

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка**

Інженерно-педагогічний факультет

Кафедра комп'ютерних технологій

Кваліфікаційна робота

**МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ
КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ ДО ЗАСТОСУВАННЯ
АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Спеціальність 015 Професійна освіта
Спеціалізація 015.39 Цифрові технології

**Освітня програма
«Професійна освіта (Комп'ютерні технології)»**

ВИКОНАВ:

здобувач вищої освіти
освітнього рівня «магістр»
ГЕВКО Олег Євгенович

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

доктор педагогічних наук, доцент
ПОТАПЧУК Ольга Ігорівна

РЕЦЕНЗЕНТ:

Робота захищена з оцінкою:

Національна шкала _____

Кількість балів: ____ Оцінка: ECTS ____

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка
Інженерно-педагогічний факультет
Кафедра комп'ютерних технологій

ЗАВДАННЯ
ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
ГЕВКУ Олегу Євгеновичу

на тему:
«Методика підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій»

Спеціальність: 015 Професійна освіта

Спеціалізація: 015.39 Цифрові технології

Освітньо-професійна програма: Професійна освіта (Комп'ютерні технології)

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК: доктор педагогічних наук, доцент,
Потапчук Ольга Ігорівна.

Термін подання роботи і супроводжувальних документів:
до 5.12.2025 року

Зміст (перелік основних питань, які потрібно розкрити):

1. Проаналізувати теоретичні засади підготовки фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій.
2. Розкрити алгоритм виготовлення тривимірних об'єктів за допомогою середовища Bambu Studio.
3. Розробити методику підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій.
4. Перевірити ефективність запропонованої методики у освітньому процесі.

Перелік додаткових матеріалізованих результатів роботи: рисунки, таблиці, графіки.

ГРАФІК ПІДГОТОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

№ з/п	ПЕРЕЛІК РОБІТ	Термін виконання		Відмітка про виконання
		I рік навч. (2024-2025)	II рік навч. (2025-2026)	
1	Вибір теми, затвердження її на засіданні кафедри, закріплення наукового керівника	жовтень-листопад		
2	Складання плану роботи і графіку її підготовки, узгодження з науковим керівником	листопад		
3	Вивчення літературних і електронних джерел, збір та узагальнення фактів, даних	жовтень-січень		
4	Розробка методики дослідження. Проведення пошукового дослідження	грудень-березень		
5	Написання розділу 1, подання його для перевірки керівнику	травень		
6	Написання розділів 2–3, подання для перевірки керівнику		вересень-жовтень	
7	Завершення написання роботи, оформлення її згідно з вимогами, подання науковому керівнику		листопад	
8	Подання роботи на зовнішнє рецензування		листопад	
9	Попередній захист роботи на засіданні кафедри		листопад	
10	Подання кваліфікаційної роботи та супроводжувальних документів		грудень	
11	Захист роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		за розкладом	

Графік узгоджено: «24» жовтня 2024 р.

Науковий керівник _____ Потапчук О. І.
(підпис)

Виконавець кваліфікаційної роботи _____ Гевко О. Є.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Гевко О. Є. Методика підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій. – Кваліфікаційна робота за спеціальністю 015 Професійна освіта спеціалізації 015.39 Цифрові технології. Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка. Тернопіль, 2025. – 66 с.

У магістерській роботі проаналізовано теоретичні засади підготовки фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій. Розкрито алгоритм виготовлення тривимірних об'єктів за допомогою середовища Bambu Studio. Розроблено методику підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій. Проведено педагогічний експеримент та обґрунтовано ефективність застосування запропонованої методики в освітньому процесі.

Робота складається з 59 сторінок основного тексту, який включає 13 рисунків, 5 таблиць та додатків на 7 сторінках.

Ключові слова: освітній процес, фахівців комп'ютерного профілю, адитивні технології, методика підготовки.

ANNOTATION

Hevko O. E. Methodology for training future computer specialists in the use of additive technologies. – Qualification work in the specialty 015 Professional education specialization 015.39 Digital technologies. Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University. Ternopil, 2025. – 66 p.

The master's thesis analyzes the theoretical principles of training computer specialists in the use of additive technologies. The algorithm for manufacturing three-dimensional objects using the Bambu Studio environment is disclosed. A methodology for training future computer specialists in the use of additive technologies has been developed. A pedagogical experiment is conducted and the effectiveness of the proposed methodology in the educational process is substantiated.

The work consists of 59 pages of the main text, which includes 13 figures, 5 tables and appendices on 7 pages.

Keywords: educational process, computer specialists, additive technologies, training methodology.

ЗМІСТ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ ДО ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	12
1.1. Адитивні технології як сучасний напрям розвитку цифрового виробництва.....	12
1.2. Характеристика сучасних технологій 3d-друку	26
1.3. Підготовка фахівців комп'ютерного профілю: сучасні вимоги та компетентності	17
1.4. Педагогічні засади підготовки комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій.....	21
Висновки до першого розділу	24
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ ДО ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	26
2.1. Аналіз стану підготовки студентів до роботи з адитивними технологіями.....	35
2.2. Розроблення методики навчання адитивних технологій майбутніх фахівців комп'ютерного профілю	38
2.3. Експериментальна перевірка ефективності методики.....	48
Висновки до другого розділу.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ.....	60

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

АТ – адитивні технології

ОП – освітня пррорама

ПК – персональний комп'ютер

ПЗ – програмне забезпечення

ЕГ – експериментальна група

КГ – контрольна група

ВК – вхідний контроль

ПК – підсумковий контроль

ВСТУП

Стрімкий розвиток цифрових технологій, поширення індустрії 4.0 та формування нової парадигми виробництва зумовили значне зростання ролі адитивних технологій у сучасній економіці. 3D-друк, як одна з ключових адитивних технологій, сьогодні використовується в машинобудуванні, архітектурі, медицині, авіаційній галузі, сфері послуг, освіті та наукових дослідженнях. Це вимагає від фахівців комп'ютерного профілю не лише високого рівня цифрової компетентності, а й здатності працювати з інноваційним програмним забезпеченням, 3D-моделями, матеріалами та обладнанням.

Незважаючи на активне впровадження 3D-друку у світовій практиці, в Україні підготовка фахівців до роботи з адитивними технологіями ще перебуває на етапі становлення [1]. Аналіз освітніх програм свідчить про недостатнє опрацювання змістових модулів, спрямованих на формування компетентностей у галузі 3D-моделювання та цифрового виробництва, а також про брак методичних матеріалів, лабораторних робіт і педагогічних технологій, які б забезпечували системну та практико-орієнтовану підготовку студентів [13].

Сучасний ринок праці висуває нові вимоги до майбутніх ІТ-фахівців, очікуючи від них здатності не лише створювати цифрові об'єкти, а й інтегрувати їх у реальні технологічні процеси, застосовувати моделювання для розв'язання прикладних інженерних задач і здійснювати виробничий цикл «від ідеї – до готового продукту». Формування таких умінь можливе лише за наявності науково обґрунтованої методики навчання адитивних технологій у закладах вищої освіти [19].

Актуальність обраної теми посилюється необхідністю модернізації змісту професійної освіти, упровадження інноваційних технологій навчання,

підготовки конкурентоспроможних фахівців та створення умов для інтеграції української освітньої системи у європейський і світовий простір.

Проблематика впровадження адитивних технологій у професійну підготовку майбутніх фахівців комп'ютерного профілю активно досліджується у світовому й українському науковому просторі протягом останнього десятиліття. Аналіз наукових джерел дає змогу окреслити основні напрямки досліджень, які формують теоретичне й методичне підґрунтя підготовки фахівців до застосування адитивних технологій.

У світовому науковому просторі дослідження адитивних технологій дозволяє систематизувати ключові підходи до навчання майбутніх фахівців комп'ютерного профілю. Вивченню окремих питань, зокрема, впливу 3D-друку на інноваційний розвиток, інтелектуальну власність, присвячені публікації іноземних учених, зокрема: С. Бехтольд, А. Гурко, К. Джуелл, Б. Депортер, Д. Мендіс і вітчизняних науковців: Г. Андрощука, А. Гречко, Д. Дубова, О. Кронди, С. Чернишова та інших [13].

Дослідження українських авторів передусім зосереджені на технічних, організаційних та методичних аспектах упровадження адитивних технологій в освіту та виробництво. Так, О. Згалат-Лозинський одним із перших здійснив комплексний огляд стану розвитку адитивних технологій в Україні, описав еволюцію методів 3D-друку, характеристику обладнання, матеріалів та визначив ключові напрями їхнього застосування. Н. Дерев'янка акцентує увагу на методичних моделях впровадження 3D-друку у підготовку комп'ютерних спеціалістів. Авторка аналізує освітній потенціал 3D-моделювання як засобу розвитку просторового мислення, навичок професійної візуалізації та алгоритмічного мислення, що є важливим для фахівців ІТ-галузі. І. Гевко, О. Потапчук, І. Луцик, Т. Сіткар досліджували проблему формування практичних навичок моделювання та друку тривимірних об'єктів у процесі професійної підготовки ІТ-фахівців [27].

Загалом такі дослідження характеризуються міждисциплінарністю, проте все ще орієнтовані переважно на технічні аспекти й потребують розширення педагогічного компоненту, особливо формування професійних компетентностей та оцінювання результатів навчання. Багатогранність і комплексність проблематики потребує подальших досліджень.

Попри значну увагу науковців до окремих аспектів проблеми, недостатньо розробленою залишається методика підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій в професійній діяльності.

Така необхідність спонукає до удосконалення процесу навчання майбутніх фахівців комп'ютерного профілю та обумовлює вибір теми дослідження: ***«Методика підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій».***

Об'єктом дослідження є процес підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій у професійній діяльності.

Предметом дослідження – методика підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій, на прикладі середовища Bambu Studio.

Метою дослідження є обґрунтувати методику підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій у професійній діяльності та перевірити її ефективність в освітньому процесі.

Відповідно до поставленої мети дослідження визначено такі завдання:

1. Проаналізувати теоретичні засади підготовки фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій.
2. Розкрити алгоритм виготовлення тривимірних об'єктів за допомогою середовища Bambu Studio.
3. Розробити методику підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій.

4. Перевірити ефективність запропонованої методики у освітньому процесі.

Методи дослідження: теоретичні (аналіз, узагальнення літературних джерел і проектування методичного забезпечення); емпіричні (педагогічне спостереження, анкетування, опитування, педагогічний експеримент).

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованої методики підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій у практику закладів освіти, що готують фахівців за спеціальністю «Професійна освіта» спеціалізації «Цифрові технології», а також суміжних спеціальностей.

Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає в удосконаленні методики підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій у професійній діяльності.

Набуло подальшого розвитку змістове наповнення та технології проведення занять з дисципліни «Інженерна комп'ютерна графіка» через застосування методу проєктів, який передбачає спрямування завдань на вирішення прикладних задач.

Апробація результатів дослідження. Участь у V Міжнародній конференції *«Моделі міждисциплінарних та міжгалузевих освітніх та освітньо-наукових програм в умовах воєнного стану: виклики та варіанти впровадження»* (м. Одеса, 10–12 жовтня 2025 року.). За результатами конференції опубліковано тези на тему: «Аналіз проблеми підготовки студентів комп'ютерних спеціальностей до застосування адитивних технологій» (Додаток А).

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ ДО ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1. Адитивні технології як сучасна тенденція цифровізації суспільства

Адитивні технології (АТ) є одним із ключових напрямів розвитку сучасного цифрового виробництва та важливим компонентом індустріальної трансформації у межах концепції Індустрії 4.0. Вони ґрунтуються на пошаровому додаванні матеріалу відповідно до цифрової тривимірної моделі, що дозволяє формувати складні конструкції, недосяжні або економічно неефективні для традиційних субтрактивних технологій.

У цьому контексті АТ забезпечують прямий зв'язок між етапом проектування та виготовленням виробу, інтегруючись із кіберфізичними системами, штучним інтелектом, інтернетом речей і системами управління життєвим циклом продукту. Застосування різних методів – FDM, SLA, SLS/SLM, EBM та великоформатного 3D-друку – дає змогу працювати з широким спектром матеріалів, включно з полімерними, металевими й будівельними. Вони трансформують промисловість, пропонуючи значні переваги над традиційними субтрактивними методами (видалення матеріалу) [1].

Сьогодні адитивні технології відіграють центральну роль в екосистемі цифрового виробництва завдяки своїй здатності перетворювати цифрові 3D-моделі (отримані через CAD-системи або 3D-сканування) безпосередньо у фізичні об'єкти, додаючи матеріал шар за шаром. Це усуває потребу в дорогому та громіздкому оснащенні, що є критичним для гнучких виробничих систем.

Основними перевагами АТ є [2]:

- *Прискорення розробки продукції*: АТ значно скорочують час від проєктування до виготовлення готового виробу або прототипу, прискорюючи науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

- *Складні геометрії*: ці технології дозволяють створювати деталі надзвичайної складності, які неможливо або економічно недоцільно виготовити традиційними методами.

