

УДК 378.147:51:004.9

DOI 10.31654/2663-4902-2026-PP-1-112-121

**Горошко О. Л.**

здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя  
ggmail@ndu.edu.ua  
orcid.org/0009-0003-6518-4832

**ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ  
ФОРМУВАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ СУБКОМПЕТЕНТНОСТІ  
МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ**

*У статті досліджується проблема формування візуальної субкомпетентності майбутніх учителів математики засобами адитивних технологій. На основі аналізу української та міжнародної наукової літератури, систематизації педагогічного досвіду та структурно-логічного аналізу обґрунтовано дидактичний потенціал 3D-моделювання та 3D-друку для розвитку просторового мислення, технологічної обізнаності та здатності до візуалізації абстрактних математичних понять. Уточнено зміст поняття «візуальна субкомпетентність» як інтегративної здатності педагога застосовувати візуальні моделі в освітньому процесі, окреслено її структуру (аналіз, створення, аргументація, оцінювання) та обґрунтовано її місце в структурі інформаційно-комунікаційної компетентності майбутнього вчителя математики. Узагальнення міжнародного досвіду (М. Теjera, Z. Lavicza та ін.) дало змогу виокремити три етапи формування зазначеної якості: параметричне проектування в CAD-системах (SolidWorks), підготовка до друку в слайсерах (Bambu Studio, Cura) і гаптичне пізнання готових моделей. Проаналізовано зв'язок між просторовим та геометричним мисленням майбутніх учителів. Запропонований дидактичний цикл корелює з рамкою ТРАСК, інтегруючи технологічний, педагогічний і предметний складники. Наукова новизна одержаних результатів полягає в уточненні поняття візуальної субкомпетентності в контексті використання адитивних технологій та розробці дидактичного циклу її формування, адаптованого до підготовки вчителів математики. Практичне значення дослідження полягає в тому, що запропонований цикл може бути впроваджений у закладах вищої педагогічної освіти для розвитку просторового мислення, навичок візуалізації, технологічної компетентності майбутніх учителів та реалізації STEM-підходу. Інтеграція адитивних технологій у підготовку вчителів математики дозволяє подолати розрив між абстрактним мисленням і гаптичним пізнанням, що відповідає вимогам компетентнісного підходу та концепції ТРАСК.*

*Ключові слова:* візуальна субкомпетентність; адитивні технології; 3D-моделювання; підготовка вчителів математики; STEM-освіта.

**Постановка проблеми.** У навчанні математики вже недостатньо просто знати матеріал, важливо вміти перетворювати складні абстракції на зрозумілі візуальні образи, використовуючи цифрові технології. Проблема педагогічної компетентності викладача завжди перебувала в центрі уваги дидактики [3], проте в умовах цифрової трансформації освіти вона набуває нових вимірів. Традиційні методи подання інформації (креслення, статичні графіки) не завжди здатні подолати когнітивні бар'єри під час вивчення стереометрії, математичного аналізу чи основ інженерного проектування. Виникає потреба формування у майбутніх учителів математики особливої якості – візуальної субкомпетентності, яка дозволяє створювати, інтерпретувати та

використовувати наочні образи як дидактичний засіб [4]. Попередні результати дослідження було апробовано на XII Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми в системі освіти: заклад загальної середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти» (Київ, 19 лютого 2026 р.)

Одним із найперспективніших напрямів для її розвитку є впровадження в освітній процес адитивних технологій (3D-моделювання та 3D-друку), що набуває особливої актуальності в контексті оновлених стандартів Нової української школи. Як зазначають О. Струтинська [7] та М. Хомутенко зі співавторами [8], саме тривимірне моделювання стає тим інструментом, що дозволяє поєднати абстрактне математичне мислення з конкретними проєктно-технологічними навичками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інтеграція 3D-технологій у педагогічну освіту є предметом активних міжнародних дискусій. Провідним центром цих досліджень є Університет Йоганна Кеплера (Лінц, Австрія) під керівництвом Z. Lavicza, де реалізується низка європейських проєктів (зокрема, 3D STEAM) [18]. Огляд робіт M. Tejera, S. Galiç та Z. Lavicza [17] засвідчив, що інтеграція 3D-моделювання та друку у підготовку вчителів сприяє розвитку практичних навичок, залученню студентів, але потребує комплексного підходу на основі рамки TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) для подолання ресурсних та організаційних викликів [17]. Важливість фокусу на педагогічному аспекті використання 3D-друку, а не лише на технологічному, підкреслюють у своєму огляді A. Aslan та Y. Çelik [9], наголошуючи на його ефективності для міждисциплінарних досліджень.

