

Світлана ЛИТВИНОВА

д. пед. н., с. н. с., заступник директора з наукової роботи
Інститут цифровізації освіти НАПН України, Київ, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-5450-6635>
s.h.lytvynova@gmail.com

Лілія ЛУПАРЕНКО

к. пед. н., завідувач відділу цифрової трансформації НАПН України
Інститут цифровізації освіти НАПН України, Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-4500-3155
lisoln1@gmail.com

ОЦІНЮВАННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В НАВЧАЛЬНІЙ ДРУКОВАНІЙ ПРОДУКЦІЇ

У статті розкриті підходи до оцінювання якості доповненої реальності, зокрема визначено і обґрунтовано один з видів об'єктів – 3D-модель, що має використовуватися у процесі візуалізації в друкованій продукції.

У ході дослідження авторами розглянуто поняття «3D-зображення» і «3D-модель» та конкретизовано відмінності між ними. Встановлено, що 3D-зображення доступні у двох форматах: стереопара та анагліф, однак вони не знайшли застосування в освітньому процесі, оскільки не забезпечують його дидактичну складову.

Авторами зроблено висновок, що на предметах природничого циклу більш доцільним є використання 3D-моделей, оскільки така наочність максимально наближає освітній простір до реальних життєвих умов і робить навчання зрозумілішим. Коротко розглянуто технології їх створення, а саме NURBS поверхні та полігональні моделі. Наведені низькополігональних (low-poly), середньополігональних (mid-poly) та високополігональних (high-poly) тривимірних цифрових об'єктів.

Описано такі етапи процесу візуалізації 3D-моделей, як моделювання, текстурування, освітлення й анімування. Виокремлено види процесів тривимірного моделювання (каркасне, поверхневе, твердотільне), текстурування (МІР-текстурування та рельєфне) та анімування (анімація за траєкторією, анімація в динамічному моделюванні, реалістична анімація, ручна анімація та анімація обличчя).

Узагальнюючи досвід оцінювання додатків доповненої реальності було визначено низку критеріїв, що дозволять оцінити якість 3D-моделей, а саме: загальний, моделювальний, відображальний, текстурний, освітлювальний, маніпуляційний, користувацький, анімаційний, технологічний.

Запропоновані критерії і показники потенційно нададуть змогу дібрати якісні зразки, інтегрувати їх у навчальну друковану продукцію та забезпечити повсюдний доступ, зокрема до засобів навчання на предметах природничого циклу, які неможливо продемонструвати в реальних умовах освітнього закладу.

Ключові слова: доповнена реальність; критерії та показники оцінювання; навчальна друкована продукція; якість освітнього контенту; підручники з доповненою реальністю; 3D-моделі.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Стрімке протікання процесів цифрової трансформації в галузі освіти значною мірою обумовлене використанням цифрових технологій як у процесі організації навчального процесу, так й у освітньому контенті. Нині серед видавців все більшої популярності набуває використання технології доповненої реальності, зокрема й включення таких об'єктів у навчальну друковану продукцію.

Доповнена реальність (англ. *augmented reality, AR*) – це реальне середовище, що розширене за допомогою такої «комп'ютерної інформації», як звук, відео або графіка. Зазвичай, AR-додатки, містять онлайнвідеозображення оточуючого світу у поєднанні з даними, що генеруються комп'ютерною технікою (зображення, тексти, тривимірні моделі, інтерактивні двомірні і тривимірні сцени) [1].

Цифрова трансформація навчальної літератури вбачається як у формуванні банку цифрового освітнього контенту закладу освіти, так й у використанні об'єктів доповненої реальності в друкованих підручниках, посібниках, робочих зошитах, зошитах для практичних та лабораторних робіт, атласах [2]. Такий підхід надає можливість здобувачам освіти не лише відтворити об'єкти живої та неживої природи за допомогою мобільних пристроїв, а й глибше досліджувати характеристики та функціональні можливості об'єктів, що вивчаються.

Протягом останніх років учені звертають увагу на використання безкоштовних систем комп'ютерного моделювання порталу Phet [3] та пропонують можливість вбудовування таких інтерактивних моделей на сторінки друкованої навчальної продукції за допомогою QR-кодів. Використання QR-кодів для учасників освітнього процесу не є новим. Перехід за закодованими гіперпосиланнями використовується переважно для відображення сайтів, відео-фрагментів, тестів, документів, безпосереднього відтворення рисунків, 2D-зображень, фото та ін. Однак, вказаний цифровий освітній контент не задовольняє повною мірою потребу в просторовій візуалізації, деталізації та інтерактивності об'єктів живої й неживої природи, який може забезпечити доповнена реальність.

AR-контент, у свою чергу, досі залишається недоступним для переважної більшості здобувачів освіти, що є передумовою перегляду існуючих підходів до навчальної друкованої продукції та стимулом до її реформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше інтеграція контенту з доповненою реальністю в освітнє середовище та розроблення відповідної платформи для зберігання і використання цієї технології на всіх рівнях освіти відбулися у ході реалізації проєкту Горизонт-2020 «Доповнена реальність у шкільному середовищі» (англ. *Augmented reality in school environments*¹) 2006–2008 рр.

¹ <https://cordis.europa.eu/project/id/027039>

Окремі питання якості об'єктів живої і неживої природи, розроблених за допомогою технології доповненої реальності, напряду або опосередковано, було розглянуто в низці наукових праць вітчизняних і зарубіжних учених. Зокрема, у роботі К. Лі (K. Lee) [4] зазначено, що вибір інноваційного навчання залежить від доступу людини до певних видів технологій. AR змінює як умови, місце й час навчання, так і потенційно впливає на розвиток освіти.