- *Персоналізація*: можливість виготовлення унікальних, адаптованих до конкретних потреб виробів (наприклад, індивідуальних медичних імплантів або протезів) є ключовою перевагою.

- *Ефективне використання матеріалів*: виробництво методом додавання мінімізує кількість відходів порівняно з видаленням матеріалу з цільного блоку.

- *Зниження виробничих витрат*: АТ можуть зменшити бар'єри для організації виробництва та підвищити прибутковість за рахунок оптимізації процесів та зменшення потреби у великих складських запасах.

- *Гнучкість виробництва*: цифрова природа АТ дозволяє оперативно реагувати на зміну ринкових потреб та швидко переналагоджувати виробництво.

Це визначає їхню затребуваність в аерокосмічній галузі, машинобудуванні, медицині, архітектурі, освіті та наукових дослідженнях.

Адитивні технології є носіями «цифрового гену» інтелектуального виробництва і активно інтегруються з іншими технологіями Індустрії 4.0, такими як Інтернет речей, штучний інтелект та розширене сканування. Вони продовжують розвиватися, розширюючи асортимент доступних матеріалів (від пластику до металів) та вдосконалюючи методи постобробки, що усуває існуючі обмеження для їх ще ширшого застосування [19].

Адитивні технології активно застосовуються в різних секторах промисловості:

- аерокосмічна та автомобільна промисловість – створення легких, але міцних деталей, що підвищує ефективність транспортних засобів;
- біомедицина – для виготовлення імплантатів, протезів та моделей органів для планування операцій;
- промислове виробництво – для виготовлення високоточних приладів, оснащення та кінцевих деталей;
- конструювання та прототипування – як основний інструмент для швидкої перевірки дизайнів та концепцій перед масовим виробництвом [20].

Таким чином, адитивні технології є важливим рушієм цифрової трансформації виробництва, пропонуючи безпрецедентну гнучкість, швидкість та можливості для інновацій. Водночас розвиток АТ супроводжується певними *викликами*: високою вартістю обладнання та матеріалів, недостатньою стандартизацією процесів, потребою у висококваліфікованих кадрах та обмеженнями масштабованості виробництва.

Сучасні тенденції вказують на подальше зміцнення ролі АТ у промисловості завдяки появі нових матеріалів, гібридних технологічних систем, розвитку цифрових двійників, автономних виробничих комплексів та інтеграції 3D-друку у глобальні ланцюги постачання.

Усе це підтверджує, що адитивні технології стають невід’ємним елементом інноваційної моделі розвитку суспільства, сприяючи підвищенню ефективності, гнучкості й конкурентоспроможності сучасної промисловості [2].

Значну увагу українських дослідників адитивні технології почали привертати лише протягом останніх років, хоча їх світовий розвиток має понад тридцятирічну історію. Витоки технології 3D-друку пов’язують із роботою американського інженера Ч. Халла, який у 1986 році запропонував метод стереолітографії та створив перший зразок 3D-принтера. Наступним важливим кроком у становленні адитивного виробництва стало розроблення С. Крапом у 1988 році технології моделювання шляхом пошарового наплавлення (FDM), що суттєво розширило можливості практичного застосування 3D-друку [33].

Перші кроки у впровадженні технології 3D-друку в Україні були зроблені у 2001 році завдяки винахіднику С. Чернишову, який уклав партнерську угоду з міжнародною компанією 3D Systems та придбав установку лазерної стереолітографії. На той час це обладнання не мало аналогів у країні й залишалося унікальним до 2014 року. Систему було встановлено в організованому ним навчально-науковому центрі «Високі технології в машинобудуванні» Харківського національного технічного університету. Запроваджена й адаптована українськими інженерами технологія сприяла суттєвому розвитку вітчизняної наукової школи, а створення такого інноваційного кластеру забезпечило інтеграцію науки, освіти та промислового виробництва [21].

На сьогодні сформувався значний спектр технологій 3D-друку, що відрізняються типом використовуваного матеріалу та способом формування шару. До найбільш поширених належать:

- екструзійні методи (пошарове наплавлення термопластів);
- дотові технології (електронно-променеве плавлення металевих сплавів);
- порошкові методи (лазерне або електронне спікання металевих, полімерних чи керамічних порошків);
- струменеві технології (склеювання або плавлення гіпсових, полімерних, піщаних чи металевих матеріалів);
- ламінування листових матеріалів (папір, металева фольга, полімерні плівки);
- технології полімеризації (використання світлодіодної або лазерної проєкції для затвердіння фотополімерів).

Ключові відмінності між цими методами полягають у механізмі накладання шарів, типі сировини та кінцевих властивостях виготовлених об'єктів. Слід зазначити, що ринок адитивного виробництва демонструє надзвичайно високі темпи розвитку, значно випереджаючи інші сфери сучасної

промисловості. За світовими оцінками, його середньорічне зростання становить близько 27%, а частка Сполучених Штатів у глобальному сегменті адитивних технологій сягає приблизно 38% [1].

Слід наголосити, що в Україні, як і у світі загалом, спостерігається інтенсивне зростання інтересу до адитивних технологій, що зумовлено їхньою універсальністю, економічною ефективністю та здатністю забезпечувати виготовлення складних об'єктів із високою точністю. Національний промисловий сектор демонструє поступове впровадження 3D-друку у низку високотехнологічних галузей. Зокрема, адитивні технології активно використовуються у створенні складних технічних систем у літакобудуванні та сфері безпілотних літальних апаратів, де вони дозволяють значно скорочувати виробничий цикл і оптимізувати масо-габаритні характеристики конструкцій [2].

Перспективним напрямом є застосування 3D-друку в оборонно-промисловому комплексі. В Україні реалізується спільний із Норвегією проєкт у межах програми Альянсу «Наука заради миру і безпеки», спрямований на виготовлення за допомогою адитивних технологій міношукачів нового покоління. Цей приклад демонструє інтеграцію інноваційних виробничих рішень у сферу безпеки та оборони, що підвищує стратегічну автономність держави та рівень технологічної готовності її оборонних систем [5].

Значного розвитку набуло впровадження 3D-друку в українській медичній галузі. Вітчизняні фахівці успішно застосовують адитивні технології для виготовлення протезів кінцівок, ортопедичних імплантатів, зубних конструкцій, а також реконструктивних елементів, таких як фрагменти щелепи, кісткові структури пальців чи частини черепа. Завдяки індивідуалізації моделей та високій точності друку забезпечується покращення функціональних характеристик і якості життя пацієнтів [2].

Окремої уваги заслуговують проєкти у сфері харчових технологій. Зокрема, розробка А. Барни щодо використання 3D-друку для створення

кондитерських виробів із шоколаду демонструє потенціал адитивного виробництва у гастрономії, де поєднуються художні можливості, точність дозування та інноваційний підхід до формування продуктів.

Підсумовуючи зазначене слід наголосити, що стрімкий розвиток адитивних технологій, їх інтеграція в промислове та навчальне середовище, а також зростання вимог до цифрових компетентностей працівників формують об'єктивну потребу у підготовці фахівців комп'ютерного профілю, здатних ефективно працювати з сучасними системами 3D-моделювання, програмуванням процесів друку, управлінням цифровими виробничими комплексами та інтеграцією адитивних рішень у реальні технологічні процеси.

Така підготовка стає не лише актуальною, а й стратегічно необхідною для забезпечення конкурентоспроможності національної економіки та інноваційного розвитку промисловості.

1.2. Сучасні вимоги до змісту підготовки фахівців комп'ютерного профілю

У науковій літературі вже склався консенсус щодо використання у практиці таких технологій, як хмарні технології, технології великих даних, мережеві технології. Вони насамперед трансформують освіту через необмежений доступ до ресурсів у будь-якому місці та у будь-який час, через можливість спільної роботи та інтенсивної комунікації у глобальному просторі. Проте, ще недостатньо досліджені можливості цифрових технологій Індустрії 4.0, які інтенсивно розвиваються: технології штучного інтелекту та Інтернету речей, імерсивні та адитивні технології, блокчейн, тощо [29].

Тому, вважаємо за доцільне проаналізувати значення АТ в освітньому процесі студентів комп'ютерного профілю, які мають бути не лише користувачами, а і розробниками засобів ЦТ і нових методик їх використання.

Інтеграція технологій 3D-моделювання та адитивного виробництва в освітній процес створює передумови для розвитку інтерактивного навчального середовища та забезпечує здобувачам освіти можливість опанувати практичні компетентності, необхідні для їхньої подальшої професійної діяльності.

Використання таких технологій сприяє формуванню прикладних навичок проєктування, конструювання та інженерного мислення, що є важливими складниками підготовки висококваліфікованих кадрів у галузі комп'ютерних технологій. Тому питання впровадження засобів 3D-моделювання і 3D-друку в систему професійної освіти виступає однією з актуальних проблем сучасної педагогічної науки та вагомим напрямом досліджень у контексті підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю.

Значний частка науково-педагогічних праць присвячений вивченню питань використання технологій 3D-моделювання та адитивного виробництва у підготовці майбутніх фахівців комп'ютерного профілю. У роботах зарубіжних і українських дослідників розкрито принципи добору програмного забезпечення для тривимірного проєктування, особливості його функціональних можливостей та методичні підходи до організації роботи з відповідними інструментами. Зокрема, у публікаціях Д. Банаха, Т. Бордмена, Дж. Джонса, М. Джамбруно, К. Осадчої та Г. Чемерис проаналізовано сучасні платформи 3D-моделювання, описано технічні параметри їх використання в освітньому процесі, а також окреслено методики формування у студентів практичних умінь створення та редагування віртуальних об'єктів. [6]. Питання теоретичних засад і методичної організації графічної підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю у закладах вищої освіти висвітлюються у працях низки українських учених. Зокрема, В. Буринський, Р. Горбатюк, О. Джеджула, М. Жалдак, О. Коваленко, М. Ожга, Г. Райковська, Г. Сажко, В. Хоменко та інші досліджують зміст, структуру, інструментарій і дидактичні засоби графічної підготовки, аналізують ефективність сучасних технологій візуалізації

та моделювання, а також обґрунтовують методичні підходи до формування у студентів професійно важливих графічних компетентностей [28].

Попри значний інтерес науковців до проблеми використання інструментів тривимірного моделювання та технологій адитивного виробництва, слід констатувати недостатню розробленість цілісних науково-методичних підходів щодо їх системного застосування у професійній підготовці фахівців комп'ютерного профілю.

Аналіз наукових джерел свідчить, що комплексні дослідження, у яких би всебічно розглядалися особливості методики навчання студентів 3D-моделюванню та тривимірному друку як взаємопов'язаним етапам професійної діяльності, залишаються поодинокими.

Особливість вивчення 3D-технологій майбутніми фахівцями комп'ютерного профілю полягає у поєднанні технічних, алгоритмічних, проєктно-графічних і конструкторських складників, що потребує розгляду даного процесу в контексті специфічно-графічної діяльності. Для формування у студентів реальних практичних умінь зі створення та друку тривимірних моделей необхідне впровадження навчальних модулів з 3D-моделювання та адитивних технологій як обов'язкової складової освітньо-професійної програми підготовки майбутніх фахівців у галузі комп'ютерних технологій [28].

Слід відмітити також соціальну значимість вказаної проблеми з огляду на важливість розвитку цифрової компетентності майбутніх фахівців. Проєктна робота над створенням моделей 3D-об'єктів [26], розвиває не лише навички використання цифрових технологій, але й «здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області» [16] та здатність студентів працювати в команді, проявляючи ініціативні, творчі здібності.

Актуальність підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до використання засобів 3D-моделювання та адитивного виробництва зумовлена

швидким поширенням 3D-технологій у різноманітних сферах людської діяльності та зростанням потреби суспільства у фахівцях, здатних ефективно працювати з такими інструментами. Динамічний розвиток високотехнологічного середовища та поступова цифровізація виробничих і творчих процесів висувають нові вимоги до організації навчання, що передбачають застосування інноваційних педагогічних підходів та сучасних освітніх технологій.

У цих умовах суттєво підвищуються вимоги до професійної компетентності випускників, яка повинна включати здатність до інноваційної діяльності, уміння розв'язувати нестандартні професійні завдання, а також сформовані дослідницькі та проєктно-аналітичні компетентності. Таким чином, формування в студентів умінь і навичок роботи з технологіями 3D-моделювання та друку розглядається як одна з ключових умов їх успішної професійної самореалізації [14].

Фундаментальною вимогою до фахівців комп'ютерного профілю є глибоке опанування методами обчислювальної геометрії, що охоплює оперування складними просторовими структурами, включаючи ефективне керування триангульованими поверхнями (формат STL) та реалізацію булевих операцій над 3D-моделями.