У математичній освіті 3D-технології, на нашу думку, виступають потужним інструментом для візуалізації абстрактних концепцій. Збірник праць міжнародного симпозиуму «Learning Mathematics in the Context of 3D Printing» за редакцією F. Dilling та співавторів демонструє широкий спектр можливостей, починаючи від вивчення Платонових тіл до інтегрального числення [10]. Огляд D. Nga та співавторів [15] підтверджує, що 3D-друк сприяє розвитку математичного, абстрактного та просторового мислення, а також креативності учнів. Дослідження S. Ford та T. Minshall аналізують де і як 3D-друк використовується в освіті, виокремлюючи ключові напрями застосування [11].

Важливим аспектом є розвиток просторового мислення майбутніх учителів. Дослідження K. Kuaw та T. Vidákovich [12] розкриває тісний зв'язок між просторовим та геометричним мисленням педагогів. Робота P. Surynková та співавторів [16] пропонує методи тестування та оцінювання просторових здібностей у підготовці вчителів математики.

Варто відзначити роботу T. Läuffer та M. Ludwig [13], які описують курс зі створення математичних маніпулятивів за допомогою 3D-принтера для студентів-математиків. A. Miranda [14] досліджував роль 3D-друку у формуванні концептуальних знань студентів.

Вагомий внесок у розробку теоретичних засад використання візуалізації в підготовці вчителів математики зробили вітчизняні дослідники. Питання педагогічної компетентності викладача було розглянуто в роботах Н. М. Лосєвої [3]. Зокрема, О. Семеніхіна у своїх працях ґрунтовно досліджує співвідношення понять наочності й візуалізації [1], класифікує комп'ютерні математичні інструменти та обґрунтовує модель формування професійної готовності майбутніх учителів математики до використання засобів комп'ютерної візуалізації [6]. О. Струтинська аналізує сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання [7]. М. Хомутенко та співавтори досліджують особливості формування проєктно-технологічної компетентності засобами 3D-моделювання [8]. У спільних дослідженнях із А. Юрченком та іншими авторами розроблено діагностичний апарат для визначення рівнів готовності вчителів до використання засобів віртуальної наочності [5]. Візуальна субкомпетентність розглядається як ключовий компонент педагогічної діяльності, що потребує цілеспрямованого формування [4]. Однак питання використання 3D-моделювання та

друку в підготовці майбутніх учителів математики в Україні залишається недостатньо вивченим.

**Мета статті.** Метою статті є теоретичне обґрунтування та розкриття дидактичного потенціалу використання адитивних технологій у процесі формування візуальної субкомпетентності майбутніх учителів математики, зокрема через реалізацію 3D-модельовання та друку навчальних об'єктів.

**Виклад основного матеріалу.** Поняття «візуальна субкомпетентність» учителя математики доцільно розглядати в межах інформаційно-комунікаційної компетентності як інтегративну здатність застосовувати візуальні моделі (статичні, динамічні, віртуальні, реальні) для полегшення сприйняття, розуміння та засвоєння учнями математичних понять, а також для розвитку їхнього просторового мислення [4]. Розвиток цієї якості є логічним продовженням формування загальної педагогічної компетентності викладача [3]. Запропоноване поняття корелює з досліджуваною О. Семеніхіною «професійною готовністю до використання засобів комп'ютерної візуалізації» [6], однак акцентує саме інтегративний характер здатності педагога застосовувати візуальні засоби як невід'ємний компонент його професійної діяльності. Як підкреслюють Р. Surynková та співавтори [16], розвинені просторові здібності, підкріплені володінням цифровими інструментами, є фундаментом для ефективного викладання геометрії та стереометрії. Крім того, дослідження К. Куав та Т. Vidákovich [12] доводять тісний зв'язок між просторовим та геометричним мисленням, що підкреслює необхідність цілеспрямованого розвитку цих якостей у майбутніх педагогів.

Структура візуальної субкомпетентності включає:

1. здатність до аналізу та інтерпретації візуальних образів;
2. уміння створювати власні візуальні моделі;
3. навички використання візуалізації як засобу аргументації та доведення;
4. критичне оцінювання наочності з дидактичної точки зору.

