

УДК 378.147.091.33:004.9

Цирульник Сергій Михайлович

кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та цифрової економіки
Вінницький національний аграрний університет
Вінницький технічний фаховий коледж, Вінниця, Україна
sovm@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5703-9761

Марцева Людмила Андріївна

доктор педагогічних наук, доцент
Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна
l.a.martseva@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5037-6565

Марцев Олексій Миколайович

аспірант кафедри психології та соціальної роботи
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Вінниця, Україна
martsev.aleksey@gmail.com
ORCID: 0009-0009-0151-7267

3D-ДРУК: ВІД ІДЕЇ ДО ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ

Анотація. Метою статті є аналіз сучасних тенденцій формування у майбутніх фахівців навичок проектування та реалізації 3D-друку і 3D-моделювання як важливого компоненту сучасного освітнього процесу закладів фахової передвищої та вищої освіти. Визначено, що формування у студентів компетентності реалізовувати 3D-друк від ідеї до фізичної моделі робить привабливим навчальний процес, формує професійну ідентичність майбутніх фахівців, сприяє конкурентноспроможності їх на сучасному ринку праці. У статті приділено увагу ефективним інтерактивним методам організації навчання студентів впродовж опанування технології 3D-друку та 3D-моделювання. Автори розглядають принципи створення просторових моделей та застосування їх у різних галузях господарства. Також у статті проаналізовано послідовність побудови моделей з метою їх редагування та подальшого використання. Приділено увагу інноваційним методам та підходам у підготовці студентів щодо ефективного засвоєння навчального матеріалу з питань 3D-друку та 3D-моделювання для формування необхідних професійних компетенцій. З'ясовано, що залучення студентів до 3D-моделювання зумовлено актуальними завданнями в контексті реформування в Україні системи фахової передвищої освіти, зокрема із зростанням популярності технологій тривимірного друку на сучасних промислових підприємствах, у сфері екології, сучасній медицині тощо. Автори наводять огляд етапів технології 3D-друку: технологія виготовлення, необхідні матеріали та практичні аспекти застосування. Особливу увагу приділено створенню цифрових 3D моделей засобами сервісу Tinkercad та засобами AI, обґрунтовано підходи до генерування 3D моделей сервісами Text-to-CAD, Image-to-CAD, онлайн сервіси підготовки та конвертації зображень до формату ST. Автори розглядають також важливість підготовки 3D моделі до друку: слайсинг, тестування, експорт; перебіг 3D-друку, що сприяє більш ґрунтовному засвоєнню навчального матеріалу студентами та формуванню у них відповідних компетентностей.

Ключові слова: професійна підготовка фахівців; сучасні інформаційні технології; фахова передвища освіта; 3D-друк; 3D-моделювання; Text-to-CAD; Image-to-CAD

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Сучасна професійна підготовка фахівців передбачає зміну до вимог та потреб ринкової економіки. Провідними напрямками нині стали компетентнісний та практикоорієнтований підходи підготовки фахових молодших бакалаврів, передбачених Державним стандартом. Провідною ідеєю компетентнісно-орієнтованого навчання є зміщення акцентів з процесу отримання знань, умінь, навичок відповідного спрямування на досягнення результатів навчання та формування компетентностей, що визначають здатність молодого фахівця виконувати завдання впродовж професійної діяльності. Таке переорієнтування

освітнього процесу в закладах освіти потребує студентоорієнтованого процесу навчання, унаслідок якого максимально приділяється увага особистості студента, його освітнім потребам та соціальним навичкам, які потрібні йому для успішної соціалізації в суспільстві. Стрімкий розвиток 3D-друку потребує досвідчених фахівців, що мають теоретичні знання та практичні навички, володіють сучасними інформаційними технологіями, що стали основою їх успішної професійної діяльності. Зокрема, для майбутніх фахівців знання з 3D друку охоплює такі аспекти: розвиток практичних навичок та компетентностей; актуалізація навчального процесу та підвищення його привабливості для здобувачів освіти та стейкхолдерів; розвиток міждисциплінарних зв'язків; підтримка науково-дослідницької діяльності здобувачів; формування професійної ідентичності та впевненості здобувача.

Аналіз наукових досліджень. Питання підготовки сучасної молоді до роботи з 3D-технологіями є предметом активного дослідження серед науковців та практиків, які визнають 3D-друк (адитивне виробництво) однією з наступних великих технологічних революцій, що кардинально змінює бізнес-моделі та виробничі процеси.

Наукові дослідження наголошують на значному педагогічному потенціалі 3D-друку, особливо в інженерній та технічній освіті. У роботі [1] автори досліджували використання швидкого прототипування (3D-друку) для підвищення якості викладання механічного проєктування та розвитку професійних компетентностей у студентів, що дозволяє їм пройти процес проєктування від аналізу зразка до механічного моделювання.

Автори Х. Лему та О. Міккельсен (Університет Ставангера) [2] вивчали роль 3D-друку в інженерній освіті та з'ясували, що ширше використання цієї технології у розробці продукції та 3D-моделюванні покращує освітній процес і підвищує рівень інноваційності. За їхніми оцінками, понад 80% студентів підтвердили, що використання фізичних 3D-виготовлених деталей сприяло кращому розумінню завдання та підтримало навчання.

У роботі [3] значну увагу приділено підвищенню впевненості вчителів у застосуванні інтегрованих стратегій STEM та 3D-технологій, що, своєю чергою, сприяє залученню учнів. Мелісса Дайхаус та її колеги розробили новий підхід 3D+MEA (Model-Eliciting Activities) для професійного розвитку вчителів K-12, який інтегрує 3D-моделювання та виготовлення в автентичні інженерні завдання.

У роботах [4-6] зазначено, що для роботи з 3D-технологіями необхідні знання цифрового моделювання. Це включає створення 3D-моделі у програмах CAD, експорт у формат STL, генерування G-коду за допомогою слайсер-програм. Знання CAD стає новою ключовою компетентністю.