На цій основі базується розробка високопродуктивних алгоритмів нарізки (Slicing), які є критично важливими для генерації оптимального G-коду – послідовності команд, що визначають траєкторію друку, швидкість екструзії та параметри температурного режиму.

Сучасний фахівець повинен вміти адаптувати ці алгоритми під багатоматеріальний друк та різні типи наповнення (infill), забезпечуючи баланс між міцністю виробу, швидкістю друку та економією матеріалу. Додатковим, але не менш важливим елементом є володіння методами топологічної оптимізації, часто інтегрованими в CAD/CAE системи, які дозволяють

автоматично проєктувати деталі з мінімальною вагою при збереженні необхідної механічної стійкості, що є однією з головних переваг АТ.

Отже, забезпечення конкурентоспроможності випускників та підтримка технологічного розвитку сектору вимагає модернізації змісту їх підготовки. Це передбачає введення до змісту підготовки профільних вибіркових та обов'язкових дисциплін, сфокусованих на цифровому проєктуванні для АТ, методах керування виробничими циклами. Лише цілеспрямована інтеграція таких предметів дозволить підготувати фахівців, здатних не лише експлуатувати, а й активно розвивати програмно-апаратні комплекси адитивних технологій в умовах динамічної цифрової трансформації.

1.3. Педагогічні засади підготовки фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій

Підготовка майбутніх фахівців до роботи з адитивними технологіями є педагогічним завданням, що вимагає інтеграції теоретичних знань, практичних навичок та особистісних якостей. В умовах стрімкої технологічної трансформації виробництва, дидактична система вищої освіти повинна адаптуватися, забезпечуючи випускникам не лише компетентності, але й здатність до інновацій та неперервного саморозвитку [9].

Для ефективного навчання роботі з АТ, вважаємо за необхідне дотримуватися низки провідних педагогічних принципів:

Принцип систематичності та послідовності полягає у формуванні знань, умінь і навичок системно, щоб усі етапи освітнього процесу були взаємопов'язані, а нові навички опирались на засвоєні попередньо знання та створювали фундамент для наступних умінь. У кожній темі заняття поступово підвищує складність матеріалу. Логічним завершенням курсу є виконання

проекту в групах, за допомогою якого здобувачі освіти сформують відповідні компетентності [10].

Принцип доступності полягає в тому, щоб форми, методи і зміст відповідав можливостям майбутніх фахівців, та їхньому рівню знань у даній галузі. Тому, студенти на початковому етапі повинні навчитись будувати прості об'єкти, а уже потім приступати до моделювання складних моделей та виготовлення їх 3D-макетів [15].

Принцип наочності застосовується, безпосередньо, на заняттях: продемонструвати як будувати окремі елементи в програмі і через деякий час даємо студентам завдання відтворити це. Таким чином здійснюємо заохочення їх бути уважними, щоб вміти виконати завдання та розвиваємо таким чином інтерес до курсу. Принцип зв'язок теорії з практикою реалізовується студентами під час виконання лабораторних робіт, або завдань різного типу. Цьому передуює вивчення теорії [18].

Принцип інноваційності та випереджаючого навчання полягає у тому, що система освіти має не просто відтворювати існуючі стандарти, а готувати студентів до роботи з технологіями завтрашнього дня. Це включає регулярне вивчення новітніх методів та актуальних промислових стандартів, а також навчання студентів швидкому освоєнню нового програмного забезпечення та обладнання [10].

Принцип практико-орієнтованого навчання: теоретичний матеріал повинен бути закріплений практичною діяльністю. Це передбачає застосування проєктної діяльності студентів, коли організація навчального процесу здійснюється через виконання комплексних інженерних проєктів, які імітують реальні виробничі завдання (від ідеї до кінцевого виробу). Доцільним є також використання програмного забезпечення для симуляції процесу друку (наприклад, симуляція напружень та деформацій) для прогнозування результатів та мінімізації браку [10].

Потреба у цілеспрямованій професійній підготовці майбутніх фахівців комп'ютерного профілю в умовах цифровізації вимагає переосмислення освітніх технологій формування професійної культури, а отже – зростає роль *проектної діяльності* здобувачів освіти у сфері професійної освіти, що, зі свого боку, вимагає оновлення відповідного науково-методичного забезпечення [7].

За таких умов, оновлюючи зміст і методику навчання просторового моделювання і 3D-друку, варто відмітити, що проектна технологія надає можливість органічно інтегрувати знання майбутніх фахівців для вирішення певного практичного завдання. Як зазначено в працях учених [4], проектна діяльність здобувачів освіти – це спільний навчально-пізнавальний, творчий або ігровий процес, що спрямований на реалізацію спільної мети на основі узгоджених видів діяльності і на досягнення кінцевого результату.

Працюючи над проектом, майбутні фахівці комп'ютерного профілю здобувають необхідний професійний досвід, що полягає не тільки у оволодінні певним обсягом теоретичних знань, а й у вміннях аналізувати завдання, виокремлювати головне, брати на себе відповідальність за хід і якість проектування [3].

Також, ефективне формування готовності досягається через комбінацію в освітньому процесі інтерактивних методів (табл. 1.1).

Таким чином, педагогічні засади підготовки студентів до роботи з адитивними технологіями повинні ґрунтуватися на системній інтеграції теоретичної підготовки та інтенсивної практичної діяльності. Ключовим завданням є перехід від простого засвоєння інформації до інженерного мислення, орієнтованого на інновації та здатність до комплексного розв'язання технологічних задач у динамічному виробничому середовищі.

Інтерактивні методи навчання

Метод	Характеристика та завдання
Кейс-метод	Аналіз реальних промислових завдань (наприклад, оптимізація деталі під друк), обґрунтування вибору матеріалу та технології.
Тренінг-метод	Безпосередня робота на 3D-принтерах, проведення серії експериментів з різними параметрами друку та вимірювання фізико-механічних властивостей зразків.
Метод «Мозкового штурму»	Колективне генерування інноваційних ідей щодо використання АТ для вирішення нетипових завдань (наприклад, у сфері кастомізації продукції).
Самостійна проєктна робота	Розробка та виготовлення власного функціонального виробу. Забезпечує цілісність усіх компонентів готовності.

Висновки до першого розділу

Проаналізовано значення адитивних технологій у процесі цифровізації суспільства. Актуальність підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до використання засобів 3D-моделювання та адитивного виробництва зумовлена швидким поширенням 3D-технологій у різноманітних сферах людської діяльності та зростанням потреби суспільства у фахівцях, здатних ефективно працювати з такими інструментами.

Забезпечення конкурентоспроможності випускників та підтримка технологічного розвитку сектору вимагає модернізації змісту їх підготовки. Особливість вивчення 3D-технологій майбутніми фахівцями комп'ютерного профілю полягає у поєднанні технічних, алгоритмічних, проєктно-графічних і конструкторських складників, що потребує розгляду даного процесу в контексті специфічно-графічної діяльності.

Для ефективного навчання роботі з адитивними технологіями, вважаємо за необхідне дотримуватися низки провідних педагогічних принципів: систематичності та послідовності, доступності, наочності, інноваційності та випереджаючого навчання, практико-орієнтованого навчання. Також, ефективне формування готовності досягається через комбінацію в освітньому процесі інтерактивних методів: кейсів, тренінгів, «Мозкового штурму», самостійної проєктної роботи.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ ДО ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

2.1. Характеристика сучасних технологій 3d-друку та вибір програмного забезпечення

3D-друк, або адитивне виробництво, охоплює низку технологій, які об'єднані принципом пошарового створення об'єкта на основі цифрової моделі. Кожна технологія має унікальний механізм формування шару, що визначає швидкість, точність, фізико-механічні властивості готових виробів та доступні матеріали. Охарактеризуємо ключові типи сучасних адитивних технологій.

1. *Екструзія матеріалу (Material Extrusion)*. Основна технологія: моделювання методом пошарового наплавлення. Це найбільш поширена та економічна технологія, що використовується як у промисловості, так і в побуті.

Принцип її роботи полягає у тому, що термопластичний полімерний філамент (дріт) подається в екструзійну головку, де він розплавляється. Головка переміщується по площині XY, видавлюючи розплавлений матеріал та формуючи черговий шар. Тут може використовувати такі матеріали: ABS, PLA, PETG, Nylon, гнучкі полімери (TPU), композити з вуглецевим волокном або скловолокном. Застосовують таку технологію для виготовлення функціональних прототипів, навчальних моделей, виробу для побуту та інструментальне оснащення [6].

Основною перевагою тут є низька вартість обладнання та матеріалів, відносна простота експлуатації, широкий вибір матеріалів. Недоліки: обмежена точність, помітна шаруватість, необхідність використання підтримуючих структур для складних геометричних форм.

2. *Фотополімеризація (Vat Photopolymerization)*. Основні технології: стереолітографія (SLA), цифрова світлообробка (DLP), неперервна рідка

інтерфейсна продукція (CLIP). Цей тип 3D-друку використовує рідкі фотополімери, які тверднуть під дією світла (зазвичай ультрафіолетового лазера або проєктора). Платформа занурюється у ванну з рідкою смолою. Лазер (SLA) або проєктор (DLP) сканує або проєктує зображення шару, вибірково затверджуючи смолу. Платформа піднімається, і процес повторюється. Матеріалом для виготовлення є різноманітні фотополімерні смоли (жорсткі, гнучкі, високотемпературні, біосумісні). Галуззю застосування такої технології є ювелірна справа, стоматологія, медичні моделі, високоточні функціональні прототипи [7].

Переваги такої технології полягають у високій точності, гладкості поверхні моделей, відмінна деталізація. Недоліки: обмежений вибір матеріалів (переважно смоли), необхідність додаткової післяобробки (промивання та фінальне УФ-засвічення).

3. *Селективне плавлення у порошковому шарі (Powder Bed Fusion, PBF).* Основні технології: селективне лазерне спікання (SLS), селективне лазерне плавлення (SLM) / пряме лазерне спікання металу (DMLS), електронно-променеве плавлення (EBM). Технології PBF працюють з матеріалами у вигляді дрібного порошку. Принцип роботи даної технології полягає у тому, що тонкий шар порошку розрівнюється по робочій платформі, а лазер (SLS, SLM/DMLS) або електронний промінь (EBM) вибірково сплавляє або спікає частки порошку за контуром шару. Порошок, що не спікся, слугує природною підтримкою для деталі. Матеріалом виготовлення можуть бути нейлони (PA), поліпропілен (PP), термопластичні еластomers, металеві порошки (титан, алюміній, нержавіюча сталь, сплави нікелю) [6].

Застосовують таку технологію в аерокосмічній галузі, автомобільній промисловості (деталі з високим навантаженням), для виготовлення медичних імплантатів, для великосерійного виробництва кінцевих полімерних виробів.

Перевагою такої технології є висока міцність деталей (особливо металевих), відсутність потреби у додаткових підтримуючих структурах (для

SLS), можливість створювати складні внутрішні геометрії. Недоліки: висока вартість обладнання, тривалий час охолодження (для SLS), необхідність роботи в інертному середовищі (для металів).

4. *Струменеве нанесення матеріалу (Material Jetting)*. Ці технології схожі на роботу офісного струменевого принтера. Друкуюча головка наносить (розпилює) мікроскопічні краплі рідкого фотополімеру або воску, які миттєво тверднуть під впливом ультрафіолетового світла. Це дозволяє друкувати деталі з кількох матеріалів одночасно: фотополімерні смоли з різними властивостями (колір, жорсткість, прозорість), віск (для виплавлених моделей). Застосовують дану технологію у галузі дизайнерського прототипування, для виготовлення анатомічних моделей, моделей для лиття [19].

Перевагами даної технології є повноколірний друк, висока швидкість, можливість поєднання різних властивостей матеріалу в одній деталі, гладка поверхня. Недоліки: висока вартість матеріалів, деталі можуть бути крихкими, обмежена стійкість до високих температур.

5. *Струменеве склеювання (Binder Jetting)*. Це технологія, що застосовується для друку великих об'ємів з піску або металу з використанням рідкого зв'язуючого агента (біндера). На шар порошкового матеріалу (пісок, кераміка або метал) друкуюча головка вибірково наносить рідкий зв'язуючий агент, який склеює частки порошку, формуючи шар. Матеріалами для виготовлення є пісок (для ливарних форм), кераміка, металеві порошки (потребують подальшого спікання/інфільтрації). Застосовують дану технологію у виробництві ливарних форм та стрижнів з піску, великогабаритні прототипи, кінцеві металеві деталі (після фінальної обробки) [6].

Переваги: висока швидкість друку, великий робочий об'єм, економічність (для піщаних форм), можливість роботи з різними порошковими матеріалами. Недоліки: низька міцність «зеленої» деталі, для металевих деталей потрібен додатковий високотемпературний процес (дебіндінг та спікання).

Проаналізувавши сучасні технології 3d-друку, в освітньому процесі фахівців комп'ютерного профілю доцільно застосовувати метод екструзії матеріалу, зважаючи на його основні переваги: доступність обладнання та матеріалів, простота експлуатації, широкий вибір матеріалів виготовлення моделі.