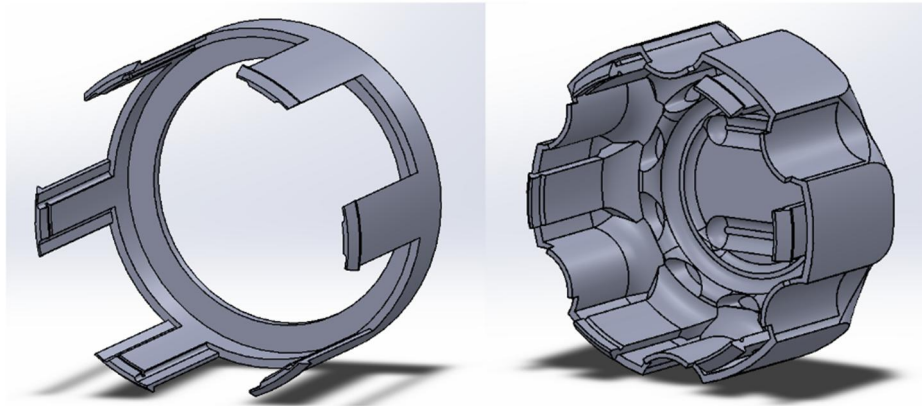
Аддитивні технології (процеси створення тривимірних об'єктів пошаровим додаванням матеріалу на основі цифрових моделей) виступають унікальним містком між абстрактним світом математичних формул і фізичною реальністю. Вони дозволяють реалізувати повний цикл пізнання: від ідеї до її матеріального втілення, що є ключовим для STEM-підходу. Спираючись на висновки Теjera та співавторів [17; 18], а також на практичні напрацювання Läufer та Ludwig [13] та Miranda [14], ми виокремлюємо три основні етапи формування візуальної субкомпетентності засобами 3D-друку, які відповідають логіці ТРАСК:

*1. Проектування, створення цифрової моделі.* На цьому етапі майбутні вчителі опановують системи автоматизованого проектування (CAD). Важливим аспектом підготовки є орієнтація на доступність технологій для закладів освіти, тому поряд із комерційними продуктами доцільно використовувати професійні CAD-системи, які надають безкоштовні освітні ліцензії (зокрема, SOLIDWORKS for Students, Autodesk Fusion 360, хмарна платформа Onshape) або повністю відкриті та базові веборієнтовані рішення (FreeCAD, Tinkercad). Окремо варто відзначити OpenSCAD, де модель задається програмним кодом. Це середовище особливо корисне для майбутніх учителів математики, оскільки дозволяє створювати параметричні моделі (наприклад, поверхні обертання) через написання алгоритмів, розвиваючи обчислювальне мислення.

Робота в параметричному середовищі вимагає точного задання розмірів, математичних залежностей і геометричних співвідношень. Створення моделі, наприклад, перерізу циліндра площиною або тіла обертання, перетворює стереометричне завдання на інженерну задачу з візуальним зворотним зв'язком. Студент не просто уявляє, а бачить результат зміни параметрів, що формує більш глибоке розуміння функціональних залежностей. Така діяльність розвиває варіативність і дослідницькі

навички, дозволяє експериментувати, спостерігаючи, як зміна кута або коефіцієнта впливає на форму об'єкта.

Наочний приклад розробки складного просторового об'єкта в CAD-середовищі наведено на рис. 1.



**Рис. 1. Параметричні 3D-моделі взаємодіючих елементів складеної просторової конструкції, спроектовані в CAD-середовищі**

На рис. 1 продемонстровано процес конструювання маніпулятива, що складається з кількох взаємодоповнюючих деталей. Створення такої моделі вимагає від не лише розуміння властивостей тіл обертання та осьової симетрії, але й здатності оперувати поняттями просторових допусків (зазорів) та збірок. Проектуючи такі елементи (де виступи однієї деталі мають геометрично точно входити в порожнини іншої), студент розвиває високий рівень просторової уяви. Це перетворює абстрактне стереометричне завдання на комплексну STEM-задачу, дозволяючи експериментувати з топологією об'єкта в режимі реального часу.

Як слушно зауважує О. Семеніхіна, комп'ютерні математичні інструменти поділяються на системи комп'ютерної математики (Maple, MatLab) та програми динамічної математики (GeoGebra), причому саме останні слід розуміти як засоби комп'ютерної візуалізації математичних знань, що передбачають динамічне оперування математичними об'єктами [1]. CAD-системи значно розширюють цей арсенал, дозволяючи створювати не лише динамічні, а й фізично втілювані моделі. Створені моделі експортуються у формат \*.STL для подальшої підготовки в слайсерах, що забезпечує цілісність технологічного процесу.