Проблему оцінювання якості навчання з використанням цієї технології аналізують С. Гіасіраніс (S. Giasiranis) і Л. Софос (L. Sofos) [5]. У ході дослідження вченим вдалося довести позитивний вплив на продуктивність навчання і підвищення успішності 42 учнів. Дослідниками Т. Олссоном (T. Olsson), Т. Карккайненом (T. Karkkainen), Е. Лагерштамом (E. Lagerstam) і Л. Вента-Олкконеном (L. Venta-Olkkonen) встановлено, що рівень технологічної підготовки респондентів значно впливає на загальне позитивне сприйняття об'єктів доповненої реальності, а також на розуміння об'єктів оточуючого світу і підтримування діяльності у різних галузях, зокрема, освіті [6].

У роботі А. Елфорда (Aniel Elford), С. Дж. Ланкастера (S. J. Lancaster), Г. А. Джонса (G. A. Jones) [7] здійснено спробу комбінації кількісних інструментів, якісних опитувань та інтерв'ю з метою встановлення відношення між ставленням студентів, когнітивним навантаженням, просторовим уявленням та академічною успішністю. Доведено помірну кореляцію ($rs=0,416$) між просторовими здібностями студентів й успішністю, зроблено висновок про необхідність подальших досліджень для уточнення і з'ясування особливостей використання доповненої реальності та її впливу на якість освіти.

Є. Груберт (J. Grubert), С. Золман (S. Zollmann), Т. Ланглоц (T. Langlotz), Х. Регенбрехт (H. Regenbrecht) прогнозують наступне: не дивлячись на те, що більшість AR-додатків використовуються лише для одного конкретного завдання, майбутні сценарії можуть забезпечити досягнення багатьох освітніх цілей [8].

Важливими, на думку авторів Ю. Чу (Yu. Zhu), Г. Йе (H. Ye), С. Танг (S. Tang) [9], є індивідуальна та групова робота з використанням різних гаджетів для візуалізації контенту доповненої реальності. Дж. Мартін-Гутьєррес (J. Martin-Gutierrez), Е. Гінтерс (E. Guinters), Д. Перес-Лопес (D. Perez-Lopez) погоджуються, що доповнена реальність може бути використана для спільної роботи студентів. Особливої актуальності це набуває у процесі виконання практико-орієнтованих робіт (лабораторних, практичних) із небезпечним обладнанням, що вимагає постійного контролю з боку педагога [10; 11]. Використовуючи маркери, студенти матимуть змогу за допомогою планшета або мобільного телефона візуалізувати інструкції та навчальні матеріали, необхідні для правильного використання і налаштування обладнання [10; 11].

У більшості робіт вітчизняних вчених розглядається питання використання доповненої реальності в різних сферах освіти, зокрема цю проблему досліджували О. Канівець, І. Канівець, Т. Горда та О. Ю. Буров [18], Т. А. Вакалюк і К. В. Власенко [19], Т. В. Грунтова та Ю. В. Єчкало [12],

Т. В. Крамаренко [17], С. Л. Мальченко та Д. В. Миколюк [13], П. П. Нечипоренко і Т. В. Старова [14], О. С. Пилипенко [17], Л. Ф. Панченко [19], Н. В. Рашевська і С. О. Семеріков [15], О. М. Соколюк [16] та ін.

Переважно ці праці присвячені проектуванню та поетапному створенню програмних додатків з доповненою реальністю. Однак, не зважаючи на зростаючий науковий інтерес, аспект оцінювання доповненої реальності розглядається в досить незначній кількості робіт.

Технологія AR суттєво відрізняється від звичайних програм, для яких застосовується маніпулятор миша та клавіатура, саме тому вони потребують окремого підходу до оцінювання зручності використання. Для вирішення цієї проблеми Г. Кім (G. Kim) [20] пропонує використання стандартів, а саме ISO-IEC JTC 1 SC 24, 18521 11.

Дослідниками М. П. Гімарайншем (M. P. Guimaraes) та В. Ф. Мартінсом (V. F. Martins) розроблено контрольний список оцінювання додатків доповненої реальності, в основу розроблення якого покладено стандарт ISO 9241–11 [21]. Автори виокремили такі критерії для визначення зручності: цілі й застосування, попередній досвід користувача, розроблені задачі, обладнання, навколишнє середовище, діяльність користувача, відповідність між системою і реальним світом, контроль над користувачем, запобігання помилок, розпізнавання об'єктів, гнучкість, точність, налаштування середовища, задоволеність. Вказані критерії оцінено п'ятьма експертами із значним досвідом використання AR-додатків, а тому цей перелік є перспективним рішенням проблеми оцінювання зручності використання додатків доповненої реальності.

Х. Праното (H. Pranoto), К. Тхо (C. Tho), Х. Л. Варнарс (H. L. Warnars) звертають увагу на те, що оцінювання доповненої реальності має проводитися декількома методами, зокрема:

- суб'єктивний вимір з використанням людського сприйняття;
- об'єктивний вимір на основі спостереження;
- оцінювання експертом за допомогою когнітивного покрокового керівництва;
- евристичне оцінювання;
- лабораторне спостереження;
- анкетування [22].

Окремим аспектом, що безпосередньо впливає на організацію освітнього процесу в закладах освіти, є особливість користувацького доступу, а саме допустима кількість користувачів (однокористувацький чи багатокористувацький). М. Хардерс (M. Harders), Г. Бьянчі (G. Bianchi), Б. Ноелі (B. Knoerlein) та Г. Секлі (G. Szekely) додають, що у застосуванні доповненої реальності важливу роль відіграє калібрування, стабільність системи та низький рівень затримки. Ці параметри необхідні для підтримування занурення користувача та уникнення перерв у присутності, що потенційно можуть зменшити результати навчання [23].