Практики та науковці, які займаються впровадженням, також виділяють ключові напрями підготовки та застосування [7-11]:

- раннє впровадження технологій (спостерігається зростаюча тенденція використання 3D-друку на споживчих ринках; студенти інженерних спеціальностей часто володіють персональними 3D-принтерами);

- інженерні та промислові навички (3D-друк застосовується для швидкого прототипування, виготовлення інструментів – Rapid Tooling, прямого цифрового виробництва – Direct Digital Manufacturing та домашнього виробництва – Home Fabrication). Сучасна молодь повинна бути готовою працювати з адаптивними та «мобільними» бізнес-моделями, які стали можливими завдяки 3D-друку [6];

- застосування у сфері охорони здоров'я (у медицині 3D-друк використовується для візуалізації, освіти та комунікації. 3D-моделі застосовуються в освітньому процесі для практики хірургічних технік, що покращує точність і скорочує час навчання) [9];

- інтеграція з BIM (Building Information Modelling) [Ahmady Y] (інтеграція BIM у процес 3D-друку меблів значно скорочує час виробництва – з 2-3 тижнів до 3 днів – і

зменшує витрати, що підтверджує важливість набуття навичок роботи з цим інтегрованим програмним забезпеченням) [7].

Існують бар'єри, які ускладнюють повне впровадження 3D-технологій в освіту. Однією з найбільш поширених перешкод, яку відзначають викладачі [2], є відсутність 3D-принтера в класі та висока початкова вартість обладнання й матеріалів. Значним бар'єром є також час, необхідний для інтеграції 3D-друку в освітній процес, а також недостатній досвід використання 3D-принтерів у деяких викладачів.

Мета та завдання статті. Метою статті є аналіз сучасних тенденцій формування у майбутніх фахівців навичок проєктування та впровадження 3D-друку та 3D-моделювання як важливої складової сучасного освітнього процесу в закладах фахової передвищої та вищої освіти. Це включає розгляд ефективних інтерактивних методів навчання, принципів створення просторових моделей, їх застосування в різних галузях економіки, а також інноваційних підходів до підготовки здобувачів для підвищення їхньої конкурентоспроможності на ринку праці.

Основний текст статті. Сучасне та майбутні покоління конкурентоздатних фахівців потребують якісної динамічної освіти, тісно пов'язаної з їх майбутніми справами – як у професійній діяльності, так і в особистому житті, невід'ємною складовою яких стали інформаційно-комунікаційні технології. Вирішуючи комплекс різнопланових завдань, фахівці неминуче використовують різноманітні пристрої, що функціонують на основі комп'ютерної техніки [12, с. 269].

Реалізація різноманітних методів та підходів у підготовці майбутніх фахівців забезпечує формування в них необхідних професійних компетентностей, здатності критичного мислення та сприяє підвищенню якості підготовки фахівців до їх майбутньої професійної діяльності. Міждисциплінарність, візуалізація, технологізація в поєднанні з використанням цифрових технологій в освітньому процесі нині є ключовими тенденціями у викладанні природничих дисциплін. Практика доводить, що використання інтерактивних педагогічних форм і методик набуло великої популярності і забезпечує необхідну мотивацію студентів до навчання. 3D друк дозволяє швидко створювати прототипи, тестувати ідеї та вносити зміни, що є важливою навичкою для інженерів, дизайнерів та розробників.

Інформаційні технології стали важливою частиною освітнього процесу, де викладання навчальних дисциплін природничого циклу важко уявити без ефективного використання їхніх дидактичних та методичних можливостей, використання засобів сучасної електроніки, зокрема в технології 3D-друку.

Система професійної освіти також має готувати молоду людину до того, що їй на певному етапі доведеться змінити фах, оскільки такими є сучасні тенденції на сучасному ринку праці. Для конкурентних фахівців актуальними залишаються навички, пов'язані з описом, збереженням і передачею знань (технології knowledge representation, cognitive modeling, knowledge reasoning, automated reasoning, case-based reasoning). Технологія 3D-друку дозволяє студентам перетворювати отримані знання на конкретні фізичні об'єкти, поглиблює їх розуміння навчального матеріалу.

Одним із важливих та ефективних інтерактивних методів організації навчання студентів сьогодні є алгоритмічний метод, кейс-метод, метод мозкового штурму, метод групових дискусій тощо. Прогнозування ходу навчального процесу з використанням зазначених методів є умовою дидактично доцільної організації занять, що знімають нервову навантаження студентів, дає можливість змінювати форми їх діяльності, розвивають комунікативні уміння та навички.

Створення та візуалізація 3D-моделей є актуальними через швидкий розвиток сучасних інформаційних технологій, підготовки програмного забезпечення для створення та відображення віртуальних цифрових об'єктів. Комп'ютерна графіка

широко використовується нині у виробництві промислового обладнання (створення тривимірних моделей для виробництва складних деталей), підготовці програм для верстатів із числовим програмним керуванням), в ігровій індустрії тощо. Застосування 3D-моделювання у професійній підготовці студентів сприяє розширенню їх можливостей у STEM-освіті та спрямоване на вирішення практичних завдань з розробки проєктів, виконання наукових досліджень у їх професійній діяльності. Такий напрямок сприяє розвитку в здобувачів освіти критичного мислення, навичок командної роботи та формування цілісного уявлення про світ. Освоєння сучасних технологій. 3D друк є однією з ключових технологій сучасної промисловості (адитивне виробництво).

Цілком логічно, що формування основних компетентностей студентів потребує використання міждисциплінарного підходу шляхом об'єднання дисциплін технічного напрямку із дисциплінами гуманітарної, соціально-економічної та природничо-наукової підготовки. Узгодження навчальних програм, дидактичних цілей та змісту різних предметів, опанування методів та прийомів дослідження між науками дозволяє студентам комплексно використовувати в професійній діяльності свої вміння та навички з різних аспектів. А. М. Колот наголошує на тому, що «міждисциплінарність у найширшому її розумінні – це і глобальний тренд, і глобальна проблема, і глобальне завдання» [13, с. 82]. На нашу думку, застосування міждисциплінарного підходу у вивченні 3D-моделювання забезпечує інтеграцію методів та прийомів більше ніж з однієї академічної дисципліни для вивчення зазначеної теми та забезпечує формування міждисциплінарної компетентності. Процес 3D-друку тісно пов'язаний з такими дисциплінами, як комп'ютерне моделювання, матеріалознавство, основи проєктування, технології виробництва. Його використання сприяє інтеграції знань з різних предметів.

