дані про взаємодію, навколишнє середовище та пристрої. Інформація про користувача аналізується для визначення його індивідуальних характеристик та інтересів. Контент AR/VR адаптується відповідно до цих даних.

Встановлено, що ключовими компонентами, які впливають на адаптацію навчального контенту, є оточуюче середовище та механізм адаптації користувача на основі його моделі.

Перспективи подальших досліджень. Перспективи подальших досліджень вбачаються у розробці універсальної концептуальної моделі інтеграції технологій AR/VR та адаптивного навчання з урахуванням специфіки різних предметних областей. Така модель має ґрунтуватися на онтологічному підході та передбачати гнучкі механізми налаштування під конкретні освітні потреби.

- A model for augmented reality immersion experiences of university students studying in science education / R. Salar et al. *Journal of science education and technology*. 2020. Vol. 29, no. 2. P. 257–271. URL: <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09810-x>.
- Abidin R. Z., Arshad H., Shukri S. A. A. Adaptive multimodal interaction in mobile augmented reality: a conceptual framework. *The 2nd international conference on applied science and technology 2017 (icast'17)*, Kedah, Malaysia. 2017. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5005483>.
- Achieving adaptive augmented reality through ontological context-awareness applied to AAL scenarios / R. Hervás et al. *JUCS - Journal of Universal Computer Science*. 2013. Vol. 19(9), P. 1334-1349. URL: <https://doi.org/10.3217/jucs-019-09-1334>.
- Adaptive augmented reality in mobile applications for helping people with mild intellectual disability in ecuador / M. Tenemaza et al. *12th international conference on web information systems and technologies*, Rome, Italy, 23–25 April 2016. 2016. URL: <https://doi.org/10.5220/0005862203170324>.
- Arulanand N., Babu A. R., Rajesh P. K. Enriched learning experience using augmented reality framework in engineering education. *Procedia computer science*. 2020. Vol. 172. P. 937–942. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.135>.
- Augmented reality in medical education: a systematic review / K. S. Tang et al. *Canadian medical education journal*. 2019. URL: <https://doi.org/10.36834/cmej.61705>.
- Augmented reality software design for educational purposes / O. V. Syrovatskyi et al. [b. v.], 2018. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/2895>.
- Bainbridge W. S., Roco M. C. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence. *Journal of nanoparticle research*. 2016. Vol. 18, no. 7. URL: <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3520-0>.
- By Jaco Du Preez and Saurabh Sinha. Higher education leadership in the era of the fourth industrial revolution. *The thinker*. 2020. Vol. 83, no. 1. URL: <https://doi.org/10.36615/thethinker.v83i1.221>.
- Chauhan J., Taneja S., Goel A. Enhancing MOOC with augmented reality, adaptive learning and gamification. *2015 IEEE 3rd international conference on moocs, innovation and technology in education (MITE)*, Amritsar, India, 1–2 October 2015. 2015. URL: <https://doi.org/10.1109/mite.2015.7375343>.
- Chlebusch J., Köhler I., Stechert C. Reasonable application of augmented reality in engineering education. *Proceedings of the design society: DESIGN conference*. 2020. Vol. 1. P. 1677–1686. URL: <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.62>.
- Conceptual model of learning based on the combined capabilities of augmented and virtual reality technologies with adaptive learning systems / V. V. Osadchyi et al. [b. v.], 2020. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/4417>.
- Conceptual model of learning based on the combined capabilities of augmented and virtual reality technologies with adaptive learning systems / V. V. Osadchyi et al. [б. в.], 2020. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/4417>.
- Damala A., Stojanovic N. Tailoring the adaptive augmented reality (a²r) museum visit: identifying cultural heritage professionals' motivations and needs. *2012 IEEE international symposium on mixed and augmented reality - arts, media, and humanities (ISMAR-AMH)*, Atlanta, GA, USA, 5–8 November 2012. 2012. URL: <https://doi.org/10.1109/ismar-amh.2012.6483992>.
- Elmqaddem N. Augmented reality and virtual reality in education. myth or reality?. *International journal of emerging technologies in learning (ijet)*. 2019. Vol. 14, no. 03. P. 234. URL: <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i03.9289>.
- Markova O., Semerikov S., Popel M. Socalc as a learning tool for neural network simulation in the special course “foundations of mathematic informatics”. *Information technologies in education*. 2018. Vol. 3, no. 36. P. 58–70. URL: <https://doi.org/10.14308/ite000674>.
- Mulders M., Buchner J., Kerres M. A framework for the use of immersive virtual reality in learning environments. *International journal of emerging technologies in learning (ijet)*. 2020. Vol. 15, no. 24. P. 208. URL: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>.