Аналіз наукової літератури дозволяє констатувати, що напрями досліджень учених нині спрямовані переважно на розроблення якісних додатків доповненої реальності та зручність їх використання. Однак, питання оцінювання окремих

об'єктів доповненої реальності, зокрема освітніх 3D-моделей, що можуть інтегруватися в навчальну друковану продукцію, досліджено не повною мірою.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні критеріїв оцінювання 3D-моделей доповненої реальності для подальшого їх використання в навчальній друкованій продукції.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході розгляду зарубіжних і вітчизняних наукових публікацій було встановлено, що до об'єктів доповненої реальності можуть бути віднесені аудіо та відео файли, анімації, текст, гіперпосилання, тести, 3D-зображення, 2D-зображення, 3D-моделі та ігровий контент [11]. З огляду на те, що технологія доповненої реальності – це накладання комп'ютерного об'єкта на реальний простір – особливі вимоги до візуалізації 2D-зображень (фото, картин, рисунків, плакатів, вивісок, ілюстрацій, рисунків, малюнків) не висуваються, оскільки вони не потребують додаткового модифікування у спеціальних програмах. З огляду на це, увагу доцільно приділити тривимірним об'єктам.

Конкретизуємо різницю між поняттями «3D-зображення» і «3D-модель». *3D-зображення* – це зображення, що викликає ілюзію об'єму, відчуття рельєфності та глибини за рахунок особливостей зору. Розрізняють два їхні формати: стереопару та анагліф, з якими учні та вчителі вже можуть бути ознайомлені.

Стереопарою називають пару плоских графічних зображень одного й того ж об'єкта зроблену з різних ракурсів для досягнення ефекту об'єму. Такий ефект виникає через те, що розташовані на різній відстані від спостерігача частини сюжету при перегляді з різних точок мають різне кутове зміщення (явище паралакса). Прикладом можуть слугувати популярні автостереограми (рис. 1), обидві частини стереопари якої знаходяться в одному зображенні (*англ. Single Image Stereogram, SIS*) і реалізовані накладанням за допомогою лентикулярного друку (безокулярна сепарація зображень).

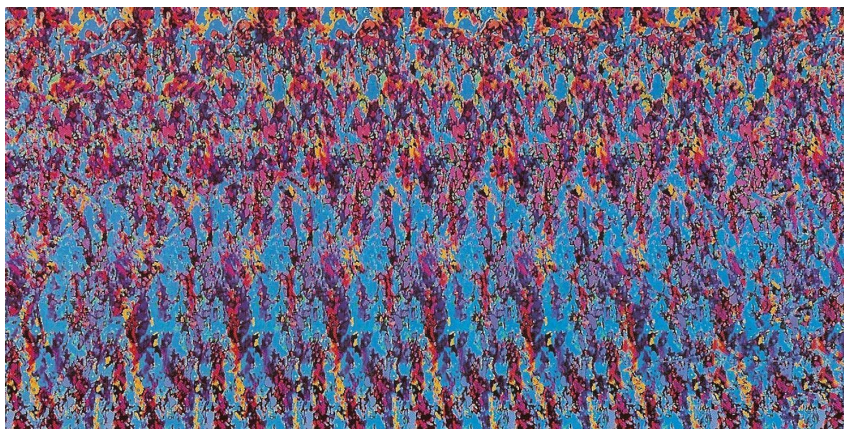


Рис. 1. Автостереограма² – 3D-зображення

² <https://www.makeuseof.com/tag/easystereogrambuilder-generate-magic-eye/>

Анагліф – це спосіб досягнення ефекту 3D з використанням методу колірного кодування зображень. Ефект досягається під час використання спеціальних анагліфічних окулярів, у яких для правого ока – світлофільтр синього кольору, а для лівого – червоний (рис. 2).

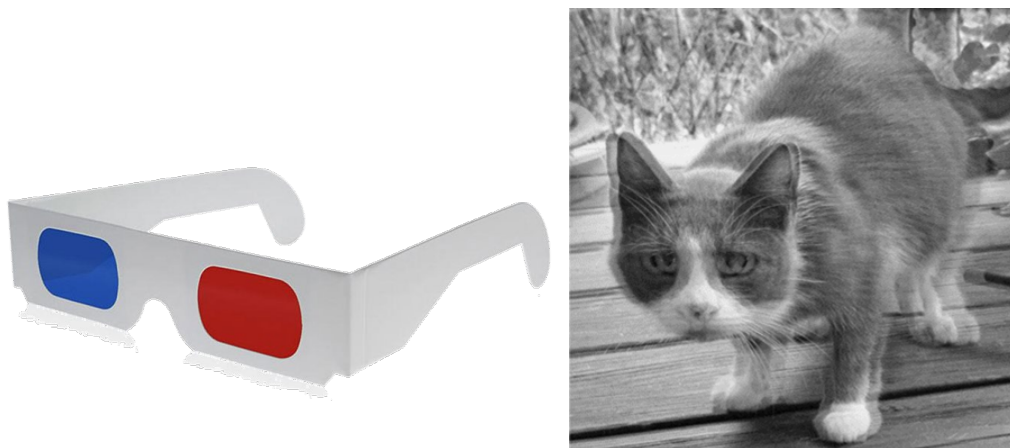


Рис. 2. Анагліф – 3D-зображення³

Слід відмітити, що вказані формати не знайшли застосування в освітньому процесі, а набули популярності як ігровий контент. Обумовлено це недоцільністю друкування закодованих зображень, які не забезпечують дидактичну складову освітнього процесу.