Слайсери (slicers) відіграють ключову роль у процесі адитивного виробництва, оскільки забезпечують перехід від цифрової 3D-моделі до машинного коду, зрозумілого для 3D-принтера. Основним призначенням слайсера є алгоритмічне перетворення моделі у форматі STL, OBJ або 3MF на G-code шляхом поділу її на окремі шари (slices), розрахунку траєкторій руху екструдера, визначення параметрів подачі матеріалу, швидкості руху, товщини шару, заповнення, температурних режимів та допоміжних структур (support, brim, raft).

Застосування сучасних слайсерів дозволяє автоматизувати складні етапи підготовки моделі до друку, забезпечити оптимізацію використання матеріалу й підвищити точність відтворення тривимірних об'єктів.

Серед найбільш популярних програмних рішень вирізняються: **Ultimaker Cura**, яка підтримує широкий спектр профілів принтерів і містить розширені алгоритми оптимізації; **PrusaSlicer**, що відзначається високою точністю генерації підтримок та можливістю багатоматеріального друку; **Simplify3D**, орієнтований на професійне використання та параметричну тонку настройку процесу; **Bambu Studio** — сучасне, багатофункціональне програмне забезпечення для нарізки з відкритим кодом.

Сучасні слайсери інтегрують функції автоматичної перевірки помилок моделі, адаптивної зміни товщини шару, генерації деревоподібних підтримок, симуляції процесу друку та аналізу часу й витрат матеріалу. Таким чином, слайсер є невід'ємним компонентом технологічного циклу адитивного виробництва, що визначає якість кінцевого виробу й значною мірою впливає на ефективність навчання технологіям 3D-моделювання і друку.

Cura є одним із найбільш поширених та функціонально розвинених слайсерів, що зумовлено його безкоштовністю, відкритим вихідним кодом та високою сумісністю з широким спектром систем автоматизованого проектування. Програмне забезпечення характеризується інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що робить його придатним для початківців у сфері адитивних технологій. Первинно створена компанією Ultimaker, Cura вже на ранніх етапах розвитку була адаптована для використання не лише з принтерами Ultimaker, але й з численними моделями інших виробників [32].

Важливою характеристикою програмного забезпечення є регулярне оновлення, що передбачає додавання нових профілів друку, у тому числі для конкурентних моделей 3D-принтерів. Крім того, Ultimaker забезпечує можливість розроблення сторонніх плагінів, що розширюють функціональні можливості слайсера. Cura підтримує імпорт форматів 3MF, OBJ та STL, а також містить інструменти автоматичного виправлення геометричних помилок моделей. До додаткових функцій належать візуалізація траєкторії руху друкуючої головки, автоматичне генерування оцінок витрати матеріалу та прогнозування часу друку (рис. 2.1).

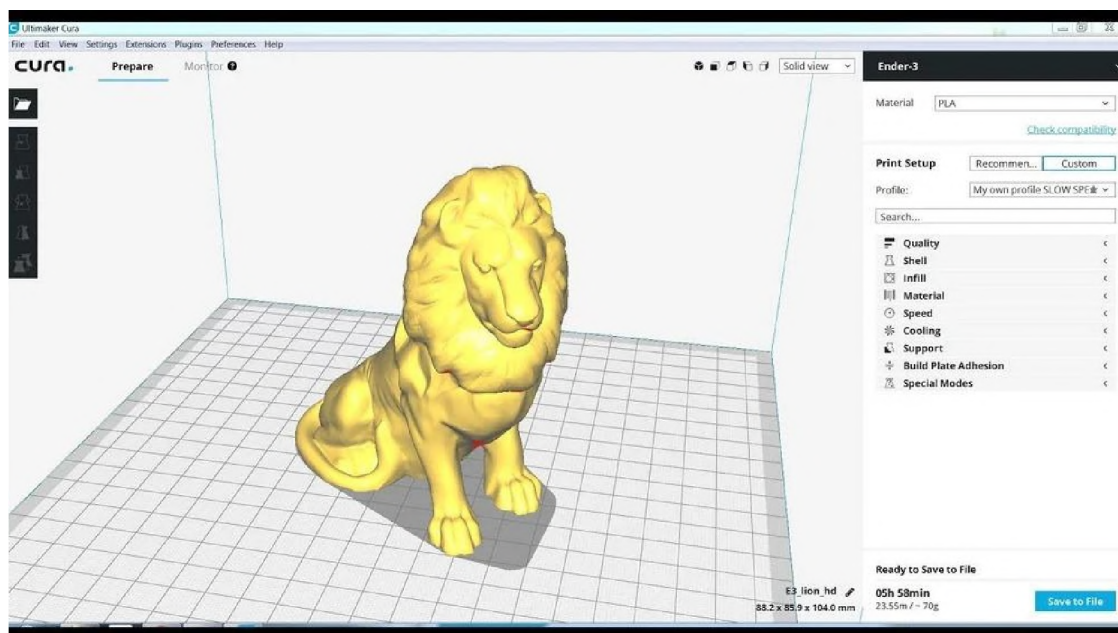


Рис. 2.1. Вікно роботи в слайсері Cura

PrusaSlicer є універсальним та високофункціональним програмним забезпеченням для підготовки моделей до 3D-друку, придатним для використання з широким спектром адитивного обладнання. Його походження пов'язане з проєктом Slic3r — безкоштовним слайсером з відкритим вихідним кодом, проте PrusaSlicer значно оптимізовано й розширено порівняно з попередником. Зберігаючи принципи відкритості та вільного застосування, програмний продукт забезпечує стабільну роботу не лише з принтерами марки Prusa, але й з моделями Creality та багатьма іншими пристроями різних виробників [30].

Однією з ключових переваг PrusaSlicer є інтегрована підтримка нарізання та підготовки моделей для SLA-принтерів, що вирізняє його серед більшості аналогів. Програмне забезпечення надає можливість створення користувацьких опор, використання змінної висоти шару та отримання детального аналізу часу друку. Інтерфейс, що поєднує інформативність і простоту використання, робить PrusaSlicer ефективним інструментом як для початківців, так і для досвідчених користувачів адитивних технологій (рис. 2.2).

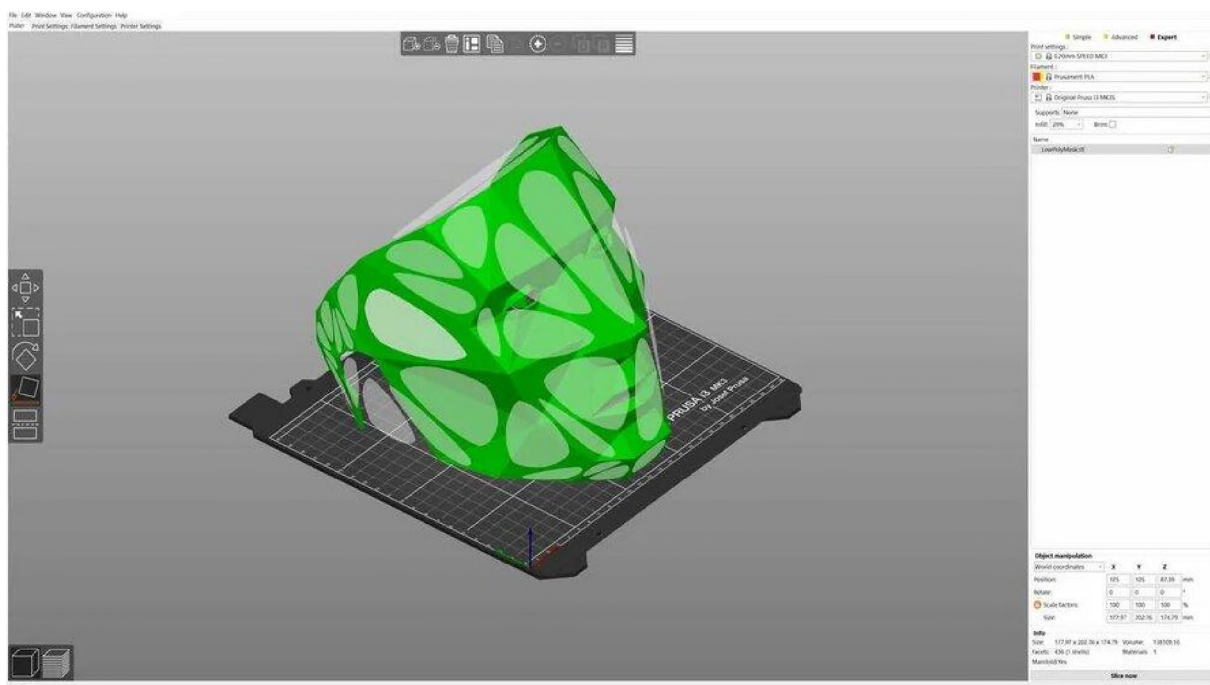


Рис. 2.2. Вікно роботи в слайсері PrusaSlicer

До основних переваг PrusaSlicer належать: відкритий вихідний код, широкі можливості налаштування параметрів друку, підтримка мережевого керування 3D-принтерами через OctoPrint, а також здатність до ефективної підготовки моделей для SLA-друку. Разом з тим, серед недоліків можна зазначити відсутність реалізованої функції генерації деревоподібних опор, яка, попри актуальність, поки що не інтегрована, хоча й перебуває в перспективі розроблення [30].

Simplify3D належить до категорії високопродуктивних слайсерів, сумісних майже з усіма сучасними моделями 3D-принтерів, що значно розширює сферу його застосування в адитивному виробництві. Програмне забезпечення підтримує зручне імпортування численних профілів обладнання і забезпечує ефективну роботу зі стандартними форматами 3D-файлів, зокрема 3MF, OBJ та STL. Платформа доступна багатьма мовами, що сприяє її використанню в міжнародній практиці [31].

Однією з ключових особливостей Simplify3D є розширені можливості індивідуального налаштування параметрів, включно з конфігураціями шарів, екструдерів, скриптів та G-коду. Програмне забезпечення орієнтоване насамперед на професійних користувачів: воно дозволяє проводити детальну симуляцію процесу друку з метою виявлення потенційних дефектів та оптимізації параметрів виготовлення. Система також автоматично позначає ділянки моделі, де доцільно застосувати підтримувальні структури, що сприяє підвищенню якості відтворення складних геометричних форм (рис. 2.3).

Для власників 3D-принтерів Creality Simplify3D часто розглядається як оптимальний вибір, оскільки пропонує гнучкі та точні інструменти налаштування підтримок, подібні до можливостей ideaMaker, але з вищим рівнем адаптивності. Водночас головним недоліком програмного забезпечення є його комерційний характер: наявність великої кількості безкоштовних альтернатив зменшує готовність новачків та користувачів із обмеженим бюджетом придбавати ліцензію [31].

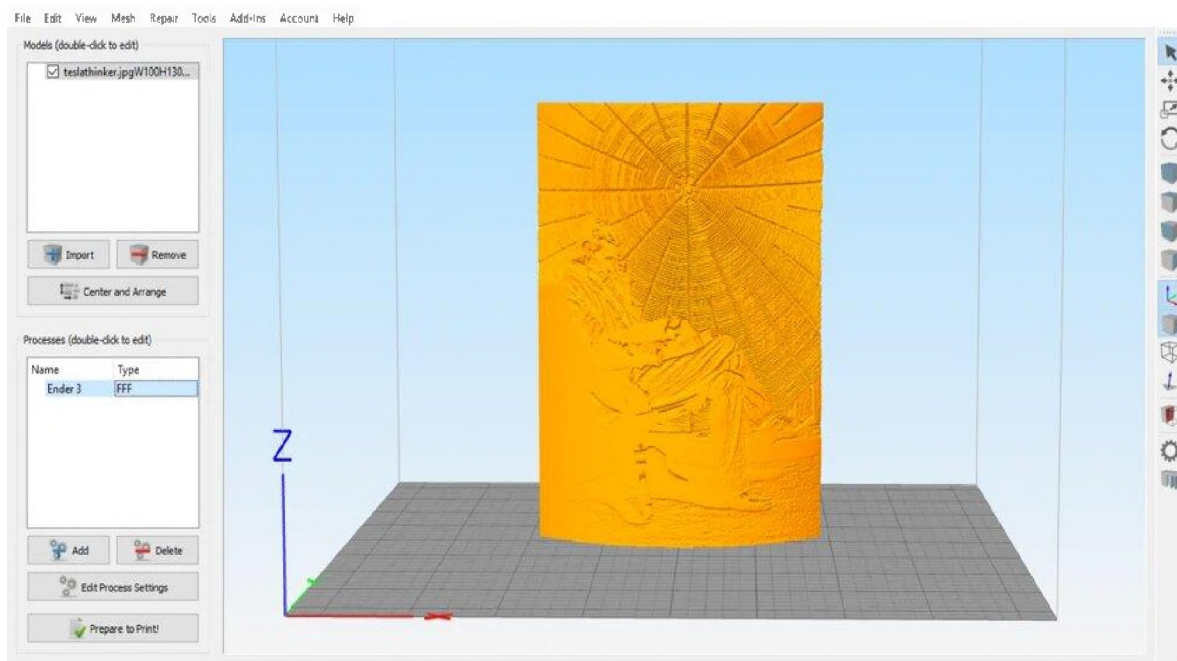


Рис. 2.3. Вікно роботи в слайсері Simplify3D

Серед основних переваг Simplify3D виокремлюють інтуїтивний інтерфейс, широке коло параметрів, що підлягають конфігурації, високу швидкість обробки та потужні інструменти редагування складних моделей. Водночас ціна програмного продукту може бути стримувальним чинником для початківців у сфері 3D-друку.