Сьогодні D-друк та 3D-моделювання застосовують для створення нових продуктів, розв'язання нестандартних завдань та реалізації власних ідей, що сприяє розвитку інноваційного потенціалу студентів. Тісний зв'язок 3D-моделювання з навчальним предметом «Креслення» прослідковується на початковому етапі, коли студенти аналізують будову 3D-моделі як сукупність геометричних тіл або їх частин перш, ніж виконувати зображення моделі за її аксонометричною проєкцією, двома її проєкціями тощо. Демонстрація роздрукованих на 3D-принтері моделей РНК і ДНК дидактично доречна на заняттях з навчального предмета «Загальна біологія».

Технологія FDM (Fused Deposition Modeling) передбачає поетапне формування об'єкта шляхом плавлення та послідовного нанесення термопластичного матеріалу у вигляді тонких шарів. У процесі друку матеріал (зазвичай пластик) нагрівається екструдером 3D-принтера до стану в'язкого розплаву, після чого наноситься на робочу платформу згідно з цифровою моделлю. Після нанесення кожного шару матеріал охолоджується та твердне, утворюючи цілісну тривимірну структуру. Таким чином, 3D-друк належить до адитивних технологій, оскільки об'єкти створюються шляхом послідовного додавання матеріалу, а не видалення його з масиву [5, 14-16].

Основним витратним матеріалом для FDM-друку є філамент – тонка термопластична нитка діаметром 1,75 мм, намотана на котушку. Філаменти відрізняються за матеріалом виготовлення, кольором, механічними властивостями та температурними параметрами плавлення. Найпоширенішим матеріалом для FDM-друку є полілактид (PLA), який вирізняється низькою вартістю, екологічною безпечністю, простотою оброблення та можливістю вторинної переробки. Для професійних застосувань, що потребують підвищеної міцності або термостійкості, використовуються також матеріали типу PETG, ABS, ASA, нейлон та інші полімери. Детальні характеристики й рекомендації щодо вибору матеріалів наведено у джерелах [5, 16].

Кожен матеріал має різну температуру плавлення, тому її необхідно правильно встановити в процесі 3D-друку. 3D-принтер нагріває в екструдері філамент до

температури для друку, тоді як для нагрівальної поверхні встановлюється така температура, щоб пластик добре до неї прилягав. Для PLA використовується температура екструдера 200-230 °C, а температура нагрівальної поверхні становить 60°C (відрізняється від виробника пластику).

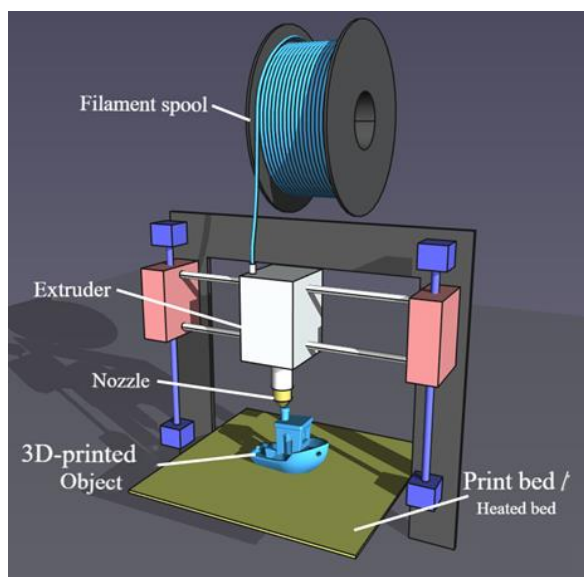


Рис. 1. Конструкція 3D принтера

Найважливішим компонентом є екструдер (головка, що друкує). У верхній частині екструдера є отвір, у який вставляється філамент. Всередині екструдера є дві шестерні, які «проштовхують» філамент вниз та контролюють його подачу. Філамент просувається далі вниз через Hotend («гарячий кінець»), у якому нагрівається пластик до температури плавлення. Розплавлений філамент продавлюється через сопло діаметром 0,4 мм. Після цього філамент проходить через секцію охолодження [15].

3D-друк можна уявити так: 3D-принтер спочатку працює як 2D-принтер. Розплавлений філамент проштовхується через сопло екструдера, а осі X і Y рухаються одночасно. Принтер «малює» перший, найнижчий шар на нагрівальній поверхні, як під час 2D друку. Як тільки перший шар надрукований, екструдер переміщується на невелику відстань (частки міліметра) у напрямку осі Z, а потім друкує другий шар поверх першого. Це продовжується поки не буде створено весь тривимірний об'єкт.

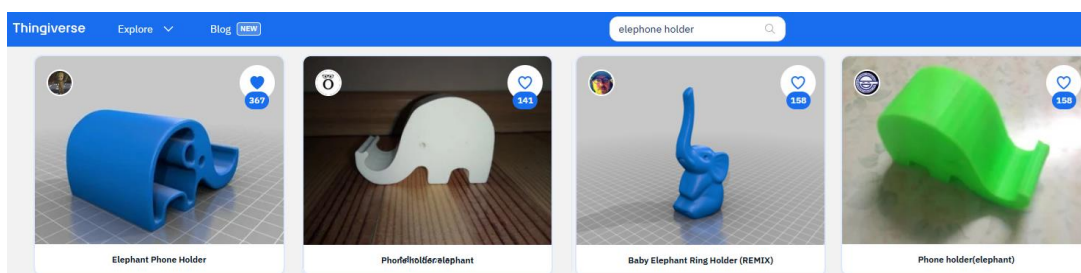


Рис. 2. Сервіс Thingiverse. Пошук моделі Elephone holder

Для 3D друку спочатку необхідна цифрова 3D модель об'єкта. Можна змоделювати або спроектувати 3D-моделі самостійно (за допомогою програмного забезпечення CAD) або завантажити готову модель з Інтернету [14, 16, 17]. Одним з популярних є ресурс Thingiverse (рис. 2) [18].