У свою чергу *3D-модель* – це створена за допомогою спеціальних програм об'ємна фігура (рис. 3), візуалізація якої передбачає добір і налаштування текстур, освітлення, тіней, доквілля (за потреби) та ін.



Рис. 3. 3D-модель оленя⁴

³ <https://www.jnsm.com.ua/cgi-bin/u/book/sis.pl?Article=1297&action=show>

⁴ <https://www.google.com/>

Аналізуючи об'єкти живої і неживої природи, приходимо до висновку, що в доповненій реальності відбувається візуалізація саме 3D-моделей. Вони набули популярності завдяки тому, що візуалізовані об'єкти стають набагато реалістичнішими ніж ті, що створені на основі звичайних креслень та 2D-моделей.

Для забезпечення якості освітнього процесу на предметах природничого циклу важливу роль відіграє наочність, яку можна відтворити за допомогою доповненої реальності. Наприклад, у процесі вивчення розділу домашні тварини існує можливість легкого відтворення 3D-моделі кішки або собаки, яка рухається і повторює поведінку живої тварини.

У пошуковій системі Google вже реалізовано пошук 3D-моделей, оскільки така наочність максимально наближає освітній простір до реальних життєвих умов і робить навчання зрозумілішим.

Для розроблення успішних і високоефективних AR-систем, що можуть бути використані в освітній практиці, оцінювання їх користувачами і наявність зворотного зв'язку мають первинне значення [24]. Формування вимог до візуалізації навчальних 3D-моделей є актуальним і важливим як для розвитку цифрового контенту, так і для підвищення якості освіти.

З огляду на це, одним із основних питань, що постає нині перед експертами і вчителями – визначення якості 3D-моделей для подальшого ефективного використання в освітньому процесі. Аналізуючи їхні характеристики щодо візуалізації доповненої реальності виокремимо такі критерії й показники їх оцінювання (табл. 1).

Таблиця 1

Основні критерії й показники оцінювання якості 3D-моделей доповненої реальності

Критерії	Показники	
Загальний	Відповідність змісту освіти	
	3D-модель реального світу	
	Візуалізація в 6 проєкціях	
	Передбачена декомпозиція моделі	
	Наявна термінологічна підтримка	
Моделювальний	NURBS	Високотехнологічне
	Полігональне	Низькополігональне
		Середньополігональне
		Високополігональне
Відображальний	Каркасне	
	Поверхневе	
	Твердотільне	
Текстурний	Шовна	
	Безшовна	
Освітлювальний	Типове освітлення	Дисперсійне
		Спрямоване

		Точкове
		Конічне
	Нетипове освітлення	
Маніпуляційний	Один палець	
	Два пальці	
Користувацький	Стоячи	
	Сидячи	
Анімаційний	За траєкторією	
	Динамічна	
	Реалістична	
	Ручна	
	Обличчя	
Технологічний	Підтримування кількох ОС	
	Режим збільшення-зменшення	
	Відтворення на будь-якій поверхні	
	Період затримки	Низький
		Середній
		Високий
	Кількість користувачів	Однокористувацький
Багатокористувацький		

Деталізуємо запропоновані підходи і розглянемо основні характеристики 3D-моделей доповненої реальності:

- її легко можна співставити з об'єктом реального світу;
- візуалізація 3D-моделі здійснюється в 6 проєкціях;
- передбачена декомпозиція моделі;
- графіка зображення чітка, з плавними переходами;
- кольорова гама відповідає об'єктам живої природи;
- складники об'єкта мають термінологічну підтримку.

Технологічні особливості візуалізації 3D-моделей:

- підтримування кількох ОС;
- реалізовано режим збільшення-зменшення моделі;
- можливість відтворення моделі на будь-якій поверхні.

Візуалізація 3D-моделей, зазвичай, потребує таких кроків, як моделювання, текстурування, освітлення й анімування.

1. Моделювання 3D-моделей для візуалізації доповненої реальності. Моделювання – це створення тривимірної моделі, сцени і об'єктів у ній. Серед технологій створення тривимірних моделей розрізняють *NURBS поверхні* та *полігональні моделі*.

Різниця у візуалізації моделей, створених за цими двома технологіями, представлена на рис. 4. Поверхня NURBS-циліндра (ліворуч) гладка, тоді як поверхня полігонального циліндра (праворуч) має фасетний вигляд (https://3d.demiart.ru/book/Maya-6/Glava_04/Index02.htm).

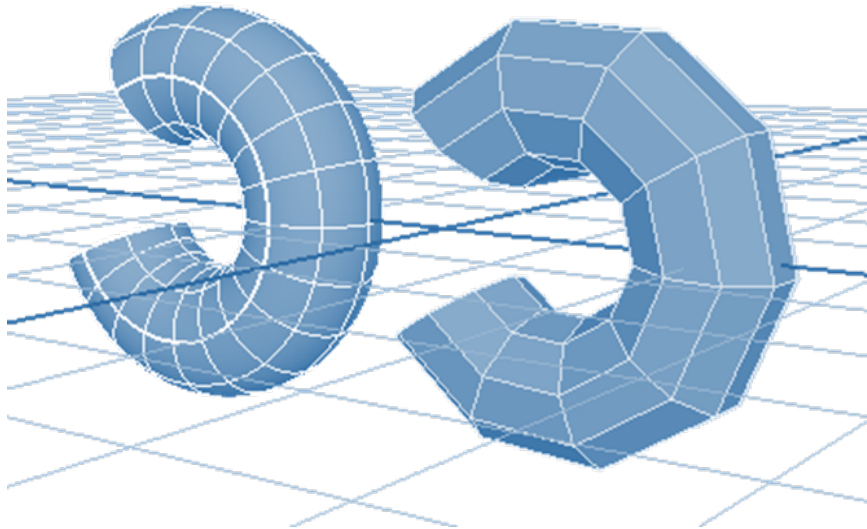


Рис. 4. NURBS-циліндр (ліворуч) і полігональний циліндр (праворуч)

З огляду на те, що NURBS-поверхні мають більш високий рівень точності, їх найчастіше використовують інженери, машинобудівники та архітектори.