Bambu Studio є сучасним програмним забезпеченням для підготовки цифрових моделей до 3D-друку, розробленим компанією Bambu Lab як комплексний інструмент для роботи з адитивними технологіями. Слайсер вирізняється високим рівнем інтеграції з багатоматеріальними та високошвидкісними принтерами виробника, однак зберігає сумісність і з широким спектром стороннього обладнання. Завдяки відкритій архітектурі профілів друку та активній підтримці спільноти Bambu Studio поступово стає універсальним інструментом для роботи з FDM-технологіями [23].

Однією з ключових особливостей програмного забезпечення є використання сучасних алгоритмів нарізки, що забезпечують підвищену точність генерації траєкторій та оптимізують параметри переміщення

друкувальної головки. Програма підтримує як традиційні, так і адаптивні стратегії формування шарів, включно зі змінною висотою шару, автоматичним визначенням критичних областей і покращеними методами побудови підтримок. Значною перевагою Bambu Studio є можливість розширеного контролю за багатоматеріальним друком, зокрема синхронізація з системою AMS та автоматичне керування матеріальними каналами (рис. 2.4).

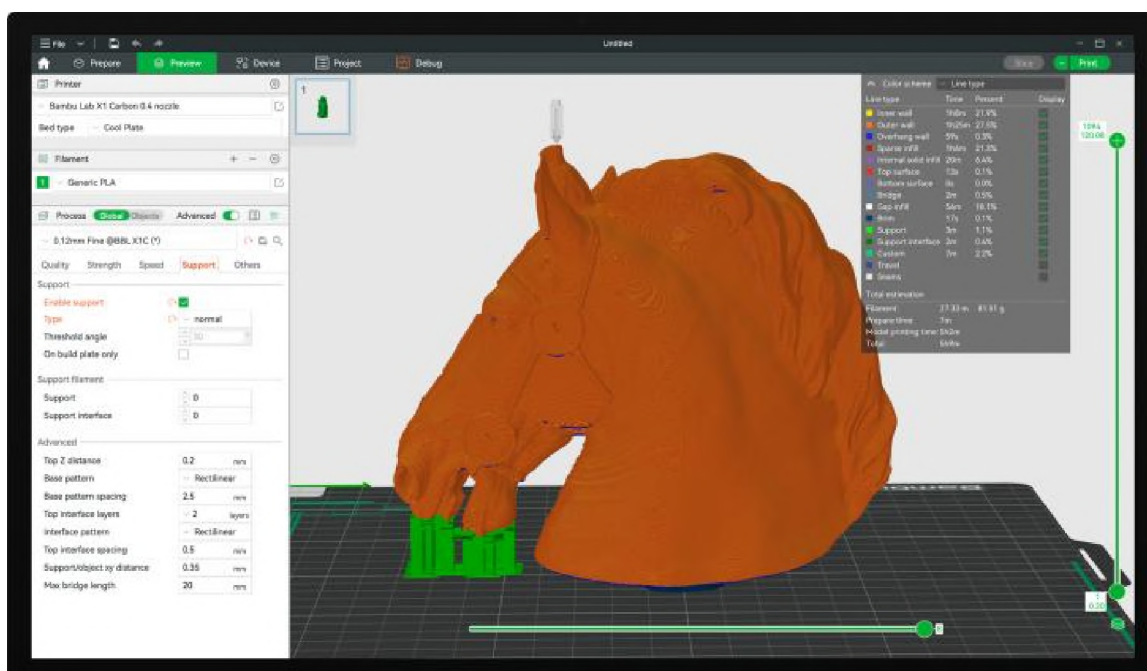


Рис. 2.4. Вікно роботи в слайсері Bambu Studio

Інтерфейс програмного забезпечення характеризується високою ергономічністю та логічністю структури, що робить Bambu Studio ефективним інструментом як для початківців, так і для досвідчених користувачів. Інтегрований модуль візуалізації забезпечує детальне відображення траєкторій друку, прогнозування часу виготовлення, обчислення витрат матеріалу та оцінку потенційних ризиків. Крім того, програмне забезпечення підтримує систему плагінів, що створює можливості для розширення функціональності та адаптації до потреб користувача [24].

До вагомих переваг Bambu Studio належать висока швидкість обробки моделей, розширені можливості оптимізації параметрів друку, продумані

механізми взаємодії з обладнанням та широкий спектр інструментів для роботи зі складною геометрією. Водночас певними обмеженнями можна вважати те, що найбільш ефективна робота забезпечується в екосистемі Bambu Lab, що може зменшувати гнучкість використання для власників обладнання інших виробників.

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що використання Bambu Studio у процесі підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю є доцільним та педагогічно обґрунтованим. Слайсер вирізняється інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, широкими можливостями параметризації, підтримкою сучасних алгоритмів нарізки та розширеним функціоналом для роботи з багатоматеріальним друком. Завдяки високій швидкості обробки моделей, наявності візуалізаторів траєкторій, автоматизованих інструментів оптимізації й підтримці складної геометрії Bambu Studio забезпечує ефективне формування професійних умінь і навичок, необхідних для роботи з адитивними технологіями.

2.2. Аналіз стану підготовки студентів до роботи з адитивними технологіями

Вітчизняні і закордонні вчені галузі наголошують на необхідності формування практичних навиків 3d-моделювання і друку у сучасних фахівців, що спонукає удосконалення змісту їх підготовки в цілому. Так, дослідники В. Щербина, Ю. Холодняк, О. Івженко розкрили методичні підходи до навчання комп'ютерної графіки при підготовці майбутніх фахівців інженерних спеціальностей [22]. Проблеми прикладного застосування технологій тривимірного моделювання та друку розкриті у роботах І. Луцик, І. Гевка, В. Поліщук, В. Ходакова, А. Соколова, Г. Веселовської та ін. [9; 20; 26]. Аналіз науково-педагогічної літератури свідчить, що проблема практичної підготовки

зазначених фахівців до застосування технологій 3d-моделювання і друку залишається однією з найактуальніших. Аналіз теорії і практики [19] свідчить, що рівень практичних навичок майбутніх фахівців щодо використання таких технологій не відповідає вимогам сучасного ринку праці, що негативно позначається на якості їх професійної підготовки.

Для аналізу процесу підготовки студентів до роботи з адитивними технологіями було проаналізовано зміст освітньої програми «Професійна освіта (Комп'ютерні технології)» першого (бакалаврського) рівня освіти, яка реалізується у ТНПУ.

На основі проведеного аналізу і визначених потреб до таких фахівців вважаємо, що формування практичних навичок 3D-друку у студентів комп'ютерного профілю повинно базуватися не лише на опануванні загальних інструментів роботи з тривимірною графікою. Важливим також є розвиток зазначених вмінь в контексті застосування спеціального програмного забезпечення для розв'язання конкретних прикладних завдань у тих галузях, що є найбільш затребуваними на сучасному ринку праці.

На основі аналізу освітньої програми встановлено, що вивчення таких технологій майбутніми фахівцями комп'ютерного профілю недостатньо передбачено у змісті їх підготовки. Освітньою програмою передбачено вивчення низки варіативних дисциплін, що забезпечують набуття професійних навичок застосування спеціального програмного забезпечення, зокрема і технологій 3D-друку.

Проте, серед обов'язкових компонентів передбачено лише дисципліну «Інженерна комп'ютерна графіка», а у каталозі вибіркових дисциплін пропонується «Технології 3D друку». Опираючись на твердження вчених [26] ми вважаємо, що вивчення перспективних цифрових технологій фахівцями зазначеного профілю повинні бути передбачені у нормативній частині освітніх програм та потребує спеціальної графічної підготовки. Тому навчання

майбутніх фахівців комп'ютерного профілю технологіям 3D-моделювання та друку стає одним із важливих завдань сучасної професійної освіти.

Тому, вивчення тривимірного моделювання і друку стає одним із основних напрямів підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю. Вважаємо, що слід удосконалити зміст їх підготовки щодо використання технологій тривимірного моделювання та друку.

В робочій програмі освітнього компоненту «Інженерна комп'ютерна графіка» передбачено три змістових модулі:

1. Геометричне і проекційне креслення.
2. Машинобудівне креслення.
3. Основи і технології моделювання.

У першому змістовому модулі передбачено вивчення майбутніми фахівцями змісту та етапів проектно-конструкторської діяльності, методи проекціювання і оформлення креслень, засоби та можливості систем автоматизованого проектування (САПР).

Вивчення тем другого модуля передбачають роботу з елементами машинобудівних об'єктів: розрізи, різьби, різні і нерозні з'єднання, складальні креслення. Також студенти виконують зображення на складальних кресленнях пружин, рухомих частин виробу в крайніх чи проміжних положеннях, вивчають умовності та спрощення на складальних кресленнях.

Третій модуль передбачає роботу із 3D-моделями: вибір системи координат і площини проекцій, режим створення ескізу, створення моделі із замкнутим і розімкнутим контуром ескізу, побудова тривимірних моделей різними способами (видавлювання, обертання, витягування по траєкторії, вирізання, тощо). На основі змодельованих об'єктів здобувачі освіти будують зборки складних механізмів.

Аналіз силабусу і робочої програми освітнього компоненту «Інженерна комп'ютерна графіка» дозволив нам зробити висновок, що у його структурі не передбачено вивчення адитивних технологій. Аналізуючи зміст зазначеної

дисципліни, видно, що основна частина курсу передбачає роботу з двовимірною графікою. Поряд із ґрунтовним вивченням основного командного інструментарію та алгоритмів побудови окремих просторових елементів, інструментарію просторового моделювання і технології комп'ютерного проектування не приділяється увага технологіям прикладного їх використання. Це свідчить, що освітня діяльність здобувачів освіти спрямована не на забезпечення якості практичної підготовки до професійної діяльності, а здебільшого на вивчення інструментарію програмного забезпечення.

Також, слід зазначити, що у робочій програмі не передбачена інноваційна діяльність майбутніх фахівців, яка передбачає розробку навчальних проєктів, поєднуючи графічну діяльність, розробку анімаційних відеороликів, виготовлення макетів засобами 3D-друку, тощо.

Це актуалізує потребу вдосконалення змісту і методики через окреслення нових цілей, модернізацію навчально-методичних комплексів, методів та засобів навчання і діагностування якості освітнього процесу.

2.3. Розробка методики навчання адитивних технологій майбутніх фахівців комп'ютерного профілю

Для підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій вважаємо за доцільне доповнити курс «Інженерна комп'ютерна графіка» змістовим модулем, в якому здобувачі освіти зможуть освоїти роботу із такими технологіями.

Тому, нами запропоновано удосконалену структуру змісту проаналізованого освітнього компоненту в процесі підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю, що передбачає формування у них системи теоретичних знань і практичних навиків проєктування і виготовлення

тривимірних об'єктів з використанням сучасних цифрових технологій (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Структура навчальної дисципліни
«Інженерна комп'ютерна графіка»**

Назви змістових модулів і тем	кількість годин			
	денна форма			
	усього	у тому числі		
лекції		лабораторні заняття	самостійна робота	
Змістовий модуль 1. САПР. Геометричне і проєкційне креслення				
Тема 1. Вступ. Машинна графіка як підсистема САПР	18	2	2	6
Тема 2. Оформлення креслень			2	6
Тема 3. Геометричні побудови	18	2	2	6
Тема 4. Методи проєціювання. Комплексне креслення			2	6
Разом за змістовим модулем 1	36	4	8	24
Змістовий модуль 2. САПР. Машинобудівне креслення				
Тема 5. Зображення на машинобудівних кресленнях	24	2	2	8
Тема 6. Різьба і різьбові вироби			4	8
Тема 7. З'єднання деталей та їх складових частин. Рознімні з'єднання. Нерознімні з'єднання	24	2	2	8
Тема 8. Складальні креслення. Послідовність виконання складальних креслень			4	8
Разом за змістовим модулем 2	48	4	12	32
Змістовий модуль 3. Основи моделювання				
Тема 9. Загальні принципи моделювання	16	2	6	8
Тема 10. Формування компонентів тривимірних моделей	16	2	6	8
Тема 11. Способи побудови тривимірних моделей	16	2	6	8
Разом за змістовим модулем 3	48	6	18	24
Змістовий модуль 4. Технології моделювання				
Тема 12. Формування деталей з листового матеріалу	16	2	4	10
Тема 13. Особливості проєктування 3D-моделей	16	2	4	10
Тема 14. Побудова зборки	18	2	6	10
Разом за змістовим модулем 4	50	6	14	30
Змістовий модуль 5. Підготовка та 3D друк моделі				
Тема 15. Підготовка моделей до 3D друку Імпорт моделі в програму Cura	20	2	6	12
Тема 16. Загальні поняття 3D друку	18	2	4	12
Тема 17. Друк на 3D принтері	20	2	6	12
Разом за змістовим модулем 5	58	6	16	36
Усього годин	240	26	68	146

Вивчення здобувачами освіти теоретичного матеріалу і виконання лабораторних робіт до кожної теми змістових модулів передбачає формування в них певних вмінь та набуття практичних навичок. Тому, у таблиці 2.2 ми виділили основні уміння та навички, які будуть сформовані у майбутніх фахівців комп'ютерного профілю після вивчення зазначеного змістового модуля.