При завантаженні 3D-моделей з таких платформ слід звертати увагу, яку застосовано ліцензію «Creative-Commons» [15]. Для приватного використання це не так важливо. Як правило ліцензія вказується на відповідній сторінці для завантаження об'єкта (рис. 3).

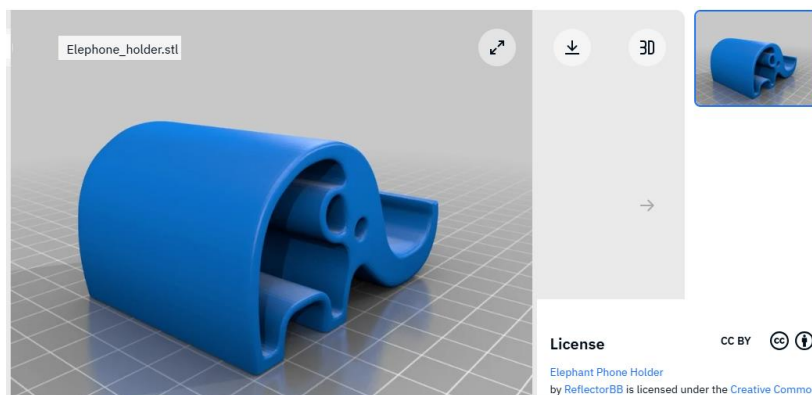


Рис. 3. Ліцензія Creative-Commons BY. 3D модель Elephant holder

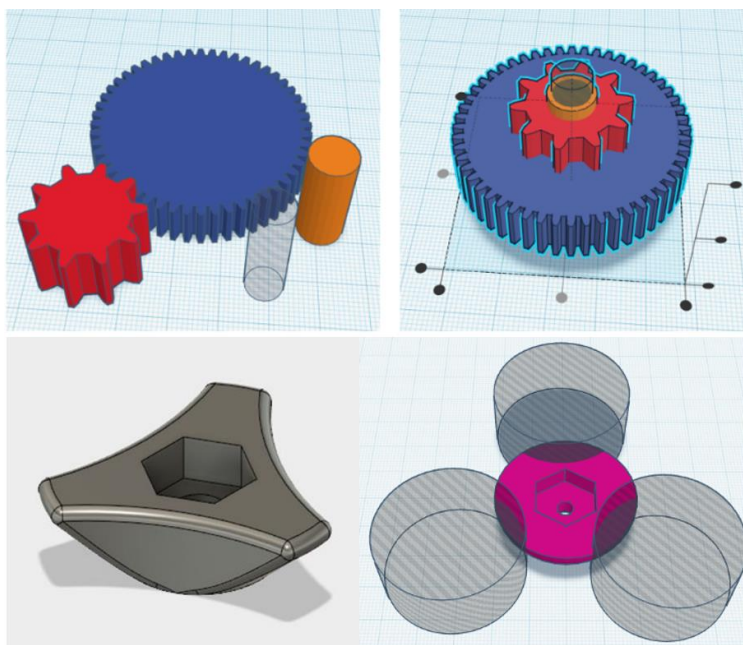


Рис. 4. Створення 3D-моделі в хмарному сервісі Tinkercad

Для більшості 3D-принтерів потрібні файли у форматі STL або OBJ. Майже кожна програма CAD може експортувати 3D-моделі у формат STL. Найбільш популярними є Tinkercad [17], Autodesk Fusion 360, Solid Works, Onshape [5]. На рис. 4 показана технологія створення 3D-моделі в хмарному сервісі Tinkercad.

Також сервіс Tinkercad дозволяє створювати 3D-моделі з 2D-моделі. Для цього потрібно мати малюнок моделі у форматі SVG. Для конвертації зображення з формату PNG у SVG використовуються Image online-convert [19]. На рис. 5 показаний процес створення 3D-моделі з 2D-моделі засобами Tinkercad.

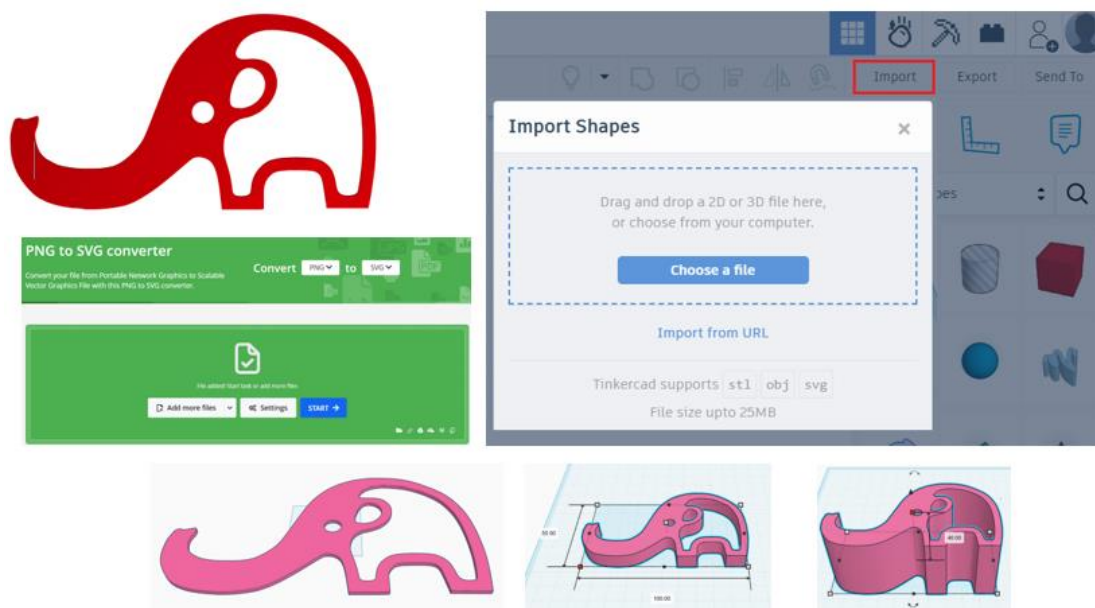


Рис. 5. Імпорт 2D моделі Elephant holder до сервісу Tinkercad

Ще один спосіб створення 3D-моделі – це застосування сервісів AI (рис. 6). Для цього використовується такий підхід. 3D зображення моделі додається до сервісу AI, наприклад, Chat GPT та створюється такий prompt: «Опиши малюнок для генерації в CAD у максимально подібно. Prompt має бути англійською мовою одним абзацем». Наступним кроком є застосування сервісу Text-to-CAD UI [20]. Результати генерації 3D зображення наведені на рис. 6.

