

Цифрові інструменти і тут стають у нагоді. Вони допоможуть зрозуміти перехід Ейлера до аналітичного вираження функції  $f(x)$  та роботи з нескінченними рядами. Зокрема, у середовищі Wolfram Alpha учні можуть бачити, як синусоїда, яку раніше малювали від руки, будується за допомогою додавання доданків нескінченного ряду. Досить популярними сьогодні є цифрові лабораторії. З їх допомогою демонструємо, як  $\sin x$  перетворюється з відрізка (у трикутнику) на функцію з числовим аргументом.

Також заслуговує уваги використання програм для обробки звуку (для прикладу, Audacity). Це підтверджує, що в основі програмних алгоритмів є Ейлерівське розуміння функції. Без цього не вдалося б обробляти звукові сигнали.

Завдяки дослідженням П'єра Ферма та Леонарда Ейлера математика видозмінилася: перетворилася з науки про «вимірювання земель» у науку про взаємозв'язки. Праці цих геніїв заклали фундамент, на якому тримається сьогодні цифровий світ. Історичний ракурс еволюції поняття «функція» у поєднанні з цифровими інструментами допомагає учням зрозуміти важливість того, що без даного поняття ми б ніколи не прийшли до алгоритмів штучного інтелекту, які перетворюють математику у наймогутніший інструмент пізнання всесвіту.

### Список використаних джерел

1. Васильєва Д. В. Створення інтерактивного навчального контенту з математики засобами цифрових технологій: навч. посібн. Київ: Інститут педагогіки НАПН України, 2021. 84 с.
2. Раков С. А., Горох В. П. Дослідницьке навчання математики з використанням ІКТ: від гіпотези до моделі. *Комп'ютер у школі та сім'ї*. 2022. № 1. С. 15–23.
3. Семеніхіна О. В., Друшляк М. Г. Використання динамічних математичних середовищ у фаховій підготовці вчителя математики: монографія. Суми: Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2020. 256 с.
4. Слободянюк С. В. Роль візуалізації у формуванні поняття функції засобами програм динамічної математики. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Педагогіка*. 2023. № 2. С. 45–52.

## МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ 3-D МОДЕЛЕЙ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

**Яценяк Дарія Віталіївна**

асистент кафедри інформатики та методики її навчання  
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
yatsenyak\_dv@fizmat.tnpu.edu.ua

У практиці викладання комп'ютерної графіки й тривимірного моделювання нерідко виникає ситуація, коли здобувач освіти подає візуально привабливу рендерену картинку, яка справляє враження повністю виконаного завдання. Однак спроба імпортувати цю модель в інше програмне середовище для анімації, ігрової рушійної системи або підготовки до 3D-друку часто виявляє глибокі технічні дефекти. Геометрія може містити десятки дубльованих вершин, перевернуті нормалі, незіставлені грані або внутрішні перетини, які унеможливають подальше використання моделі без її повної перебудови. Проблема полягає в тому,

що студент зосередився на досягненні візуального ефекту, але не опанував критеріїв технічної коректності, які є обов'язковою складовою фахової компетентності.

Blender, FreeCAD, Fusion 360 та Tinkercad сьогодні доступні практично в кожному закладі освіти. Студенти швидко опановують базові інструменти, дивлячись відеоуроки, але система контролю якості створюваних моделей часто залишається поза увагою. Педагог, який не має методично обґрунтованих критеріїв оцінювання, змушений покладатися або на суто суб'єктивне враження гарного вигляду, або переносити в навчальне середовище вимоги комерційного виробництва, що є методично невиправданим.

Відповідно, проблема полягає не в наявності технічних засобів чи програмного забезпечення, а у відсутності системного підходу до контролю якості 3-D моделей як навчальних результатів. Викладачі потребують чітких орієнтирів, які дозволяють оцінювати не лише естетичну привабливість, а й технічну придатність моделі до подальшого використання, що зумовлює актуальність майбутніх досліджень, спрямованих на розробку методичних засад такого виду контролю.

Контроль якості 3-D моделей у навчальному процесі потребує розмежування двох принципово різних типів вимог. Перший – технічний – охоплює базові характеристики, які забезпечують коректне відображення, експортування та можливість подальшого використання моделі. До них належать відсутність розривів і незв'язних елементів у геометрії, коректна орієнтація нормалей, відсутність дубльованих вершин та внутрішніх перетинань. Другий тип – дидактичний – визначає, наскільки змодельований об'єкт відповідає поставленій меті та рівню підготовки здобувача. Навчальна модель має бути достатньо деталізованою, щоб передати досліджуваний об'єкт, але не перевантаженою зайвими елементами, які лише збільшують когнітивне навантаження без дидактичної потреби.

Як слушно зазначають дослідники в галузі CAD-моделювання Д. Іп-Хой та Дж. Вілсон, викликом для освіти є те, що формальні критерії оцінювання часто не здатні відобразити набуття студентом практичних навичок та творчих підходів до вирішення завдань [4]. Пряме перенесення промислових стандартів якості в навчальне середовище без їх попередньої адаптації знижує ефективність контролю через суттєву різницю в цілях і часових обмеженнях. Тому в наукових публікаціях все частіше порушується питання про необхідність розробки спеціальних освітніх рубрик та критеріїв оцінювання [2].