Таблиця 2.2

Передбачувані результати навчання здобувачів освіти адитивним технологіям

Тема	Знання та вміння	Практичні навички
Підготовка формату даних та завантаження моделі	Знання основних форматів графічних даних, типів 3D-принтерів, вміння експортувати графічні дані	Формування вихідних даних 3d-моделей та їх підготовка до друку
Програмні налаштування друку моделі	Знання особливостей технології 3D-друку різних об'єктів, їм масштабування, заповнення, якості, властивостей матеріалів друку, вміння налаштування основних параметрів друку у програмному середовищі.	Налаштування та оптимізація роботи 3D-принтера для друку моделей
Апаратне налаштування 3d принтера	Знання інтерфейсу, будови і принципу роботи основних конструктивних елементів 3D-принтера	Калібрування робочого стола 3D-принтера та підготовка філаменту
Процес друку моделей	Вміння координатного налаштування об'єкту	Друк макетів із дотриманням геометричних розмірів моделі та якості поверхні

На прикладі попередньо підготовленої тривимірної моделі розкриємо методику навчання адитивним технологіям майбутніх фахівців комп'ютерного профілю із використанням програмно-апаратного 3D-друку.

Виготовлення 3D-макетів різного типу (інженерні, архітектурні, художні) у освітньому процесі ЗВО на сьогоднішній день достатньо успішно реалізовується технологіями програмно-апаратного 3D-друку, використовуючи в якості матеріалу пластичні маси (ABS, PLA, нейлон тощо). Це зумовлено низькою собівартістю розхідних матеріалів для виготовлення 3D-виробу.

Програмне забезпечення 3D-друку включає комп'ютерні програми інтерфейсної взаємодії, драйвера роботи 3D-принтера та конфігураційні файли. На сьогоднішній день існує велике різноманіття програм для 3D-друку (п.2.1), які є володіють розширеним функціоналом і відносною складністю.

Проведений порівняльний аналіз згаданого програмного забезпечення, встановив, що значну перевагу в критеріях зручності інтерфейсу на етапі вивчення адитивних технологій має середовище Bambu Studio.

Інтерфейс програмного забезпечення характеризується високою ергономічністю та логічністю структури, що робить Bambu Studio ефективним інструментом як для початківців, так і для досвідчених користувачів. Інтегрований модуль візуалізації забезпечує детальне відображення траєкторій друку, прогнозування часу виготовлення, обчислення витрат матеріалу та оцінку потенційних ризиків. Крім того, програмне забезпечення підтримує систему плагінів, що створює можливості для розширення функціональності та адаптації до потреб користувача.

Процес друку розпочинаємо з завантаження попередньо підготовленої 3D-моделі у програму-слайсер Bambu Studio (рис. 2.5).

Основним вхідним форматом даних є STL, у якому інформація зберігається у вигляді масиву трикутних даних, які описують поверхню та їх нормалі. Геометрична модель у будь-якому середовищі 3D-моделювання

повинна бути експортована у STL-формат. У зв'язку із інтенсивним розвитком адитивних технологій більшість сучасних CAD систем підтримує таку функцію.

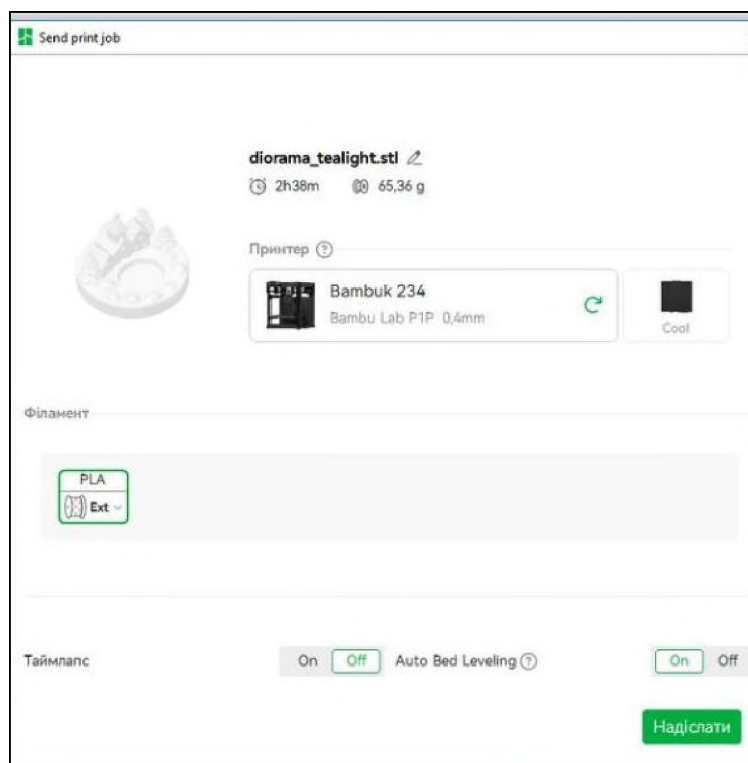


Рис. 2.5. Завантаження 3D-моделі у слайсер Bambu Studio

Для роботи використовувався 3D-принтер Bambu Lab P1P із соплом діаметром 0.4 мм. Як матеріал друку було обрано Generic PLA (полілактид), який є стандартним та універсальним полімером.

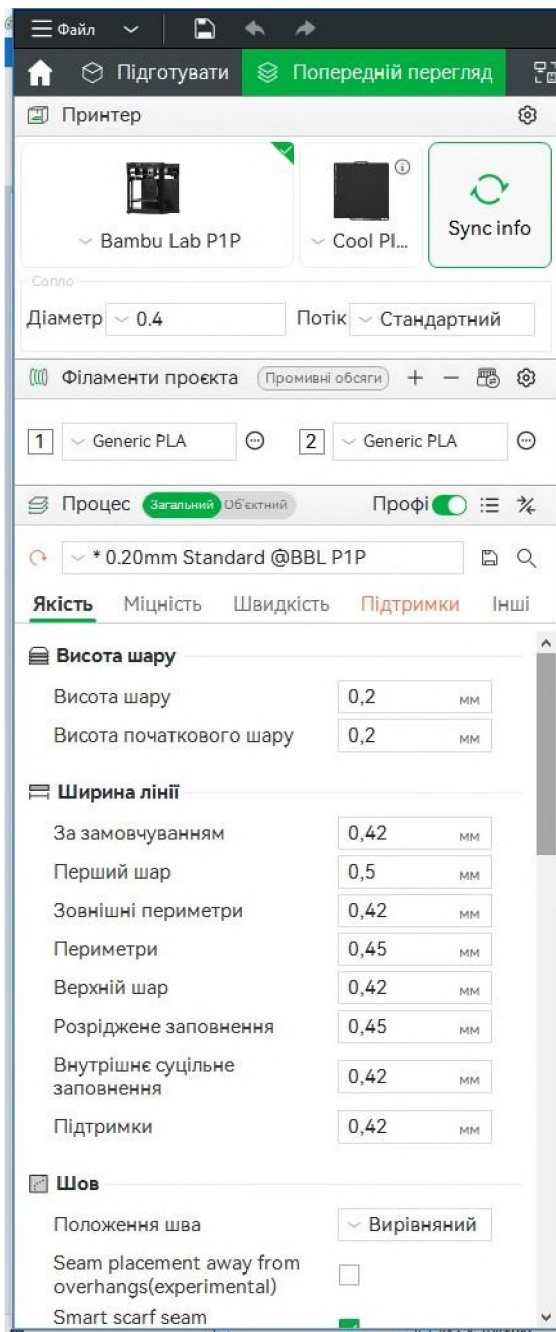
У налаштуваннях друку встановлюємо стандартний профіль друку 0.2 мм, що забезпечує оптимальний баланс між якістю та швидкістю друку.

Висоту шару встановлено 0.2 мм. Це стандартна висота для згаданого профілю, яка забезпечує достатню деталізацію. Більшість ліній друку (периметри, внутрішнє суцільне заповнення) мають ширину 0.42 мм, що відповідає діаметру сопла. Перший шар має товщину 0.5 мм для кращої адгезії (прилипання) до столу (рис. 2.6, а).

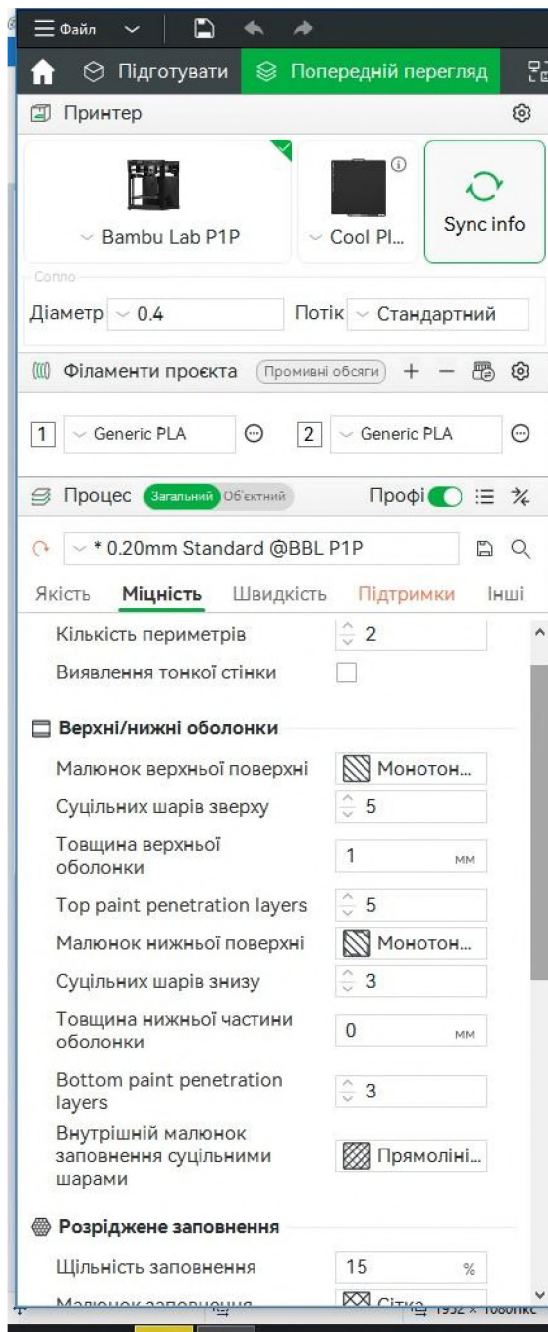
Кількість периметрів встановлено 2. Це означає, що стінки моделі будуть сформовані двома шарами пластику. Щільність внутрішнього заповнення (інфілу) становить 15% (візерунок заповнення – «Сітка»), що є достатнім для

забезпечення механічної міцності моделі без зайвої витрати матеріалу (рис. 2.6, б).

Поверхня моделі покривається 5 суцільними шарами, а нижня частина має 3 суцільні шари. Товщина верхньої оболонки – 1 мм.



а)



б)

Рис. 2.6. Налаштування параметрів друку

Враховуючи складну геометрію моделі з нависаючими елементами (дахи, гілки ялинок), було активовано ввімкнення підтримок (Supports). Кут порогу 30°. Це означає, що підтримки будуть генеруватися для всіх нависаючих частин, кут нахилу яких менше 30 градусів до горизонталі (рис. 2.7).