*II. Візуалізація процесу, інтерпретація.* Другий етап передбачає підготовку створеної цифрової моделі до фізичного друку в спеціалізованих програмах – слайсерах (від англ. slice – нарізати). Це програмне забезпечення перетворює тривимірну модель на набір двовимірних шарів і генерує керівний код (G-code) для 3D-принтера. У навчальному процесі доцільно використовувати популярні та безкоштовні слайсери, такі як Bambu Studio, Ultimaker Cura або PrusaSlicer. Звичайно, вибір конкретної програми залежить від наявного обладнання, але всі вони мають схожий набір базових функцій і зрозумілий інтерфейс, що дозволяє зосередитися на дидактичній складовій, а не на технічних тонкощах.

Саме на цьому етапі відбувається, за влучним висловом студентів, «магія» – програма наочно демонструє, як абстрактна тривимірна модель набуває фізичної структури, розбиваючись на сотні або тисячі тонких горизонтальних шарів. Студенти спостерігають, як складна просторова форма утворюється з послідовності плоских фігур. Така пошарова візуалізація допомагає краще зрозуміти будову об'єкта та, як зазначають Д. Нг та співавтори [15], є однією з ключових переваг 3D-друку в математичній освіті. Варто наголосити, що слайсер не просто «нарізає» модель, а й

оптимізує траєкторію руху друкувальної головки, що є прикладом чисельного розв'язання оптимізаційної задачі (так званої «задачі комівояжера») – студенти можуть дослідити, як порядок обходу точок впливає на час друку та якість поверхні.

*III. Завершальний етап – фізичне виготовлення моделі на 3D-принтері.* На цьому етапі відбувається матеріалізація цифрового образу – створення реального об'єкта за допомогою адитивного виробництва. Використання сучасних матеріалів, як-от High Speed PLA (полілактид, оптимізований для швидкісного друку), дозволяє отримати готовий маніпулятив упродовж одного заняття (1–2 академічні години, залежно від складності моделі). Це критично важливо, щоб цикл «проекування > друк > аналіз» проходив безпосередньо в аудиторних умовах. Окрім High Speed PLA, для освітніх цілей доцільно використовувати звичайний PLA, який є екологічним (виготовляється з кукурудзи), не має різкого запаху під час друку та не потребує спеціальної вентиляції. Це робить його ідеальним для використання в навчальних аудиторіях. Розширюючи можливості, можна також застосовувати PETG (міцніший матеріал, що вимагає вищої температури друку) або гнучкі матеріали (TPU), які дозволяють створювати різноманітніші маніпулятиви, наприклад, еластичні геометричні моделі. Під час обговорення матеріалів доцільно звернути увагу на такі параметри, як температура плавлення, усадка, міцність – пов'язати математичне моделювання з фізичними властивостями об'єктів.

Особливу увагу слід звернути на педагогічний потенціал гаптического пізнання – переходу від віртуального образу до реального, відчутного на дотик об'єкта. Майбутній учитель може не лише візуально оцінити, а й відчутно на дотик кривизну поверхні, з'єднати частини розрізаної моделі, перевірити стійкість геометричної конструкції. Цей етап виконує функцію «валідатора»: якщо математичні розрахунки на етапі проєкування були хибними, фізичний об'єкт або не надрукується, або матиме очевидні дефекти, змушуючи студента повернутися до аналізу помилки. Як слушно зауважує Р. Єременко, замість плоских зображень учні та студенти отримують реальні тривимірні ілюстрації алгоритмів [2]. Досвід впровадження подібних курсів, описаний Т. Läufer та М. Ludwig [13], свідчить про високу ефективність такого підходу для підготовки майбутніх учителів математики.



*Рис. 2. 3D-принтер Bambu Lab A1 у навчальній аудиторії*

На рис. 2 зображено 3D-принтер Bambu Lab A1, який використовується в освітньому процесі. Ця модель належить до класу швидкісних FDM-принтерів і підтримує друк матеріалами широкого спектру, включаючи High Speed PLA, що дозволяє скоротити час виготовлення моделей до 1–2 академічних годин. Важливою перевагою для навчальних закладів є автоматичне калібрування, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та можливість дистанційного керування через мобільний застосунок.