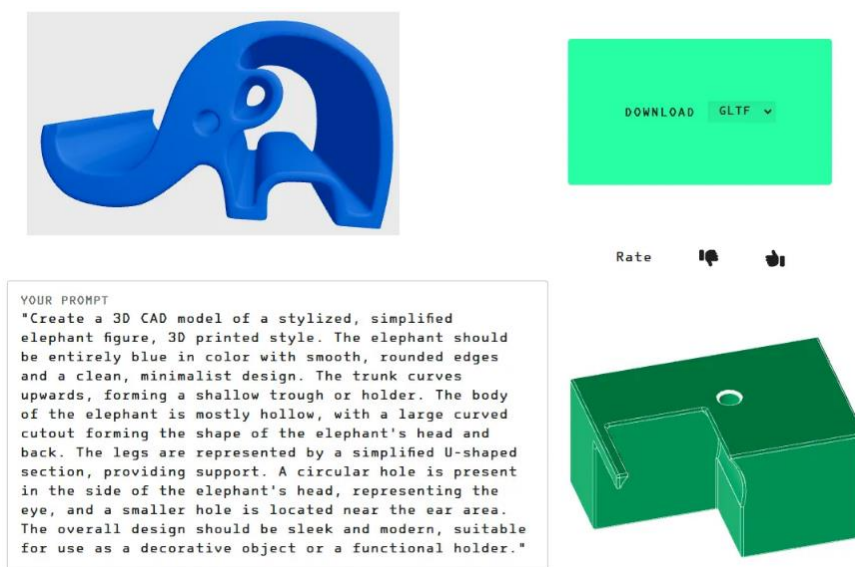


Рис. 6. Створення 3D моделі сервісом Text-to-CAD

Рис. 6 показує, що на сьогодні безоплатні сервіси Text-to-CAD не спроможні якісно генерувати 3D моделі. Наступний підхід – це генерація 3D моделей засобами Image-to-Cad. На перевірку даної технології спочатку скористуємось сервісом AI Dream Lab – Canva (рис. 7) [16].

Create a 3D CAD model of an elephant-shaped clip with an open, hollow body. The design should resemble an elephant with a curved tr...



Generate an STL file for a 3D printable stylized elephant figure. The model should consist of a single manifold solid body with no open e...



Рис.7. Створення безоплатної 3D-моделі засобами AI Dream Lab – Canva

Рис. 7 підтверджує, що такий підхід генерування 3D моделей має більш якісний результат. Генерування 3D моделі Elephone holder у сервісі Meshy.ai наведена на рис. 8 та на рис.9 у сервісі Huggingface.

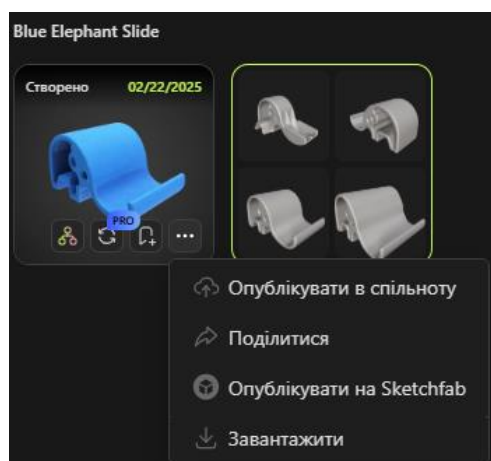


Рис. 8. Генерування 3D моделі Elephone holder засобами AI у сервісі Meshy

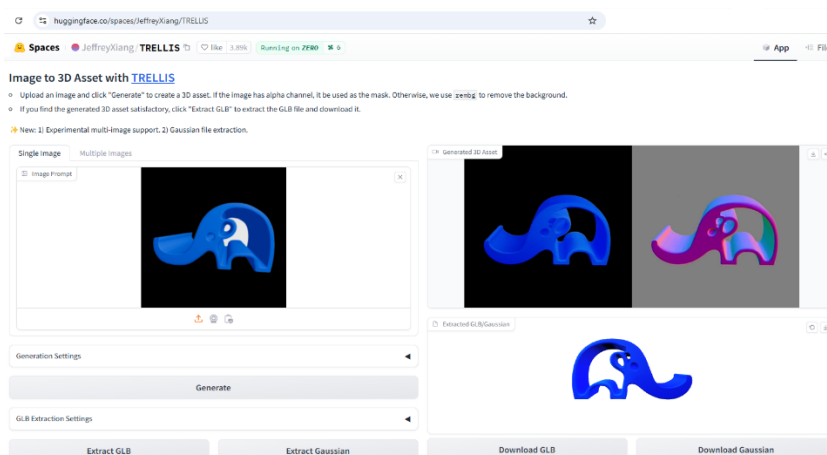


Рис. 9. Генерування 3D моделі Elephone holder засобами AI у сервісі Huggingface

Особливостями сервісу Meshy є відсутність можливості безоплатно завантажувати сгенеровані 3D моделі. Сервіс Huggingface дозволяє завантажувати сгенеровані 3D моделі у форматі GLB, тому для конвертації файлу у формат STL потрібно

скористуватись онлайн сервісом ImageToSTL [16].

Перед друком файл STL потребує обробки у програмному забезпеченні для слайсингу, яке на основі 3D-моделі створює багато маленьких шарів або зрізів, що накладаються одне на одного, та обчислює команди керування для 3D-принтера.

Існує багато різних програм для слайсингу. Кожний виробник 3D-принтерів має власне безоплатне програмне забезпечення для слайсерів. Найбільш розповсюдженими та універсальними є слайсери: UltiMaker Cura, PrusaSlicer [5, 15].

Програмне забезпечення слайсера надає можливість попереднього перегляду поля друку та імпортованих 3D об'єктів. За допомогою програмного забезпечення 3D об'єкти, які потрібно надрукувати, можна розмножувати (у разі якщо треба кілька разів надрукувати однаковий об'єкт), переміщувати віртуально в просторі, обертати, масштабувати (збільшувати/зменшувати) та розміщувати в бажаних положеннях на полі для друку.