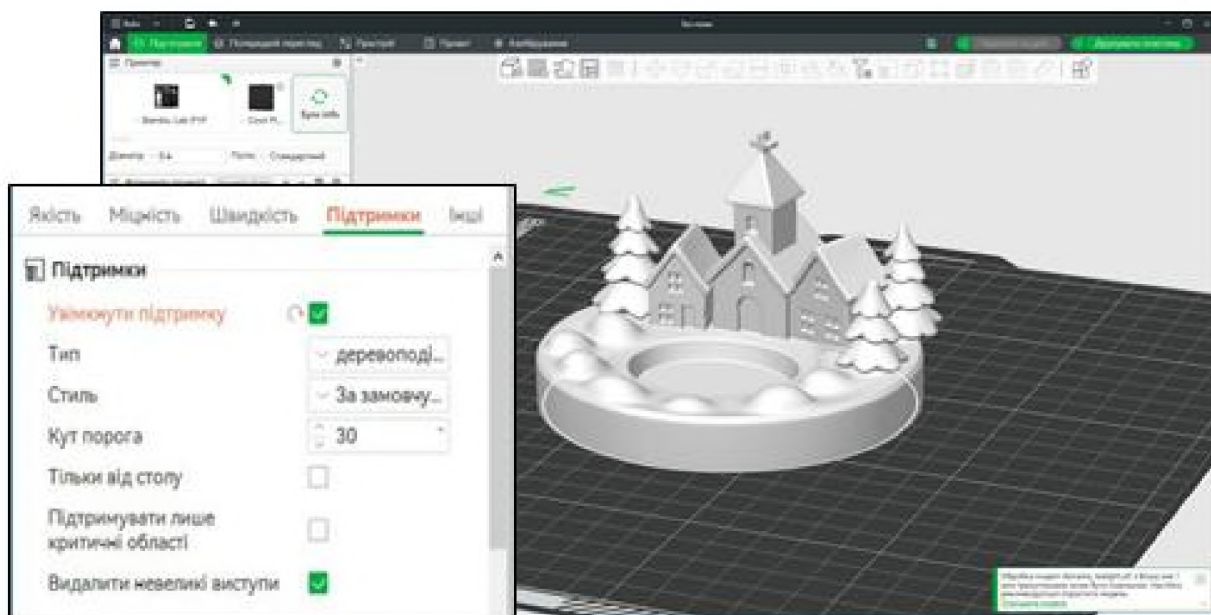


Рис. 2.7. Налаштування параметрів «підтримок»

Після застосування всіх налаштувань, програма Bambu Studio виконала слайсинг (розрізання моделі на шари). Результати слайсингу такі (рис. 2.8):

- Час друку: 2 години 32 хвилин.
- Витрата філаменту: загальна вага становить 63.98 грам, довжина – 21.45 метрів.
- Вага моделі: 15.99 г, вага підтримок: 5.92 г.
- Витрата матеріалу: 1.28.

Зазначене програмне середовище є слайдером, що призначена для перетворення поверхні геометричного масиву у послідовність нарізки паралельними площинами з трансляцією даних у G-код. Файл G-коду моделі є вихідним інформаційним файлом для апаратної частини 3D-принтера.

Після відправлення G-коду на принтер, друк розпочався.

Slicing Result			
Копірна схема			
Філамент			
Філамент	Модель	Підтримки	Загальний
■ 1	19.77 m 58.97 g	1.68 m 5.01 g	21.45 m 63.98 g
Час зміни філаменту: 0			
Витрата: 1.28			
Оцінка часу			
Час підготовки: 6m16s			
Час друку моделі: 2h26m			
Загальний час: 2h32m			
Параметри		Відображати	
■ Переміщення		☐	
■ Ретракт		☐	
■ Втягування		☐	
■ Протирання		☐	
■ Шви		☒	

Рис. 2.8. Результати слайсингу

На рис. 2.9 видно інтерфейс моніторингу принтера, який показує процес у реальному часі:

- Стан: йде друк моделі diorama_tealight.stl.
- Прогрес: на момент знімка друк був на 3%, що відповідало Шару 0/344.
- Оцінка часу завершення: 12:46.



Рис. 2.9. Інтерфейс моніторингу принтера

Загалом, процес налаштований на високоякісний друк діорами з використанням деревоподібних підтримок та оптимальною 15% щільністю заповнення, що забезпечить хороший результат за мінімальний час.

Апаратна підготовка 3D-принтера, повинна включати наступні етапи: підготовка філаменту, калібрування принтера, підготовка робочого стола, друк моделі. Технологія калібрування принтера передбачає формування технологічних зазорів між робочою поверхнею стола та соплом з метою забезпечення якісного шарування пластичної маси (рис.2.10). Обов'язковою умовою при цьому є попереднє прогрівання стола друку до робочої температури.

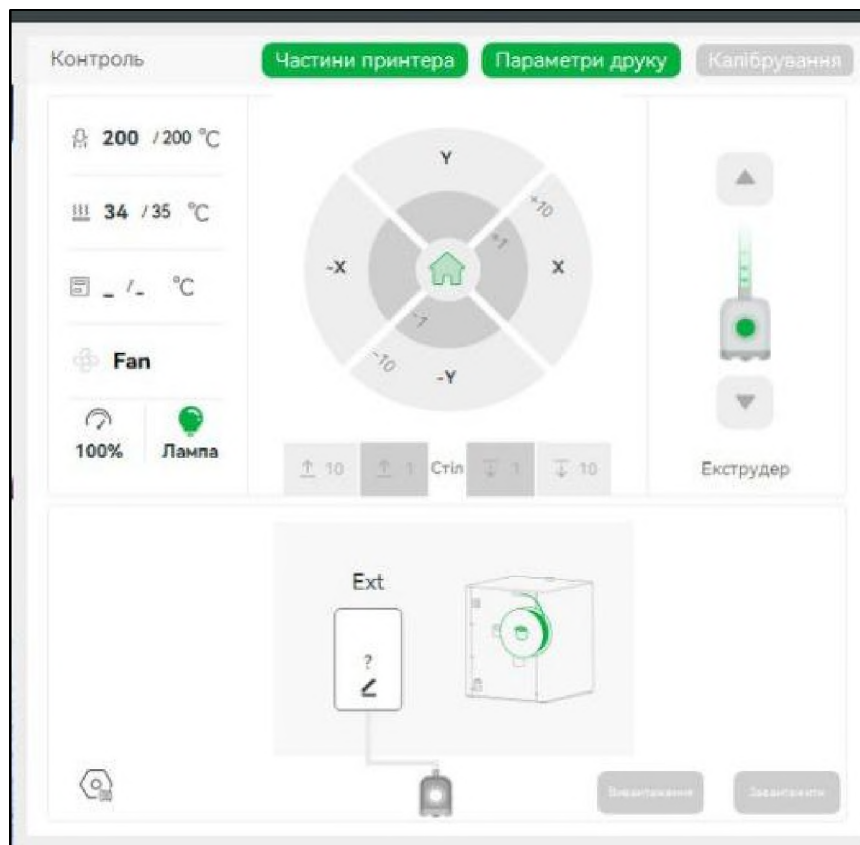


Рис. 2.10. Апаратна підготовка 3D-принтера

Підготовка філаменту передбачає звільнення технологічного отвору подачі нитки, шляхом натискання опорного гвинта, заправлення закінчення нитки в подаючий отвір друкуючої головки з подальшим захоплення зубчатим модулем та подачею нитки до нагрівального елемента, де здійснюється її нагрівання.

Після етапу підготовки технологічних режимів роботи 3D-принтер розпочинає друк моделі (рис.2.11), в результаті якої отримуємо готовий виріб (рис.2.12), який повністю відповідає створеній тривимірній моделі.

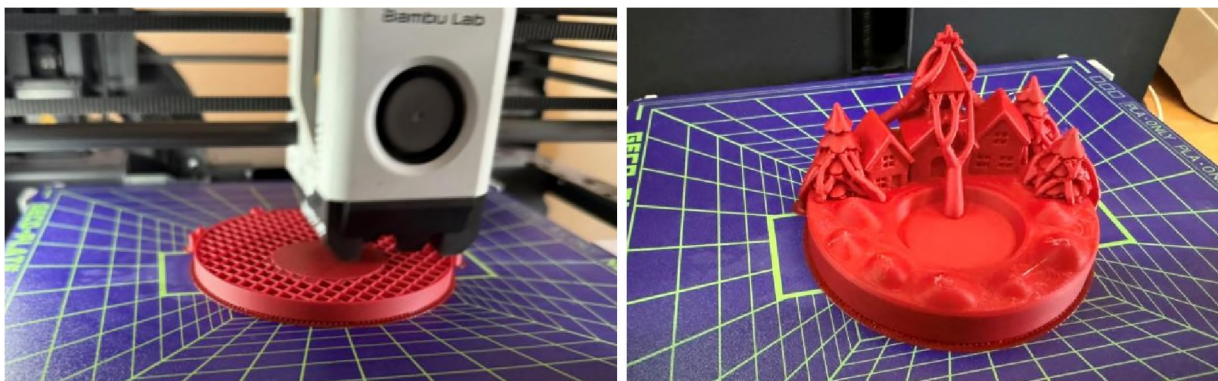


Рис.2.11. Технологічний процес 3D-друку моделі



Рис.2.12. Готовий виріб

Впровадження запропонованого змісту і методики сприятиме формуванню практичних навичок застосування адитивних технологій майбутніми фахівцями комп'ютерного профілю у професійній діяльності. Представлена методика може успішно використовуватись для виготовлення

тривимірних об'єктів різного призначення в залежності від технологічних потреб. Головною перевагою використання даної технології виготовленні тривимірних об'єктів є доступність та низька собівартість виготовлених моделей.

Вважаємо, що для якісного формування у майбутніх фахівців практичних навичок моделювання та друку тривимірних об'єктів необхідно впроваджувати вивчення таких технологій як обов'язкового компоненту їх освітнього процесу. Це сприятиме формуванню професійних компетентностей у майбутніх фахівців комп'ютерного профілю та розвиватиме необхідність безперервної освіти та їх творчої самореалізації на практиці з ефективним використанням сучасних цифрових технологій, що є основою розвитку цифрового суспільства і передбачено у Стратегії сталого розвитку [17].

На основі запропонованої методики для студентів спеціальності А5 Професійна освіта за спеціалізацією А5.39 Цифові технології було розроблено відповідне методичне забезпечення (Додаток Б).

2.4. Експериментальна перевірка ефективності запропонованої методики

Для оцінки ефективності запропонованої методики в освітньому процесі було проведено експеримент на базі інженерно-педагогічного факультету ТНПУ, у процесі навчання бакалаврів спеціальності Професійна освіта (Цифрові технології) в межах курсу «Інженерна комп'ютерна графіка». Спочатку визначили експериментальну та контрольну групи, що мали однаковий рівень знань, зафіксований на початку експерименту. Дослідження тривало один семестр, в якому було залучено 18 студентів. Тому студентів умовно розділили на контрольну (КГ) та експериментальну (ЕГ) групи.

У ході експерименту було здійснено початкове та підсумкове контрольні вимірювання (Додаток В) з метою визначення змін у навчальній діяльності та якості знань студентів. На основі отриманих результатів проводилося порівняння показників навчальної успішності здобувачів обох груп. Рівень сформованості професійних умінь у контрольній та експериментальній групах оцінювали після завершення дослідження, що дало можливість визначити вплив запропонованої методики на розвиток фахових навичок і професійних якостей студентів.

На основі результатів вступного аналізу було визначено коефіцієнт повноти засвоєння змісту понять за формулою 2.1.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{nN} \quad (2.1)$$

де n_i – кількість ознак, засвоєних i -м студентом;

n – кількість ознак (елементів) поняття, які на даний момент повинні бути засвоєні;

N – кількість студентів, що виконували роботу.

В таблиці 2.3 представлено результати проведення вступного контролю знань студентів, відповідно до яких їх віднесено до певних рівнів.

Таблиця 2.3

Показники знань студентів експериментальної та контрольної груп на початку експерименту

Група	К-ть	Рівні знань				K
		Низький	Середній	Достатній	Високий	
		к-ть студентів	к-ть студентів	к-ть студентів	к-ть студентів	
КГ	10	2	5	2	1	0,63
ЕК	8	2	4	2	0	0,61

Таким чином, у ході дослідження було здійснено впровадження розробленої методики навчання у процес підготовки студентів експериментальної групи (ЕГ). Організація їхньої навчальної діяльності передбачала використання спеціально підготовлених методичних матеріалів, що забезпечило підвищення ефективності освітнього процесу та сприяло більш якісному засвоєнню професійних компетентностей.

Застосування цієї методики у навчанні студентів ЕГ виявилось результативним: зафіксовано помітне зростання рівня їхніх знань. Якщо на початку експерименту більшість здобувачів демонстрували переважно середній або низький рівень підготовки, то на завершальному етапі значна частина студентів продемонструвала істотне покращення результатів. Крім того, протягом усього періоду дослідження спостерігалася позитивна динаміка зростання середніх показників успішності студентів ЕГ у порівнянні з аналогічними результатами контрольної групи (КГ), що підтверджує ефективність упровадженої методики.

У таблиці 2.4 наведено результати підсумкового контролю знань студентів, на основі яких буде визначено коефіцієнт повноти засвоєння змісту понять.