Це мінімізує технічні складнощі й дозволяє студентам зосередитися на дидактичній складовій – створенні математичних моделей та їх методичній інтерпретації.

Для забезпечення ефективної роботи в групі доцільно мати 2–3 принтери на аудиторію. Студенти працюють у мікрогрупах, почергово запускаючи друк своїх моделей. Поки один принтер друкує, інші студенти можуть аналізувати проміжні результати, готувати наступні моделі або вносити зміни, обговорювати спостереження. Студенти не лише краще засвоюють геометричний матеріал, а й набувають упевненості у використанні сучасних технологій, що безпосередньо впливає на їхню професійну самооцінку.

Запропонований цикл повністю корелює з рамкою TRACK, адже вимагає від майбутнього педагога інтеграції: технологічних знань (робота з CAD та принтером), педагогічних знань (усвідомлення того, як саме цей об'єкт буде використано на уроці для досягнення навчальної мети) та предметних (контентних) знань (глибоке розуміння математичної сутності змодельованого об'єкта) [17]. Це забезпечує перехід від простого «вміння користуватися принтером» до справжньої педагогічної майстерності у візуалізації навчального матеріалу.

Окремо варто відзначити соціальний та інклюзивний потенціал сформованої візуальної субкомпетентності. Створення 3D-моделей відкриває принципово нові можливості для навчання математики дітей з особливими освітніми потребами, зокрема з порушеннями зору. Для незрячих і слабозорих учнів тактильне дослідження надрукованих поверхонь, графіків функцій із рельєфними осями координат або просторових фігур часто є основним способом повноцінного опанування складного математичного матеріалу.

Майбутній учитель, який володіє технологіями 3D-друку, здатний самостійно створювати адаптовані дидактичні матеріали з урахуванням індивідуальних потреб учнів. Зокрема, на грані геометричних фігур можна додавати шрифт Брайля, що дозволяє незрячій дитині самостійно ідентифікувати форму та її властивості. Для дітей із порушеннями опорно-рухового апарату можна проєктувати моделі збільшеного розміру або зі спеціальними виїмками для зручного захоплення, що полегшує маніпуляцію.

Показовим прикладом є рельєфна система координат. Для вивчення теми «Графіки функцій» можна створити набір рельєфних координатних площин (2D) і просторів (3D) з піднятими осями та тактильними мітками. Учні з вадами зору можуть на дотик досліджувати хід лінії, відчувати точки перетину з осями, екстремуми. Це перетворює абстрактне рівняння на об'єкт фізично відчутної форми.

Водночас такі моделі корисні не лише для дітей з інвалідністю, а й для нормотипових учнів, оскільки залучають різні канали сприйняття. Мультисенсорний підхід (поєднання зору, дотику та слуху) підвищує рівень розуміння і запам'ятовування складних математичних понять.

Наочним прикладом такого адаптивного дидактичного інструменту є спроектований портативний набір стереометричних тіл (рис. 3).



Рис. 3. 3D-надрукований набір стереометричних тіл

Як видно з рис. 3, набір фізичних тіл виконує відразу кілька дидактичних функцій в умовах інклюзивного класу. По-перше, він дозволяє учням з порушеннями зору

безпосередньо взаємодіяти з геометричними формами, взяти до рук, дослідити їхні властивості на дотик. По-друге, наявність спеціального кейса з відповідними заглибленнями перетворює процес прибирання робочого місця на інтерактивну задачу з просторового зіставлення (сортування за формою), що є надзвичайно корисним для розвитку дрібної моторики та просторової уяви у дітей з особливими освітніми потребами.

Спільна робота над створенням тактильних матеріалів у студентській групі (майбутні вчителі проєктують моделі для конкретних дітей з ООП) формує важливі професійні якості: емпатію, розуміння індивідуальних освітніх траєкторій, готовність до роботи в інклюзивному класі. Це також сприяє руйнуванню стереотипів і створенню інклюзивної культури в закладі освіти.

У перспективі володіння 3D-технологіями дозволяє педагогу не просто використовувати готові посібники, а стати творцем інклюзивного освітнього середовища. Наприклад, можна розробити серію модулів для вивчення математики учнями з різними освітніми потребами, коли всі працюють з одними й тими самими моделями, але в різний спосіб: одні сприймають інформацію візуально, інші тактильно або через аудіоопис. Такий підхід відповідає принципам універсального дизайну в освіті.