- Saif A. F. M. S., Prabuwno A. S., Mahayuddin Z. R. Moving object detection using dynamic motion modelling from UAV aerial images. *The scientific world journal*. 2014. Vol. 2014. P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.1155/2014/890619>.
- Saif A. F. M. S., Prabuwno A. S., Mahayuddin Z. R. Real time vision based object detection from UAV aerial images: a conceptual framework. *Intelligent robotics systems: inspiring the NEXT*. Berlin, Heidelberg, 2013. P. 265–274. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40409-2_23.
- Tenemaza M., de Antonio A., Ramírez J. The user model, vocabulary and logical architecture for adaptive augmented reality. *CLIHIC '15: latin american conference on human computer interaction*, Córdoba Argentina. New York, NY, USA, 2015. URL: <https://doi.org/10.1145/2824893.2824901>.
- The review of the adaptive learning systems for the formation of individual educational trajectory / K. Osadcha et al. [b. v.], 2020. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/4130>.
- The role of augmented reality in Anatomical education: an overview / D. Chytas et al. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*. 2020. Vol. 229. P. 151463. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151463>.
- Using augmented reality to promote active learning in college science / E. E. Goff et al. *Active learning in college science*. Cham, 2020. P. 741–755. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33600-4_46.
- Virtual reality in foreign language training at higher educational institutions / S. V. Symonenko et al. [b. v.], 2020. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/3759>.

References

- Salar, R., Arici, F., Caliklar, S., & Yilmaz, R. M. (2020). A model for augmented reality immersion experiences of university students studying in science education. *Journal of Science Education and Technology*, 29(2), 257–271. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09810-x>.
- Abidin, R. Z., Arshad, H., & Shukri, S. A. A. (2017). Adaptive multimodal interaction in mobile augmented reality: A conceptual framework. *The 2nd international conference on applied science and technology 2017 (icast'17)*. Author(s). <https://doi.org/10.1063/1.5005483>.
- Hervás R, Bravo J, Fontecha J, Villarreal V (2013) Achieving Adaptive Augmented Reality through Ontological Context-Awareness applied to AAL Scenarios. *JUCS - Journal of Universal Computer Science* 19(9): 1334-1349. <https://doi.org/10.3217/jucs-019-09-1334>.
- Tenemaza, M., de Antonio, A., Ramírez, J., Vela, A., & Rosero, D. (2016). Adaptive augmented reality in mobile applications for helping people with mild intellectual disability in ecuador. *The 12th international conference on web information systems and technologies*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications. <https://doi.org/10.5220/0005862203170324>.
- Arulanand, N., Babu, A. R., & Rajesh, P. K. (2020). Enriched learning experience using augmented reality framework in engineering education. *Procedia Computer Science*, 172, 937–942. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.135>.
- Tang, K. S., Cheng, D. L., Mi, E., & Greenberg, P. B. (2019). Augmented reality in medical education: A systematic review. *Canadian Medical Education Journal*. <https://doi.org/10.36834/cmej.61705>.
- Syrovatskyi, O. V., Semerikov, S. O., Modlo, Y. O., Yechkalo, Y. V., & Zelinska, S. O. (2018). *Augmented reality software design for educational purposes*. [b. v.]. <https://doi.org/10.31812/123456789/2895>.
- Bainbridge, W. S., & Roco, M. C. (2016). Science and technology convergence: With emphasis for nanotechnology-inspired convergence. *Journal of Nanoparticle Research*, 18(7). <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3520-0>.
- By Jaco Du Preez and Saurabh Sinha. (2020). Higher education leadership in the era of the fourth industrial revolution. *The Thinker*, 83(1). <https://doi.org/10.36615/thethinker.v83i1.221>.
- Chauhan, J., Taneja, S., & Goel, A. (2015). Enhancing MOOC with augmented reality, adaptive learning and gamification. *U 2015 IEEE 3rd international conference on moocs, innovation and technology in education (MITE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/mite.2015.7375343>.