У свою чергу полігональні моделі набули популярності у розробленні 3D-зображень для мультиплікації, кінематографа і комп'ютерних ігор, оскільки складаються з численних найпростіших геометричних фігур, що називають примітивами. Нині виокремлюють три види полігональних 3D-моделей: Low-Poly, Mid-Poly та High-Poly (рис. 5).

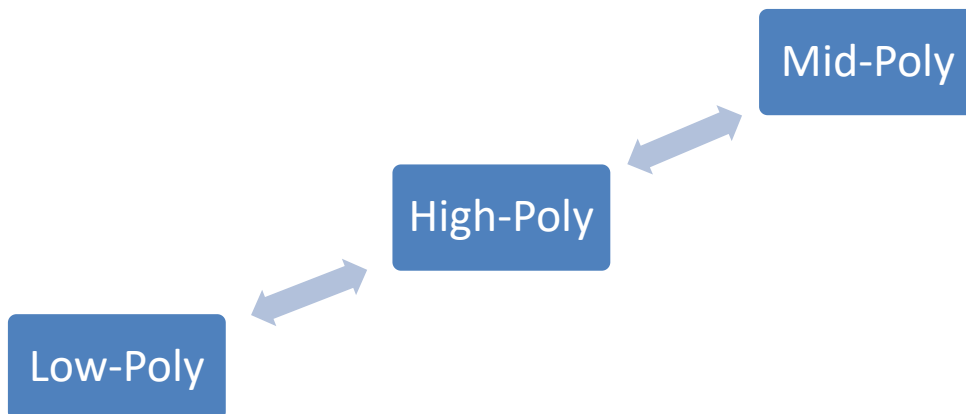


Рис. 5. Види полігональних моделей

Низькополігональна модель (англ. *Low-Poly*) – унікальний метод, результатом якого є 3D-модель з невеликою кількістю граней або полігонів. Такі об'єкти характеризуються наявністю невеликої кількості багатокутників. Як правило, вони застосовуються з метою економії ресурсів у випадках, коли висока деталізація об'єкта не потрібна, а також для створення низькополігональних ілюстрацій, що набувають особливої популярності останнім часом (рис. 6).



Рис. 6. Приклади низькополігональних 3D-моделей⁵

Середньополігональна модель (англ. *Mid-Poly*) характеризується більш згладженими лініями. Створення таких об'єктів відбувається з використанням логічних операцій та без процедури оптимізації на багатокутній сітці, або ж вона мінімальна (рис. 7).

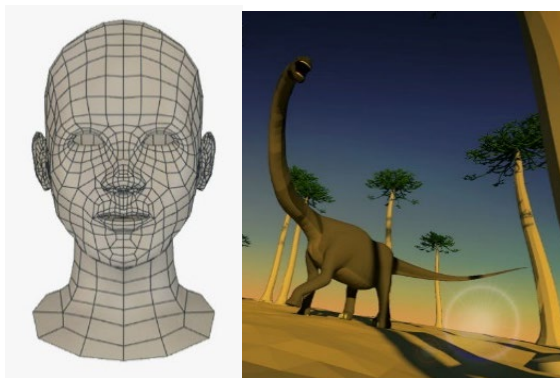


Рис. 7. Приклади середньополігональних 3D-моделей⁶

Високополігональні моделі (англ. *High-Poly*) – це об'єкти, що складаються з великої кількості багатокутників, максимально фактурні та, як правило, є точною копією реального об'єкта (рис. 8).



Рис. 8. Приклади високополігональних 3D моделей⁷

⁵ <https://www.istockphoto.com/>

⁶ <https://www.turbosquid.com/Search/3D-Models>

⁷ <https://www.turbosquid.com/3d-models/female-head-bust-pack-3d-model/683303>

Іноді реальні об'єкти мають досить складну форму, що значно ускладнює ручне створення 3D-моделі. У таких випадках використовують 3D-сканування об'єкта з подальшим редагуванням і вдосконаленням його 3D-моделі в спеціальних програмних застосунках.

Слід відмітити, що виокремлюють три види 3D-моделювання та чотири рівні їхньої складності (табл. 2).

Таблиця 2

Види і характеристики 3D-моделювання

Вид моделювання	Рівень складності	Характеристика
Каркасне	Перший	Не містить даних про структуру і дрібні деталі об'єкта
	Другий	Містить загальні відомості про об'єкт
Поверхневе	Третій	Враховує неоднорідну структуру і дрібні деталі об'єкта
Твердотільне	Четвертий	Враховує складну неоднорідну структуру та глибоку деталізацію об'єкта

II. Текстурування 3D-моделей для візуалізації доповненої реальності.

Текстура – це растрове зображення, нанесене на поверхню 3D-моделі, з метою надання їй забарвлення, кольору, відтінків деталей. Текстурування передбачає встановлення таких властивостей матеріалів, як прозорість, відбиття, шорсткість та ін.). Ці параметри безпосередньо впливатимуть на те, як візуалізуватиметься модель.

Доцільно виокремити такі види текстурування:

– МІР-текстурування – метод, за якого при накладенні текстур застосовуються копії однієї й тієї ж ілюстрації текстури з різним ступенем промальовування деталей.