Таким чином, візуальна субкомпетентність трансформується в потужний інструмент забезпечення рівного доступу до якісної освіти та формування інклюзивного освітнього середовища, що є одним із пріоритетів Нової української школи.

**Висновки.** Адитивні технології є потужним засобом формування візуальної субкомпетентності майбутніх учителів математики, оскільки вони поєднують у собі розвиток абстрактного, просторового мислення з конкретними навичками інженерного проєктування та матеріального втілення ідей. Використання CAD - систем формує строге параметричне мислення, робота зі слайсерами наочно ілюструє фундаментальні принципи математичного аналізу, а фізичний друк забезпечує миттєву перевірку гіпотез і тактильне сприйняття об'єкта. Отримані результати узгоджуються з висновками провідних міжнародних досліджень [11; 15; 17] та вітчизняних науковців [3 - 8] про ефективність цілеспрямованої підготовки майбутніх учителів математики до використання засобів комп'ютерної візуалізації. Дослідження просторових здібностей [12; 16] підкреслюють необхідність розвитку саме візуального компоненту мислення педагогів. Інтеграція повного циклу 3D-моделювання та друку в педагогічну підготовку, спираючись на рамку ТРАСК та враховуючи кращі міжнародні практики [17; 18], дозволяє готувати вчителів нової генерації, здатних ефективно реалізувати завдання STEM-освіти та стандарти Нової української школи. Перспективи подальших досліджень вбачаємо у розробці та експериментальній перевірці спеціалізованих методик навчання для різних розділів шкільної математики з використанням технологій 3D-друку.

#### Список використаних джерел

1. Бабич О., Семеніхіна О. До питання про співвідношення понять наочність і візуалізація. *Фізико-математична освіта*. 2014. № 2(3). С. 47–53.
2. Єременко Р. П. Застосування 3D-принтерів в навчальних закладах. На Урок. URL: <https://naurok.com.ua/zastosuvannya-3d-printeriv-v-navchalnih-zakladah-219477.html> (дата звернення: 18.02.2026).
3. Лосева Н. М. Педагогічна компетентність викладача. *Дидактика математики: проблеми та дослідження*. 2006. № 25. С. 209–213.
4. Лосева Н. М., Горошко О. Л. Педагогічна діяльність викладачів університетів у контексті формування та оцінювання візуальної субкомпетентності майбутніх учителів математики. *Наукові записки. Серія «Психолого-педагогічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*. 2025. № 1. С. 178–187. DOI: <https://doi.org/10.31654/2663-4902-2025-PP-1-178-187>.
5. Мулеса П., Юрченко А., Семеніхіна О. Діагностичний апарат дослідження результатів підготовки вчителів до використання засобів віртуальної наочності у професійній

діяльності. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2023. № 2(53). С. 94–99. DOI: <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2023.53.94-99>.

6. Семеніхіна О. В. Професійна готовність майбутнього вчителя математики до використання програм динамічної математики: теоретико-методичні аспекти : монографія. Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. 268 с.

7. Струтинська О. В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 2 : Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2018. Вип. 20 (27). С. 88–94.

8. Хомутенко М. В., Садовий М. І., Трифонова О. М., Курнат Г. Л. Особливості формування проєктно-технологічної компетентності засобами 3D-моделювання. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2020. № 191. С. 170–175. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2020-1-191-170-175>.

9. Aslan A., Çelik Y. A literature review on 3D printing technologies in education. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*. 2022. Vol. 6, No. 3. P. 592–613. DOI: <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1137028>.

10. Dilling F., Pielsticker F., Witzke I. (Eds.). Learning mathematics in the context of 3D printing: Proceedings of the international symposium on 3D printing in mathematics education. Springer Spektrum, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-38867-6>.

11. Ford S., Minshall T. Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*. 2019. Vol. 25. P. 131–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>.

12. Kyaw K. M., Vidákovich T. The relationship between spatial reasoning and geometric reasoning in teachers. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2025. Vol. 21, No. 8. Article em2584. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/16718>.

13. Läufer T., Ludwig M. «Building» knowledge by creating manipulatives with the 3D printer: A course for mathematics student teachers. *9th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'23)*. Universitat Politècnica de València, 2023. P. 127–135. DOI: <https://doi.org/10.4995/HEAd23.2023.16128>.

14. Miranda A. Exploring the role of 3D printing technology in supporting undergraduate students' topological conceptual knowledge. *Proceedings of the 16th International Conference on Technology in Mathematics Teaching (ICTMT 16)*. University of Athens, 2024. P. 245–252.