Психологічний аспект контролю якості часто залишається поза увагою методистів, хоча він також має важливе значення. Теорія когнітивного навантаження Джона Свеллера: «ефективне навчання відбувається, коли обсяг інформації не перевищує можливості робочої пам'яті» пояснює, чому початківець витрачає значну частину ресурсів робочої пам'яті на освоєння інтерфейсу програми, а не на розуміння навчального матеріалу. У практиці викладання це виявляється в тому, що студент може годину боротися з навігацією у 3D-просторі, так і не приступивши до побудови самого об'єкта. Крім того, просторове мислення розвинене нерівномірно в різних здобувачів освіти. Дослідження Й. Катона та Г. Надь Кем показали, що студенти з низьким рівнем просторового мислення

демонструють значно гірші початкові результати у 3D-моделюванні, однак при систематичному навчанні здатні його суттєво розвинути [3]. Контроль якості моделей на початковому етапі має орієнтуватися не лише на технічний результат, а й на прогрес конкретного здобувача освіти.

Взаємне оцінювання виконаної роботи зарекомендувало себе як ефективний інструмент формування контролю. М. Валларіно у співавторстві здійснив дослідження, присвячене застосуванню «перевернутого класу» й інструменту колегіальної оцінки у дистанційному навчанні 3D-моделювання в Blender. Було встановлено, що студенти, які оцінювали роботи одногрупників за рубрикою з трьох питань, демонстрували співрозмірний рівень строгості в самооцінюванні та в оцінюванні робіт інших [1]. Важливо, що така форма контролю формує в учасників навчального процесу здатність аргументувати оцінку та бачити власні помилки очима колеги.

Практичну реалізацію контролю якості доцільно організувати як поєднання трьох послідовних етапів. Перший – автоматизована перевірка за допомогою вбудованих інструментів програмного забезпечення. У Blender це модуль 3D Print Toolbox, який перевіряє модель на придатність для 3D-друку й виявляє помилки геометрії. У FreeCAD та Autodesk Fusion 360 аналогічні функції закладено у вбудовані аналізатори. Відповідний апаратний підхід дозволяє швидко відфільтрувати грубі помилки без безпосередньої участі викладача. Другий етап – візуальний контроль із використанням чек-листа. Варто опрацювати можливість отримання чек-листа студентами до початку роботи для подальшого заповнення його спочатку самостійно, а потім обмінюючись з колегою для взаємоконтролю. Третій етап – експертне оцінювання викладачем. Увага зосереджується на тих аспектах, які неможливо формалізувати: художня виразність, відповідність стилю завдання, оригінальність вирішення складних ділянок тощо.

Окремої уваги заслуговує інтеграція контролю якості в портфоліо студента. Якщо збірка виконаних робіт містить не лише фінальні варіанти проєктів, а й проміжні версії з коментарями, вже саме портфоліо перетворюється на навчальний документ, який відображає не тільки результат, а й процес мислення. Захист комплексного проєктно-орієнтованого зібрання доробок як форма підсумкового контролю є значно інформативнішою і мотивуючою процедурою, ніж традиційне підсумкове тестування чи залікове заняття із демонстрацією однієї фінальної роботи.

Проведений аналіз теоретичних, психологічних і методичних засад контролю якості 3-D моделей дає підстави стверджувати, що ефективна система оцінювання має ґрунтуватися на трьох взаємопов'язаних складниках. По-перше, чітких технічних критеріях якості, адаптованих до рівня підготовки здобувачів. По-друге, врахуванні психологічних закономірностей просторового сприйняття та впливу зворотного зв'язку на мотивацію. По-третє, методично обґрунтованій системі контролю, що включає автоматизовану перевірку, взаємоконтроль та експертне оцінювання викладача.

Систематичне використання чек-листів та критеріїв у навчальному процесі сприяє вищому рівню самоорганізації учасників навчального процесу, підвищенню об'єктивності самооцінювання та формуванню у студентів звички до самоперевірки перед поданням роботи. Зменшується суб'єктивний вплив

викладача під час оцінювання та створюються прозорі умови, за яких здобувач освіти розуміє, за якими саме критеріями оцінюватиметься його модель.

Перспективи подальших досліджень вбачаються у розробці автоматизованих систем перевірки якості 3D-моделей на основі машинного навчання, зокрема із застосуванням великих візуально-мовних моделей, які вже сьогодні демонструють здатність оцінювати якість геометрії та поверхонь без потреби в еталонному зразку для порівняння. Крім того, актуальним напрямом є дослідження того, як організація взаємного оцінювання та зворотного зв'язку впливає на якість навчальних 3D-моделей в умовах, коли викладач не має прямого доступу до робочого процесу студента.

### Список використаних джерел

1. A Flipped Remote Lab: Using a Peer Assessment Tool for Learning 3D Modeling / M. Vallarino et al. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2024. P. 1–18. URL: <https://doi.org/10.1109/tlt.2024.3358800> (дата звернення: 07.04.2026).
2. Felip F., Gual J. Construction of scale models in industrial design: *The irruption of additive manufacturing. Rubrics proposal for an objective evaluation. 11th International Conference on Education and New Learning Technologies*, Palma, Spain, 1–3 July 2019. URL: <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.0203> (дата звернення: 07.04.2026).
3. Katona J., Nagy Kem G. The CAD 3D course improves students' spatial skills in the technology and design education. *YBL Journal of Built Environment*. 2019. Vol. 7, no. 1. P. 26–37. URL: <https://doi.org/10.2478/jbe-2019-0002> (дата звернення: 07.04.2026).
4. Yip-Hoi D. M., Wilson J. P. Directions in Automating CAD Modeling Assessment. 2024 ASEE Annual Conference & Exposition, Portland, Oregon, 23–26 June 2024. URL: <https://doi.org/10.18260/1-2--47195> (дата звернення: 07.04.2026).