– рельєфне текстурування – технологія роботи із 3D-графікою, що дозволяє досягти максимальної реалістичності поверхні об'єкта.

III. Освітлення – монтаж і регулювання джерел світла, що падають на 3D-модель або відбиваються нею.

IV. Анімування – надання руху 3D-моделям.

Зауважимо, що більшість моделей доповненої реальності є анімованими. 3D-анімація – це процес створення рухомих зображень в тривимірному цифровому середовищі.

Можна виокремити такі види 3D-анімації моделей:

- анімація за траєкторією – відтворення шляху переміщення моделей;
- анімація в динамічному моделюванні – відтворення поведінки моделі в реальному фізичному середовищі;
- реалістична анімація – відтворення рухів, отриманих з використанням технології захоплення руху;

- ручна анімація – створена художником (може бути спрощеною, нереалістичною);
- анімація обличчя – це відтворення емоцій моделі (для живої природи).

Підсумовуючи, можемо констатувати, що запропоновані критерії й показники оцінювання якості 3D-моделей, можуть слугувати базисом експертизи друкованої навчальної літератури, що включає об'єкти доповненої реальності, для закладів загальної середньої, професійно-технічної та вищої освіти.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Активні процеси цифрової трансформації освіти, події пандемії COVID-19 та умови військового стану в Україні актуалізували проблему забезпечення здобувачів освіти якісною навчальною продукцією, що дозволила б максимально задовольнити їхні потреби в освітньому контенті.

Аналіз джерел і стандартів з проблеми дослідження надав можливість визначити вид об'єкта, який відтворюватиметься за допомогою технології доповненої реальності і може бути використаний в навчальній друкованій продукції, а саме 3D-модель живої та неживої природи.

Використання 3D-моделей є найбільш доступним та ефективним засобом для розкриття змісту навчання на всіх рівнях освіти, що може суттєво підвищити рівень запам'ятовування інформації. Враховуючи той факт, що понад 99% здобувачів освіти мають смартфони, візуалізацію такого роду моделей можливо легко забезпечити за допомогою технології доповненої реальності, як під час освітнього процесу, так й у ході самостійного виконання завдань або опанування нового змісту.

Основними критеріями для врахування в оцінюванні якості 3D-моделей доповненої реальності визначено такі, як загальний, моделювальний, відображальний, текстурний, освітлювальний, маніпуляційний, користувацький, анімаційний, технологічний.

Увага, мотивація, розуміння і рівень навчальних досягнень здобувачів освіти безпосередньо залежить від якості цифрового освітнього контенту. Запропоновані критерії і показники оцінювання таких моделей нададуть змогу дібрати якісні зразки, інтегрувати їх у навчальну друковану продукцію та забезпечити повсюдний доступ, зокрема до засобів навчання на предметах природничого циклу, які неможливо продемонструвати в реальних умовах освітнього закладу. Запропоновані авторами підходи можуть вирішити низку проблем на етапі експертизи і підготовки навчальної друкованої продукції до широкомасштабного впровадження.

Подальшим кроком у дослідженні вбачаємо апробацію критеріїв і показників оцінювання 3D-моделей, створених за допомогою технології доповненої реальності, на уроках хімії, біології та географії. З огляду на вказане, першочергового значення набуває розроблення процедури проведення такої експертизи.

Список використаних джерел

1. Пінчук О. П., Лупаренко Л. А. Дидактичний потенціал використання цифрового контенту з доповненою реальністю. *Проблеми використання інформаційних технологій у сучасних закладах освіти*. 2022. № 63. С. 39–57.
2. Литвинова С. Г., Сороко Н. В. Готовність учнів гімназій до використання доповненої реальності в освітньому процесі. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2022. Т. 50. № 1. С.158-164. DOI: 10.24144/2524-0609.2022.50.158-164.
3. Комп'ютерне моделювання пізнавальних завдань для формування компетентностей учнів з природничо-математичних предметів : монографія / В. Ю. Биков та ін. Київ: Педагогічна думка, 2020. 213 с. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/722871>.
4. Lee K. Augmented Reality in Education and Training. *Tech Trends*. 2012. Vol. 56. P. 13-21. DOI: 10.1007/s11528-012-0559-3.
5. Giasirani S., Sofos L. Production and Evaluation of Educational Material Using Augmented Reality for Teaching the Module of «Representation of the Information on Computers» in Junior High School. *Creative Education*. 2016. Vol.7. № 9. P. 1270–1291. DOI: 10.4236/ce.2016.79134.
6. Olsson T., Karkkainen T., Lagerstam E., Venta-Olkkonen L. User evaluation of mobile augmented reality scenarios. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2012. Vol. 4. № 1. P. 29-47. DOI: 10.3233/AIS-2011-0127.
7. Elford D., Lancaster S. J., Jones G. A. Exploring the Effect of Augmented Reality on Cognitive Load, Attitude, Spatial Ability, and Stereochemical Perception. *Journal of Science Education and Technology*. 2022. Vol. 31. P. 322-339. DOI: 10.1007/s10956-022-09957-0.
8. Grubert J., Langlotz T., Zollmann S., Regenbrecht H. Towards Pervasive Augmented Reality: Context-Awareness in Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2017. Vol. 23. № 6. P. 1706–1724. DOI: 10.1109/TVCG.2016.2543720.
9. Zhu Y., Ye H., Tang S. Research on the Communication Effect of Augmented Reality Technology in Electronic Publications among Youth – A Case Study of «Augmented Reality Interactive Science Reading». *Advances in Applied Sociology*. 2017. Vol. 7. P. 305–318. DOI: 10.4236/aasoci.2017.78019.
10. Martin-Gutierrez J., Guinters E., Perez-Lopez D. Improving strategy of self-learning in engineering: laboratories with augmented reality. *Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 51. P. 832–839. URL: <https://cutt.ly/GgbyLjK>.
11. Литвинова С. Г., Буров О. Ю., Семеріков С. О. Концептуальні підходи до використання засобів доповненої реальності в освітньому процесі. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми* : збірник наукових праць. Вінниця : ТОВ «Друк плюс». 2020. № 55. С. 46–62.
12. Hrunтова T. V., Yechkalo Y. V., Striuk A. M., Pikilnyak A. V. Augmented Reality Tools in Physics Training at Higher Technical Educational Institutions. *Proc. 1st Intl. Workshop on Augmented Reality in Education*. 2018. P. 33–40.
13. Malchenko S. L., Mykoliuk D. V., Kiv A. E. Using interactive technologies to study the evolution of stars in astronomy classes. 2d Intl. Workshop on Augmented Reality in Education: proc. 2019. P. 145–155.
14. Nechypurenko P. P., Starova T. V., Selivanova T. V., Tomilina A. O., Uchitel A. D. Use of Augmented Reality in Chemistry Education. 1st Intl. Workshop on Augmented Reality in Education: proc. 2018. P. 15–23.
15. Rashevskaya N. V., Semerikov S. O., Zinonos N. O., Tkachuk V. V., Shyshkina M. P. Using augmented reality tools in the teaching of two-dimensional plane geometry. *3d International Workshop on Augmented Reality in Education*: proc. 2020. P. 79–90.