15. Ng D. T. K., Tsui M. F., Yuen M. Exploring the use of 3D printing in mathematics education: A scoping review. *Asian Journal for Mathematics Education*. 2022. Vol. 1, No. 3. P. 338–358. DOI: <https://doi.org/10.1177/27527263221129357>.

16. Surynková P., Moravcová V., Hromadová J., Robová J. Exploration of spatial abilities in pre-service mathematics teacher education: Testing and evaluation. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 147–159. DOI: <https://doi.org/10.7160/eriesj.2025.180301>.

17. Tejera M., Galiç S., Lavicza Z. 3D Modelling and printing in teacher education: A systematic literature review. *Journal for STEM Education Research*. 2026. Vol. 9, No. 1. P. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41979-025-00147-2>.

18. Ulbrich E., Tejera M., Schmid A., Sabitzer B., Lavicza Z. Fostering the Four C's: A gendered perspective on technology use in STEAM education. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 5. Article 528. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15050528>.

## References

1. Babych, O., & Semenikhina, O. (2014). Do pyannia pro spivvidnoshennia poniat naochnist i vizualizatsiia [On the question of the relationship between the concepts of clarity and visualization]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 2(3), 47–53 [in Ukrainian].

2. Yeremenko, R. P. (2023). Zastosuvannia 3D-printeriv v navchalnykh zakladakh [Application of 3D printers in educational institutions]. *Na Urok*. Retrieved February 18, 2026, from <https://naurok.com.ua/zastosuvannya-3d-printeriv-v-navchalnih-zakladah-219477.html> [in Ukrainian].

3. Losyeva, N. M. (2006). Pedahohichna kompetentnist vykladacha [Teacher's pedagogical competence]. *Dydaktyka matematyky: problemy ta doslidzhennia – Didactics of mathematics: problems and research*, 25, 209–213 [in Ukrainian].
4. Losyeva, N. M., & Horoshko, O. L. (2025). Pedahohichna diialnist vykladachiv universytetiv u konteksti formuvannia ta otsiniuvannia vizualnoi subkompetentnosti maibutnikh uchyteliv matematyky [Pedagogical activity of university teachers in the context of forming and assessing the visual subcompetence of future mathematics teachers]. *Naukovi zapysky. Seria «Psykhologo-pedahohichni nauky» (Nizhynskiy derzhavnyi universytet imeni Mykoly Hoholia) – Scientific notes. Series «Psychological and pedagogical sciences» (Nizhyn Gogol State University)*, 1, 178–187. DOI: <https://doi.org/10.31654/2663-4902-2025-PP-1-178-187> [in Ukrainian].
5. Mulesa, P., Yurchenko, A., & Semenikhina, O. (2023). Diahnostychnyi aparat doslidzhennia rezultativ pidhotovky vchyteliv do vykorystannia zasobiv virtualnoi naochnosti u profesiinii diialnosti [Diagnostic apparatus for researching the results of preparing teachers to use virtual visualization tools in professional activities]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seria: «Pedahohika. Sotsialna robota» – Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: «Pedagogy. Social work»*, 2(53), 94–99. DOI: <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2023.53.94-99> [in Ukrainian].
6. Semenikhina, O. V. (2016). *Profesiina hotovnist maibutnoho vchytelia matematyky do vykorystannia proham dynamichnoi matematyky: teoretyko-metodychni aspekty [Professional readiness of future mathematics teachers to use dynamic mathematics programs: theoretical and methodological aspects]* [Monograph]. Sumy: SumDPU imeni A. S. Makarenka [in Ukrainian].
7. Strutynska, O. V. (2018). Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku tekhnologii tryvymirnoho modeliuвання ta drukuvannia [Current state and prospects of development of 3D modeling and printing technologies]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seria 2 : Kompiuterno-orientovani systemy navchannia – Scientific journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 2: Computer-based learning systems*, 20(27), 88–94 [in Ukrainian].
8. Khomutenko, M. V., Sadovyi, M. I., Tryfonova, O. M., & Kurnat, H. L. (2020). Osoblyvosti formuvannia proektno-tekhnologichnoi kompetentnosti zasobamy 3D-modeliuвання [Peculiarities of forming project-technological competence by means of 3D modeling]. *Naukovi zapysky. Seria: Pedahohichni nauky – Scientific notes. Series: Pedagogical sciences*, 191, 170–175. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2020-1-191-170-175> [in Ukrainian].
9. Aslan, A., & Çelik, Y. (2022). A literature review on 3D printing technologies in education. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(3), 592–613 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1137028>.
10. Dilling, F., Pielsticker, F., & Witzke, I. (Eds.). (2022). *Learning mathematics in the context of 3D printing: Proceedings of the international symposium on 3D printing in mathematics education*. Springer Spektrum [in English]. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-38867-6>.
11. Ford, S., & Minshall, T. (2019). Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131–150 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>.
12. Kyaw, K. M., & Vidákovich, T. (2025). The relationship between spatial reasoning and geometric reasoning in teachers. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(8), em2584 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/16718>.
13. Läufer, T., & Ludwig, M. (2023). «Building» knowledge by creating manipulatives with the 3D printer: A course for mathematics student teachers. In *9th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'23)* (pp. 127–135). Universitat Politècnica de València [in English]. DOI: <https://doi.org/10.4995/HEAd23.2023.16128>.
14. Miranda, A. (2024). Exploring the role of 3D printing technology in supporting undergraduate students' topological conceptual knowledge. In *Proceedings of the 16th International Conference on Technology in Mathematics Teaching (ICTMT 16)* (pp. 245–252). University of Athens [in English].
15. Ng, D. T. K., Tsui, M. F., & Yuen, M. (2022). Exploring the use of 3D printing in mathematics education: A scoping review. *Asian Journal for Mathematics Education*, 1(3), 338–358 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.1177/27527263221129357>.