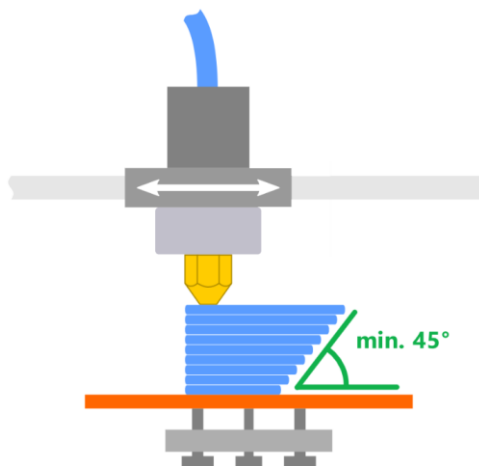


Рис. 10. Кут нахилу повинен бути не менше 45°

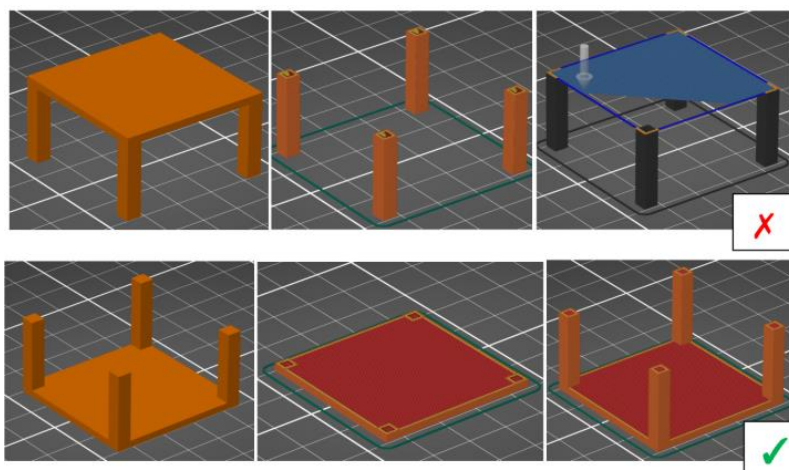


Рис. 11. Верхня картинка: можна надрукувати лише ніжки столу, але стільницю потрібно було б «надрукувати в повітрі», що не можливо.

Нижня картинка: перевернутий стіл, на якому не має звисань, і можна здійснити 3D-друк

3D-принтер не може друкувати «в повітрі». Тому, наприклад, стінка, яку слід надрукувати, в ідеалі повинна йти вгору під кутом 90°, хоча залежно від матеріалу можна робити стіну нахиленою, зазвичай під кутом до 45° (рис. 10). У такому разі край різних шарів трохи перекриватиметься. Більш гострі звисання неможливі. Ця проблема часто вирішується повертанням об'єкта у програмному забезпеченні слайсингу в більш вигідне

положення (рис. 11). Для об'єктів складнішої форми може не бути положення обертання без звисань; у такому випадку у програмному забезпеченні слайсера можна створити опорний матеріал підтримки. Його можна відносно легко видалити після 3D-друку.

Після перевірки слайсингу файл експортують у G-code. У G-кодi зазначено: температуру, до якої повинні нагріватися сопло та нагрівальна поверхня; положення, у яке має рухатися екструдер 3D-принтера (координати X, Y і Z); момент, коли саме шестерні повинні просувати філамент та виштовхувати його із сопла. G-код, згенерований програмним забезпеченням слайсингу, має бути передано на 3D-принтер [15, 16].

Перед початком 3D-друку рекомендується очистити нагрівальну поверхню, ізопропіловим спиртом або засобом для очищення скла. Це усуває невидимі залишки жиру, які можуть з'явитися, наприклад, через торкання поверхні для друку пальцями. Через рештки жиру філамент може некоректно лягати на поверхню.

На початку друку 3D-принтер сканує нагрівальну поверхню в різних місцях, щоб відкалібрувати Z-позиції. Після цього на краю нагрівальної поверхні друкується смужка довжиною в кілька сантиметрів (пробна або очисна лінія), яка необхідна для очищення сопла та щоб переконатися, що сопло повністю заповнене в'язким філаментом, добре пропускає матеріал і готове до друку. Потім друкується зовнішня лінія навколо площини (рамка), на якій мають з'явитися об'єкти. Рамка на початку друку дає уявлення про розмір об'єкта та дозволяє зрозуміти, чи добре лягає матеріал і чи не має проблем з його якістю. Після друку рамки та краю друкується перший шар об'єкта. Якщо виявиться, що перший шар виходить нечистим, наприклад, якщо філамент некоректно лягає в певних місцях (це можна визначити за невеличкими виступами на шарі), то потрібно скасувати друк, видалити вже видрукований матеріал, очистити нагрівальну поверхню, заново відкалібрувати Z-вісь і перезапустити друк. Якщо перший шар добре надрукований, то можна залишити 3D-принтер без нагляду.

Після завершення процесу 3D-друку екструдер переходить у положення, що дозволяє вийняти 3D-об'єкт. Багато 3D-принтерів мають знімну панель на поверхні для друку. Виймається вся панель, її потрібно легко зігнути та зняти об'єкти з панелі.

За потреби видаляють допоміжний матеріал підтримки. 3D-деталь можна доопрацьовувати, наприклад, зашліфувати, пофарбувати або обробити епоксидною смолою, щоб покращити зовнішній вигляд.

Висновки. Практика доводить, що 3D-друк у закладах освіти також дозволяє створити майже повний комплект моделей для виконання експериментального практикуму з освітньої компоненти «Фізика».

Провідною залишається роль викладача для осмислення студентами завдання опанувати навчальний матеріал дисциплін (мультидисциплінарне мислення) та провести комплексний аналіз етапів 3D-друку (міждисциплінарне мислення). Створення ефективного дизайну та використання 3D-моделей у галузях господарства країни потребує формування в студентів міждисциплінарної компетентності та міждисциплінарного підходу до вирішення завдань. Спираючись на здобуті знання, студенти поетапно визначають особистий навчальний поступ, виявляють прогалини в знаннях та звертаються за допомогою до викладача, щоб встановити напрямки їх подальшого саморозвитку в оволодінні навичками 3D-друку.