16. Соколюк О. М. Інформаційно-освітнє середовище навчання в умовах трансформації освіти. Наукові записки. Серія: *Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. 2016. №. 12(III). С. 48–55.
17. Kramarenko T. H., Pylypenko O. S., Zaslavskiy V. I. Prospects of using the augmented reality application in STEM-based Mathematics teaching. *2d Intl. Workshop on Augmented Reality in Education* : proc. 2019. P. 130–144.
18. Kanivets O., Kanivets I., Gorda T., Burov O. Development of Augmented Reality Mobile Application in Physics to Study the Electric Circuit. *Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology*. 2020. Vol. 1. P 653–664.
19. Panchenko L. F., Vakaliuk T. A., Vlasenko K. V. Augmented reality books: concepts, typology, tools. *3d Intl. Workshop on Augmented Reality in Education* : proc. 2020. P. 283–296.
20. Kim G. Augmented Reality Continuum Concepts and Reference Model – Part 1: ARC Reference Model (Work Item Proposal). ISO-IEC JTC 1 SC 24, 18521-1. 2012.
21. Guimaraes M. D. P., Martins V. F. A Checklist to Evaluate Augmented Reality Applications. *16th Symposium on Virtual and Augmented Reality* : proc. 2014. P. 45–52. DOI: 10.1109/SVR.2014.17.
22. Pranoto H., Tho C., Warnars H. L. Usability testing method in augmented reality application. *International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)* : proc. 2017. P. 181–186. DOI:10.1109/ICIMTech.2017.8273534.
23. Harders M., Bianchi G., Knoerlein B., Szekely G. Calibration, Registration, and Synchronization for High Precision Augmented Reality Haptics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2009. Vol. 15, № 1, P. 138–149. DOI: 10.1109/TVCG.2008.63.
24. Ritsos P. D., Ritsos D. P., Gougoulis A. S. Standards for Augmented Reality: a User Experience perspective. *2nd International AR Standards Meeting*: proc. 2011. URL: <https://pdrisos.com/files/Ritsos-et-al-4th-AR-Standards.pdf>.

Lytvynova S., Luparenko L. Evaluation of 3D-Models of Augmented Reality in Educational Printed Products

The article deals with the approaches to assessing the quality of augmented reality. One of AR-object types – a 3D model – is defined and substantiated.

It is considered and specified the differences between the concepts of "3D image" and "3D model". It has been established that 3D images are available in two formats: stereo pair and anaglyph, but they are not used in the educational process because they do not provide a didactic component.

The authors concluded that it is more expedient to use 3D models in subjects of the natural cycle. Such visibility brings the educational space to real-life conditions as close as possible and makes learning more understandable. Technologies for their creation, namely NURBS surfaces and polygonal models, are briefly considered. The examples of low-poly, mid-poly, and high-poly three-dimensional digital objects are demonstrated.

Such stages of the 3D models rendering process as modeling, texturing, lighting, and animation are described. The types of three-dimensional modeling (frame, surface, solid), texturing (MIP texturing and relief) and animation (animation by trajectory, animation in dynamic modeling, realistic animation, manual animation, and face animation) are distinguished.

The criteria of evaluating the 3D models quality (general, modeling, display, texture, lighting, manipulation, user, animation, and technological) were defined. These criteria and its indicators will permit to select high-quality samples, integrate them into educational printed products and to the teaching aids for subjects of the natural cycle.

Keywords: augmented reality; evaluation criteria and indicators; educational printed products; quality of educational content; textbooks with augmented reality; 3D models.