- Chlebusch, J., Köhler, I., & Stechert, C. (2020). Reasonable application of augmented reality in engineering education. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 1*, 1677–1686. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.62>.
- Osadchyi, V. V., Chemerys, H. Y., Osadcha, K. P., Kruhlyk, V. S., Koniukhov, S. L., & Kiv, A. E. (2020). *Conceptual model of learning based on the combined capabilities of augmented and virtual reality technologies with adaptive learning systems*. [b. v.]. <https://doi.org/10.31812/123456789/4417>.
- Osadchyi, V. V., Chemerys, H. Y., Osadcha, K. P., Kruhlyk, V. S., Koniukhov, S. L., & Kiv, A. E. (2020). *Conceptual model of learning based on the combined capabilities of augmented and virtual reality technologies with adaptive learning systems*. [б. в.]. <https://doi.org/10.31812/123456789/4417>.
- Damala, A., & Stojanovic, N. (2012). Tailoring the adaptive augmented reality (a²r) museum visit: Identifying cultural heritage professionals' motivations and needs. U *2012 IEEE international symposium on mixed and augmented reality - arts, media, and humanities (ISMAR-AMH)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ismar-amh.2012.6483992>.
- Elmqaddem, N. (2019). Augmented reality and virtual reality in education. myth or reality? *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Ijet)*, 14(03), 234. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i03.9289>.
- Markova, O., Semerikov, S., & Popel, M. (2018). Socalc as a learning tool for neural network simulation in the special course “foundations of mathematic informatics”. *Information Technologies in Education*, 3(36), 58–70. <https://doi.org/10.14308/ite000674>.
- Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (2020). A framework for the use of immersive virtual reality in learning environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Ijet)*, 15(24), 208. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>.
- Saif, A. F. M. S., Prabuwo, A. S., & Mahayuddin, Z. R. (2014). Moving object detection using dynamic motion modelling from UAV aerial images. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2014/890619>.
- Saif, A. F. M. S., Prabuwo, A. S., & Mahayuddin, Z. R. (2013). Real time vision based object detection from UAV aerial images: A conceptual framework. U *Intelligent robotics systems: Inspiring the NEXT* (s. 265–274). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40409-2_23.
- Tenemaza, M., de Antonio, A., & Ramírez, J. (2015). The user model, vocabulary and logical architecture for adaptive augmented reality. U *CLHC '15: Latin american conference on human computer interaction*. ACM. <https://doi.org/10.1145/2824893.2824901>.
- Osadcha, K., Osadchyi, V., Semerikov, S., Chemerys, H., & Chorna, A. (2020). *The review of the adaptive learning systems for the formation of individual educational trajectory*. [b. v.]. <https://doi.org/10.31812/123456789/4130>.
- Chytas, D., Johnson, E. O., Piagkou, M., Mazarakis, A., Babis, G. C., Chronopoulos, E., Nikolaou, V. S., Lazaridis, N., & Natsis, K. (2020). The role of augmented reality in Anatomical education: An overview. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 229, 151463. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151463>.
- Goff, E. E., Hartstone-Rose, A., Irvin, M. J., & Mulvey, K. L. (2020). Using augmented reality to promote active learning in college science. U *Active learning in college science* (s. 741–755). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33600-4_46.
- Symonenko, S. V., Zaitseva, N. V., Osadchyi, V. V., Osadcha, K. P., & Shmeltser, E. O. (2020). *Virtual reality in foreign language training at higher educational institutions*. [b. v.]. <https://doi.org/10.31812/123456789/3759>.

Integration of Augmented and Virtual Reality Technologies with Adaptive Learning Systems: Analysis of Conceptual Models

Vladyslav Kruglyk, <https://orcid.org/0000-0002-5196-7241>, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Science and Cybernetics, Melitopol State Pedagogical University, St. 59 Naukovo Mischechka, Zaporizhzhia, 69000, Ukraine, krugvs@mdpu.org.ua

***Abstract.** Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) are increasingly utilized in education to provide interactive and engaging learning experiences. However, most applications do not fully exploit the potential of AR/VR technologies for adaptive and personalized learning. This paper analyzes five recent conceptual models that integrate adaptive techniques into AR/VR educational systems to identify their core components and capabilities.*

All reviewed models incorporate a user profile, content repository, interaction data, environment representation, and device components. Detailed user information is collected, including demographics, knowledge levels, cognitive characteristics, sensory-motor abilities, and emotional-motivational factors. This enables adapting AR/VR content to individual learners' needs, styles, and states.

Two key adaptation-influencing components were identified across the models - the environment and the user adaptation mechanism based on the user model. Additional components depend on the service level and specifics of the device. For mobile applications, cloud computing enables optimal processing of objects, location, and human data.

The analysis determined these models provide a strong conceptual basis for adaptive AR/VR learning systems. However, further research is needed to develop a universal framework considering domain specifics. An ontological approach should be employed to allow customization for particular educational contexts. This could significantly enhance the state of adaptive AR/VR learning systems.

Existing conceptual models incorporate promising techniques but lack holistic frameworks tailored to educational domains. Developing such frameworks is essential to advance research and practice in adaptive AR/VR learning. The analysis and findings presented provide a foundation to guide future efforts in designing and evaluating adaptive AR/VR educational systems.

Keywords: *augmented reality; adaptive learning; conceptual models; higher education; learning systems; user profile; user interaction; virtual reality.*

Стаття надійшла до редакції: 24.09.2023

Прийнято до друку: 27.12.2023