Допомагає в активізації здобувачів освіти на заняттях також проєктна діяльність студентів, яка спонукає їх виявляти інтелектуальні здібності, комунікабельні якості та здатність до самоорганізації в групі для реалізації спільного завдання. Така методика демонструє можливості розвитку навичок співробітництва між студентами, що стане нагодою для виконання групової роботи на виробництві. Метод проєктів передбачає здійснення діяльнісного підходу до професійної підготовки студентів, тому, на наш

погляд, є дієвим у вивченні особливостей 3D-друку та 3D-моделювання. Дослідники наголошують, що застосування проєктної діяльності на заняттях забезпечує активне залучення майбутніх фахівців до вирішення навчальних завдань та подальшого вдосконалення продуктивності їх професійної підготовки. Володіння проєктними технологіями забезпечує майбутньому фахівцю розвиток організаційно-управлінської та аналітичної функції, що є актуальним для конкурентоспроможного фахівця на сучасному ринку праці.

Робота з 3D-друком дозволяє студентам відчувати себе частиною технологічного процесу та сприяє формуванню відчуття причетності до сучасних технологій, підвищує їх самооцінку та їхню впевненість у власних професійних можливостях. Для освітнього закладу впровадження в навчальний процес освітньої компоненти «3D друк», на наш погляд, стає важливим кроком для підготовки конкурентоздатних та інноваційно мислячих майбутніх фахівців, робить навчальний процес цікавим, орієнтованим на потреби сучасного ринку праці.

Популяризація технологій 3D-друку за допомогою освітніх програм, творчих проєктів, майстер-класів, облаштування в закладах освіти високотехнологічних майстерень із сучасною навчально-виробничою інфраструктурою, організація виставок компаній-виробників нині є важливим завданням інформаційно-комунікаційних технологій у сучасному освітньому середовищі. Перспективами подальших досліджень може бути аналіз ефективності використання окресленої методики в закладах фахової передвищої освіти, розвитку в майбутніх фахівців інтелектуальних та творчих здібностей, опануванню студентами нових професій, необхідних для сучасного ринку праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Argüello J. M., Santos A. 3D printing as a tool for predicting the mechanical-functional behavior of components and mechanical systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 437. P. 012017. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/437/1/012017>.
2. Lemu H. G., Mikkelsen O. Experience in Use of 3D Printing in Engineering Education at University of Stavanger. Nordic Journal of STEM Education. 2021. Vol. 5, no. 1. URL: <https://doi.org/10.5324/njsteme.v5i1.3934>.
3. Dyehouse M. et al. A Novel 3D+MEA Approach to Authentic Engineering Education for Teacher Professional Development: Design Principles and Outcomes. Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER). 2018. Vol. 9, no. 1. URL: <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1168>.
4. Noorani R. et al. Design and Manufacturing of a 3D Printer for Teaching and Research . IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 652. P. 012058. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/652/1/012058>.
5. Shahrubudin N., Lee, T., Ramlan R. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. Procedia manufacturing. 2019. № 35. P.1286-1296. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.
6. Rayna T., Striukova L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technological Forecasting and Social Change. 2016. Vol. 102. P. 214-224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>.
7. Ahmady Y., Hatem A. A., Hassan D. M. Investigating the Use of 3D Printing and the Integration of BIM in Manufacturing Furniture Units. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2024. Vol. 1396, no. 1. P. 012013. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1396/1/012013>.

8. Zalloom B. From Concept to Reality: How 3D Printing Transforms Architectural Model-Making. The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics. 2024. Vol. 32. P. 568-574. URL: <https://doi.org/10.55549/epstem.1607034>.
9. Aimar A., Palermo A., Innocenti B. The Role of 3D Printing in Medical Applications: A State of the Art. Journal of Healthcare Engineering. 2019. Vol. 2019. P. 1-10. URL: <https://doi.org/10.1155/2019/5340616>.
10. Breznik K., Paoprasert N., Novak K., and Srisawadi S.. Polymer 3D printing: global research trends. Emerald Publishing Limited. Apr. 2024. URL: <https://doi.org/10.1108/rpj-07-2023-0248>.
11. Dobrzaska-Danikiewicz A. D. and Bczyk A. A review of additive manufacturing technologies. Archives of Materials Science and Engineering. Aug. 2024. URL: [10.5604/01.3001.0054.8755](https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.8755)
12. Литвин А.В. Інформатизація професійно-технічних навчальних закладів будівельного профілю: монографія. Львів : Компанія «Манускрипт», 2011. 498 с.
13. Колот А. М. Міждисциплінарний підхід як передумова розвитку економічної науки та освіти. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сер.: Економіка. 2014. № 5(158). С. 18-21.
14. Барановська І. Г., Барановський Д. М. Впровадження технологій 3D-моделювання в освітній процес підготовки здобувачів технічних та мистецьких спеціальностей. Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє Е-середовище сучасного університету». 2024. №17. С.1-17. URL: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2024.171>.
15. Цирульник С.М. 3D-друк від А до Я. Сучасні педагогічні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців у закладах фахової передвищої освіти: досвід, проблеми, перспективи: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Вінниця, 28 березня 2025 р.). Вінниця: ФОП Рогальська І. О., 2025. С. 152-155. URL: <https://tinyurl.com/2cxrqval>.
16. 3D-друк від А до Я. URL: <https://flawless-mayonnaise-78a.notion.site/3D-1b6f857480af80528022d61026766779>.
17. Цирульник С. М., Ткачук В. М., Роптанов В. І. Онлайн 3D редактор TINKERCAD. Матеріали XXXV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку»: Зб. наук. праць. Переяслав-Хмельницький, 2017. Вип. 35. С.131-136. URL: <https://tinyurl.com/2xvtol9d>
18. Thingiverse. Print the practical. URL: <https://www.thingiverse.com>
19. Image online-convert. URL: <https://image.online-convert.com/convert-to-svg>
20. Text-to-CAD UI. URL: <https://text-to-cad.zoo.dev>

Матеріал надіслано до редакції 09.04.2025 р.