References

1. Pinchuk, O. P., Luparenko, L. A. (2022). Didactic potential of using digital content with augmented reality. *Problems of using information technologies in modern educational institutions*, 63, 39–57. doi: 10.31652/2412-1142-2022-63-39-57. [in Ukrainian]
2. Lytvynova, S. H., Soroko, N. V. (2022). Readiness of gymnasium students to use augmented reality in the educational process. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: "Pedagogy. Social work"*. 50(1), 158–164. doi: 10.24144/2524-0609.2022.50.158-164. [in Ukrainian]
3. Lytvynova, S. H. (Ed.). Computer modeling of cognitive tasks for the formation of students' competencies in science and mathematics subjects: monograph. (2020). Kyiv, Ukraine: Pedagogichna dumka. Retrieved from <https://lib.iitta.gov.ua/722871>. [in Ukrainian]
4. Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *Tech Trends*, 56, 13-21. doi: 10.1007/s11528-012-0559-3. [in English]
5. Giasirani, S., Sofos, L. (2016). Production and Evaluation of Educational Material Using Augmented Reality for Teaching the Module of «Representation of the Information on Computers» in Junior High School. *Creative Education*, 7(9), 1270–1291. doi: 10.4236/ce.2016.79134. [in English]
6. Olsson, T., Karkkainen, T., Lagerstam, E., Venta-Olkkonen, L. (2012). User evaluation of mobile augmented reality scenarios. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 4(1), 29–47. doi: 10.3233/AIS-2011-0127. [in English]
7. Elford, D., Lancaster, S. J., Jones, G. A. (2022). Exploring the Effect of Augmented Reality on Cognitive Load, Attitude, Spatial Ability, and Stereochemical Perception. *Journal of Science Education and Technology*, 31, 322-339. doi: 10.1007/s10956-022-09957-0. [in English]
8. Grubert, J., Langlotz, T., Zollmann, S., Regenbrecht H. (2017). Towards Pervasive Augmented Reality: Context-Awareness in Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 23(6), 1706–1724. doi: 10.1109/TVCG.2016.2543720. [in English]
9. Zhu, Y., Ye, H., Tang, S. (2017). Research on the Communication Effect of Augmented Reality Technology in Electronic Publications among Youth – A Case Study of «Augmented Reality Interactive Science Reading». *Advances in Applied Sociology*, 7, 305–318. doi: 10.4236/aasoci.2017.78019. [in English]
10. Martin-Gutierrez, J., Guinters, E., Perez-Lopez, D. (2012). Improving strategy of self-learning in engineering: laboratories with augmented reality. *Social and Behavioral Sciences*, 51, 832–839. Retrieved from <https://cutt.ly/GgbyLjK>. [in English]
11. Lytvynova, S. G., Burov, O. Yu., Semerikov, S. O. (2020). Conceptual approaches to the use of augmented reality tools in the educational process. *Modern information technologies and innovative methods of training in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems: a collection of scientific works*, 55, 46–62. [in Ukrainian]
12. Hrunтова, Т. В., Ячкало, Я. В., Стриук, А. М., Пикільняк, А. В. (2018). *Augmented Reality Tools in Physics Training at Higher Technical Educational Institutions*. Proc. 1st Intl. Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine : CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) [in English]
13. Malchenko, S. L., Mykoliuk, D. V., Kiv, A. E. (2019). *Using interactive technologies to study the evolution of stars in astronomy classes*. Proc. 2d Intl. Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine : CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) [in English]
14. Nechypurenko, P. P., Starova, T. V., Selivanova, T. V., Tomilina, A. O., Uchitel A. D. (2018). *Use of Augmented Reality in Chemistry Education*. Proc. 1st Intl. Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine : CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) [in English]
15. Rashevskaya, N. V., Semerikov, S. O., Zinonos, N. O., Tkachuk, V. V., Shyshkina M. P. (2020). *Using augmented reality tools in the teaching of two-dimensional plane geometry*. Proc. 3d

International Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine : CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). [in English]

16. Sokolyuk, O. M. (2016). *Information and educational learning environment in the conditions of education transformation*. Scientific notes. Series: Problems of the methodology of physical, mathematical and technological education, 12(III), 48–55. [in Ukrainian]

17. Kramarenko, T. H., Pylypenko, O. S., Zaselskiy, V. I. (2019). Prospects of using the augmented reality application in STEM-based Mathematics teaching. *Proc. 2d Intl. Workshop on Augmented Reality in Education*. Kryvyi Rih, Ukraine : CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). [in English]

18. Kanivets, O., Kanivets, I., Gorda, T., Burov, O. (2020). *Development of Augmented Reality Mobile Application in Physics to Study the Electric Circuit*. 1st Symposium on Advances in Educational Technology (AET 2020). Kyiv, Ukraine [in English]

19. Panchenko, L. F., Vakaliuk, T. A., Vlasenko, K. V. (2020). *Augmented reality books: concepts, typology, tools*. 3d Intl. Workshop on Augmented Reality in Education. Kryvyi Rih, Ukraine : CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). [in English]

20. Kim, G. (2012). Augmented Reality Continuum Concepts and Reference Model – Part 1: ARC Reference Model (Work Item Proposal). ISO-IEC JTC 1 SC 24, 18521-1. [in English]

21. Guimaraes, M. D. P., Martins, V. F. A (2014). *Checklist to Evaluate Augmented Reality Applications*. 16th Symposium on Virtual and Augmented Reality. Piata Salvador, Brazil: IEEE. doi: 10.1109/SVR.2014.17. [in English]

22. Pranoto, H., Tho, C., Warnars, H. L. (2017). *Usability testing method in augmented reality application*. International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech). Yogyakarta, Indonesia : IEEE. doi:10.1109/ICIMTech.2017.8273534. [in English]

23. Harders, M., Bianchi, G., Knoerlein, B., Szekely, G. (2009). Calibration, Registration, and Synchronization for High Precision Augmented Reality Haptics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15 (1), 138–149. doi: 10.1109/TVCG.2008.63. [in English]

24. Ritsos, P. D., Ritsos, D. P., Gougoulis, A. S. (2011). *Standards for Augmented Reality: a User Experience perspective*. 2nd International AR Standards Meeting. Barcelona, Spain. Retrieved from <https://pdritsos.com/files/Ritsos-et-al-4th-AR-Standards.pdf>. [in English]