16. Surynková, P., Moravcová, V., Hromadová, J., & Robová, J. (2025). Exploration of spatial abilities in pre-service mathematics teacher education: Testing and evaluation *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 18(3), 147–159 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.7160/eriesj.2025.180301>.
17. Tejera, M., Galiç, S., & Lavicza, Z. (2026). 3D modelling and printing in teacher education: A systematic literature review. *Journal for STEM Education Research*, 9(1), 1–32 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41979-025-00147-2>.
18. Ulbrich, E., Tejera, M., Schmid, A., Sabitzer, B., & Lavicza, Z. (2025). Fostering the Four C's: A gendered perspective on technology use in STEAM education. *Education Sciences*, 15(5), 528 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15050528>.

---

### Horoshko O.

PhD student (third-level educational and scientific degree),  
Nizhyn Mykola Gogol State University  
ggmail@ndu.edu.ua  
orcid.org/0009-0003-6518-4832

### USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF DEVELOPING THE VISUAL SUBCOMPETENCE OF FUTURE MATHEMATICS TEACHERS

*The article explores the issue of developing the visual subcompetence of future mathematics teachers through additive technologies. Based on an analysis of Ukrainian and international scientific literature, systematization of pedagogical experience, and structural-logical analysis, the didactic potential of 3D modeling and 3D printing for enhancing spatial reasoning, technological literacy, and the ability to visualize abstract mathematical concepts is substantiated. The content of the concept "visual subcompetence" is clarified as the integrative ability of a teacher to apply visual models in the educational process; its structure (analysis, creation, argumentation, evaluation) is outlined, and its place within the structure of the future mathematics teacher's information and communication competence is substantiated. A synthesis of international experience (M. Tejera, Z. Lavicza, et al.) made it possible to identify three stages in the formation of this quality: parametric design in CAD systems (SolidWorks), preparation for printing in slicers (Bambu Studio, Cura), and haptic perception of finished models. The relationship between spatial and geometric reasoning in future teachers is analyzed. The proposed didactic cycle correlates with the TPACK framework, integrating technological, pedagogical, and content components. The scientific novelty of the obtained results lies in clarifying the concept of visual subcompetence in the context of using additive technologies and in developing a didactic cycle for its formation, adapted to the training of mathematics teachers. The practical significance of the research is that the proposed cycle can be implemented in institutions of higher pedagogical education for developing spatial reasoning, visualization skills, technological competence of future teachers, and implementing the STEM approach. The integration of additive technologies into mathematics teacher training helps bridge the gap between abstract thinking and haptic perception, which meets the requirements of the competence-based approach and the TPACK concept.*

*Key words:* visual subcompetence; additive technologies; 3D modeling; mathematics teacher education; STEM education.

Отримано редколегією / Received: 28.02.2026  
Прорецензовано / Revised: 12.03.2026  
Опубліковано / Published: 27.03.2026