Затверджено до друку 27.11.2025 р.

3D PRINTING: FROM AN IDEA TO A PHYSICAL MODEL

Serhii Tsyruhnyk

PhD (technical sciences), Associate Professor of the Computer Science and Digital Economy Department,
Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia Technical Applied College, Vinnytsia, Ukraine
sovm@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5703-9761

Liudmyla Martseva

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
l.a.martseva@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5037-6565

Oleksii Martsev

Postgraduate student of Psychology and Social Work Department
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Vinnytsia, Ukraine
martsev.aleksey@gmail.com
ORCID: 0009-0009-0151-7267

Abstract. The purpose of this article is to analyze current trends in the formation of future specialists' skills in design and implementation of 3D printing and 3D modeling as an important component of the modern educational process in professional pre-higher and higher education institutions. It is determined that developing students' competence to implement 3D printing from an idea to a physical model makes the educational process attractive, forms the professional identity of future specialists, and promotes their competitiveness in the modern labor market. The article addresses effective interactive methods of organizing students' learning during the process of mastering 3D modeling technology. The authors examine the principles of creating spatial models and their use in various sectors of the economy. The article also analyzes the sequence of model construction for editing and subsequent use. The authors highlight innovative methods and approaches in students' preparation for the effective acquisition of educational 3D printing and 3D modeling material to form the necessary professional competencies. It is found that students' involvement in 3D modeling is due to urgent tasks in the context of the reformation of the Ukrainian professional pre-higher education system, and the increasing popularity of three-dimensional printing technologies in modern industrial enterprises, in the field of ecology, modern medicine, etc. The authors give an overview of 3D printing technology, covering manufacturing methods, necessary materials, and practical aspects of use. Special attention is paid to the creation of digital 3D models using TINKERCAD and AI services. The approaches for 3D model generation using Text-to-CAD and Image-to-CAD services are demonstrated, and online services for preparation and converting images to the STL format are substantiated. Moreover, the authors discuss the importance of preparing 3D models for printing, including slicing, testing, and export; the 3D printing process that contributes to more thorough acquisition of the educational material by students and the development of appropriate competencies.

Keywords: professional training of specialists; modern information technologies; professional pre-higher education; 3D printing; 3D modelling; Text-to-Cad; Image-to-Cad

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Argüello, J. & Santos, A. (2018). 3D printing as a tool for predicting the mechanical-functional behavior of components and mechanical systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 437, P. 012017.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/437/1/012017>.
2. Lemu H. & Mikkelsen, O. (2021) Experience in Use of 3D Printing in Engineering Education at University of Stavanger. *Nordic Journal of STEM Education*, Vol. 5, no. 1.
<https://doi.org/10.5324/njsteme.v5i1.3934>.
3. Dyehouse M. et al. (2018). A Novel 3D+MEA Approach to Authentic Engineering Education for Teacher Professional Development: Design Principles and Outcomes. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, Vol. 9, no. 1.
<https://doi.org/10.7771/2157-9288.1168>.
4. Noorani R. et al. (2019). Design and Manufacturing of a 3D Printer for Teaching and Research. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 652, P. 012058.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/652/1/012058>.

5. Shahrubudin, N., Lee, T., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia manufacturing*, № 35, P.1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.
6. Rayna, T. & Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 102, P. 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>.
7. Ahmady, Y., Hatem, A. & Hassan, D. (2024). Investigating the Use of 3D Printing and the Integration of BIM in Manufacturing Furniture Units. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1396, no. 1, P. 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1396/1/012013>.
8. Zalloom, B. (2024). From Concept to Reality: How 3D Printing Transforms Architectural Model-Making. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, Vol. 32, P. 568-574. <https://doi.org/10.55549/epstem.1607034>.
9. Aimar, A., Palermo, A. & Innocenti, B. (2019). The Role of 3D Printing in Medical Applications: A State of the Art. *Journal of Healthcare Engineering*, Vol. 2019, P. 1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/5340616>.
10. Breznik, K., Paoprasert, N., Novak, K., & Srisawadi, S. (2024). Polymer 3D printing: global research trends. Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/rpj-07-2023-0248>.
11. Dobrzaska-Danikiewicz, A. & Bczyk, A. (2024). A review of additive manufacturing technologies. *Archives of Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.8755>.
12. Lytvyn, A. (2011). Informatization of vocational and technical educational institutions of the construction profile: monograph. Lviv: «Manuskrypt», 2011. 498 p. (in Ukrainian).
13. Kolot, A. (2014) Interdisciplinary approach as a prerequisite for the development of economic science and education. *Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Economics*. № 5(158), 18-21 (in Ukrainian).
14. Baranovska, I. & Baranovskyi, D. (2024). Introduction of 3D modeling technologies into the educational process of training applicants for technical and artistic specialties. *Electronic Scientific Professional Journal «Open educational e-environment of modern University»*, №17, 1-17. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2024.171> (in Ukrainian).
15. Tsyurulnyk, S. (2025). 3D printing from A to Z. In *Proceedings of the VI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Modern pedagogical technologies and innovative teaching methods in the training of specialists in institutions of professional pre-higher education: experience, problems, prospects»*. Vinnytsia: FOP Rohalska I. O., 152-155. <https://tinyurl.com/2cxrqval> (in Ukrainian).
16. 3D printing from A to Z (2025). <https://flawless-mayonnaise-78a.notion.site/3D-1b6f857480af80528022d61026766779> (in Ukrainian).
17. Tsyurulnyk, S., Tkachuk, V., & Roptanov, V. (2017). Online 3D editor TINKERCAD. In *Proceedings of the XXXV All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference «Domestic Science at the Turn of Epochs: Problems and Prospects for Development»*. Pereyaslav-Khmelnyskyi. № 35, 131-136 (in Ukrainian).
18. Thingiverse (2025). Print the practical. February 17, 2025. <https://www.thingiverse.com>.
19. Image online-convert (2025). February 17, 2025. <https://image.online-convert.com/convert-to-svg>.
20. Text-to-CAD UI (2025). February 17, 2025. <https://text-to-cad.zoo.dev>.