Таблиця 2.4

**Показники знань студентів ЕГ та КГ після
проведення експерименту**

Група	К-ть	Рівні знань				K
		Низький	Середній	Достатній	Високий	
		к-ть студентів	к-ть студентів	к-ть студентів	к-ть студентів	
КГ	10	1	3	5	1	0,65
ЕК	8	0	2	3	3	0,87

Таким чином, результати дослідження дають підстави стверджувати, що коефіцієнт повноти засвоєння навчального матеріалу студентами

експериментальної групи (ЕГ) істотно перевищує показники контрольної групи (КГ), що свідчить про дієвість запровадженої методики. На основі отриманих даних були побудовані відповідні діаграми (рис. 2.13), які наочно демонструють динаміку змін коефіцієнтів засвоєння знань у студентів обох груп. Зростання цих показників підтверджує наявність позитивних тенденцій у навчальній діяльності учасників експерименту.

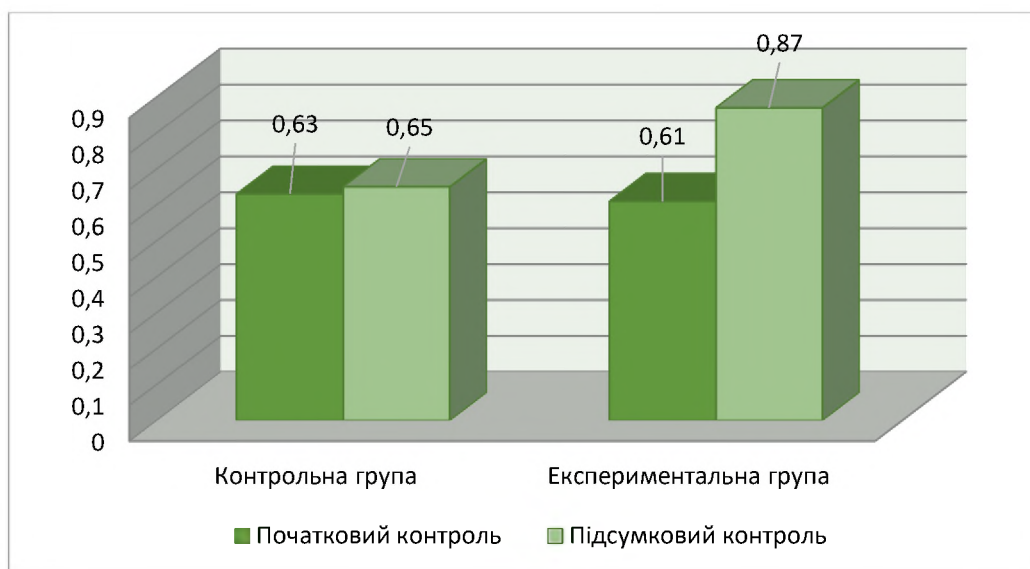


Рис. 2.13. Розподіл коефіцієнтів повноти засвоєння знань

Отже, підсумовуючи результати експериментального дослідження, можна стверджувати, що запропонована методика навчання виявилася ефективною у процесі опанування дисципліни «Інженерна комп'ютерна графіка». Студенти експериментальної групи продемонстрували вищий рівень творчості під час аналізу й виконання навчальних завдань, а також продемонстрували помітне підвищення успішності. Це підтверджується зростанням коефіцієнта повноти засвоєння знань на 0,26, що свідчить про позитивний вплив методики на якість підготовки здобувачів освіти.

Висновки до другого розділу

Охарактеризовано основні типи сучасних адитивних технологій: екструзія матеріалу, фотополімеризація, селективне плавлення у порошковому шарі, струменеве нанесення матеріалу, струменеве склеювання. Проведено аналіз найбільш популярних програмних рішень для 3D-друку: Ultimaker Cura, PrusaSlicer, Simplify3D, Bambu Studio. На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що використання Bambu Studio у процесі підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю є доцільним та педагогічно обґрунтованим.

Аналіз робочої програми освітнього компоненту «Інженерна комп'ютерна графіка» дозволив нам зробити висновок, що у його структурі не передбачено вивчення адитивних технологій. Також, слід зазначити, що у робочій програмі не передбачена інноваційна діяльність майбутніх фахівців, яка передбачає розробку навчальних проєктів, поєднуючи графічну діяльність, виготовлення макетів засобами 3D-друку. Це актуалізує потребу вдосконалення змісту і методики через окреслення нових цілей, модернізацію навчально-методичних комплексів, методів та засобів навчання.

Розроблено методику навчання адитивних технологій майбутніх фахівців комп'ютерного профілю, шляхом удосконалення змісту проаналізованого освітнього компоненту. Виокремлено основні уміння та навички, які будуть сформовані у майбутніх фахівців комп'ютерного профілю після вивчення зазначеного змістового модуля. Описано технологічний процес 3D-друку моделі.

Для оцінки ефективності запропонованої методики в освітньому процесі було проведено експеримент на базі інженерно-педагогічного факультету ТНПУ, у процесі навчання бакалаврів спеціальності Професійна освіта (Цифрові технології). Здійснено впровадження розробленої методики навчання у процес підготовки студентів експериментальної групи, які продемонстрували вищий рівень творчості під час аналізу й виконання навчальних завдань, а

також продемонстрували помітне підвищення успішності. Це підтверджується зростанням коефіцієнта повноти засвоєння знань на 0,26, що свідчить про позитивний вплив методики на якість підготовки здобувачів освіти.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано теоретичні засади підготовки фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій. Встановлено, що підготовка майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до використання засобів 3D-модельовання та адитивного виробництва зумовлена швидким розвитком адитивних технологій у різноманітних сферах людської діяльності та зростанням потреби суспільства у фахівцях, здатних ефективно працювати з такими інструментами. Для ефективного навчання студентів роботи з адитивними технологіями необхідно дотримуватися низки провідних педагогічних принципів: систематичності та послідовності, доступності, наочності, інноваційності та випереджаючого навчання, практико-орієнтованого навчання.

2. Розкрито алгоритм виготовлення тривимірних об'єктів за допомогою середовища Bambu Studio. Проведено аналіз найбільш популярних програмних рішень для 3D-друку: Ultimaker Cura, PrusaSlicer, Simplify3D, Bambu Studio. На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що використання Bambu Studio у процесі підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю є доцільним та педагогічно обґрунтованим. Описано технологічний процес 3D-друку моделі.

3. Запропоновано методику підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування адитивних технологій. Виокремлено основні уміння та навички, які будуть сформовані у майбутніх фахівців комп'ютерного профілю після вивчення зазначеного змістового модуля. Розроблено методичне забезпечення для проведення лабораторних занять і тестові завдання для контролю знань студентів.

4. Для оцінки ефективності запропонованої методики в освітньому процесі було проведено експеримент на базі інженерно-педагогічного факультету ТНПУ, у процесі навчання бакалаврів спеціальності Професійна

освіта (Цифрові технології). Здійснено впровадження розробленої методики навчання у процес підготовки студентів експериментальної групи, які продемонстрували вищий рівень творчості під час аналізу й виконання навчальних завдань, а також продемонстрували помітне підвищення успішності. Це підтверджується зростанням коефіцієнта повноти засвоєння знань на 0,26, що свідчить про позитивний вплив методики на якість підготовки здобувачів освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку. *Інформаційні технології для виробництва : наука, технології, інновації*. 2017. №1. С. 68-77.
2. Андрощук Г. О. 3D-друк в епоху інноваційних технологій: проблеми регулювання. *Інтелектуальна власність в Україні*. 2016. № 5. С. 17-26.
3. Башкір О. І. Активні й інтерактивні методи навчання у вищій школі. *Educational challenges*, 2019. №60. С. 33-44.
4. Бойчук В. М., Горбатюк Р. М., Кучер С. Л. Методика використання інформаційно-комунікаційних технологій у підготовці майбутніх вчителів ремесл та технологій до проектної діяльності. *ITLT*. 2019. Вип.71(3). С.137-153.
5. Найамбіційніший проект : Україна та Норвегія розробляють унікальний 3D-міношукач. URL : <https://www.5.ua/suspilstvo/ukraina-ta-norvehiiia-rozrobliaiut-na-paneli-v-oslo-147733.html>.
6. Осадча К., Чемерис Г. Добір засобів тривимірного моделювання для формування графічної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук. *Information Technologies and Learning Tools*. 2017. V.62. №6. Р. 70-85.
7. Ожга М. М., Потапчук О. І., Ящик О. Б. Використання методу проєктів під час навчання систем тривимірного проєктування майбутніх інженерів-педагогів. *Наукові записки Тернопільського національного університету імені Володимира Гнатюка* : зб. наук. праць. Серія : Педагогіка. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2020. № 2. С. 32-41.
8. Поліщук В. В. 3D технології в освіті. *Актуальні питання сучасної інформатики*, 2017. №4. С. 97-100.
9. Пометун О. І. Інтерактивні методи навчання. *Енциклопедія освіти*, 2021. С. 417-418.

10. Потапчук О. І. Концепція системи підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування цифрових технологій. *Наука і техніка сьогодні*. 2024. №5(33). С. 839-850.

11. Потапчук О. І. Особливості проектної діяльності студентів в навчальному процесі закладів вищої освіти. *Молодь і ринок*. Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2019. Вид. 2(169). С. 59-63.

12. Потапчук О. І. Сучасні вимоги цифрового суспільства до фахівців комп'ютерного профілю. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького*. Серія: Педагогічні науки. 2022. Вип. 4. С. 78-82.

13. Потапчук О. І. Теоретичні та методичні засади підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування цифрових технологій: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04. 2024. 496 с. URL : https://tnpu.edu.ua/naukova-robota/documents-download/d-58-053-01/Dis_Potapchuk.pdf.

14. Сисоєва С. О., Осадча К. П. Стан, технології та перспективи дистанційного навчання у вищій освіті України. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2019. №70(2). С. 271-284.

15. Скалич Л. Й. Традиційні та нетрадиційні принципи навчання у їх взаємозв'язку. *Наукові записки [Національного університету Острозька академія]. Психологія і педагогіка*, 2013. № 22, С. 178-180.

16. Стандарт вищої освіти України перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 01 – «Освіта / Педагогіка», спеціальність 015 – «Професійна освіта (за спеціалізаціями)». URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/zatverdzeni-standarti-vishoyi-osviti>

17. Стратегія сталого розвитку : підручник. Вид. 2-ге, перероб. і доп. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2018. 328 с.

18. Стрельніков В. Ю. Принципи інтенсифікації навчання. *Наукова спадщина академіка Івана Зязюна у вимірах сучасності і майбутнього*, 2017. С. 30-31.
19. Струтинська О. В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. *Науковий часопис НПУ імені МП Драгоманова. Серія 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*, 2018. №20 (27). С. 88-94.
20. Ходаков В. Є., Соколов А. Є., Веселовська Г. В., Борисенко Є. С. Дослідження та моделювання предметної галузі комп'ютерних технологій тривимірного друку в контексті вдосконалювання комп'ютерних систем інформаційної підтримки самостійної роботи з набуття компетенцій у даній галузі. *Прикладні питання математичного моделювання*, 2019. № 2(1). С. 133-140.
21. Чернишов С. І. Підвищення ефективності інтегрованих технологій пошарового вирощування виробів на основі статистичного прогнозування : дис. ... канд. наук: 05.02.08. Харківський національний технічний університет. Харків, 2006.
22. Щербина В. М., Холодняк Ю. В., Івженко О. В. Впровадження комп'ютерної графіки в навчальний процес при підготовці фахівців інженерних спеціальностей. 2020.
23. Bambu Studio : Bambu Lab, 2024. URL: <https://bambu.net.ua/bambu-studio>
24. Beniak J., Križan P., Matúš M. Comparison of FDM Slicers and Their Influence on Mechanical Properties of Prints. *Manufacturing Technology*. 2020. Vol. 20, No. 2. P. 155–161.
25. Cahyati S., Aziz H. R. The Influence of Different Slicer Software on 3D Printing Products Accuracy and Surface Roughness. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2021. Vol. 12, No. 3. P. 457–465. URL: <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/822>

26. Hevko I. V., Potapchuk O. I., Lutsyk I. B., Yashchyk O. B., Makarenko L. L. Methodology of using 3D modeling and printing in graphic training of future digital technology specialists. *Information technologies and learning tools*. V. 87. Issue 1. 2022. P. 95-110.

27. Hevko I., Potapchuk O., Sitkar T., Lutsyk I., Koliassa P. Formation of practical skills modeling and printing of three-dimensional objects in the process of professional training of IT specialists. *E3S Web of Conferences*. Vol. 166, 10016. 2020. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85084950480&origin=resultslist>

28. Hevko I. V., Potapchuk O. I., Lutsyk I. B., Yavorska V. V., Hiltay L. S., Stoliar O. B. A novel pedagogical approach to equipping prospective IT professionals with skills in 3D modelling and reconstruction of architectural heritage. *In CEUR Workshop Proceedings*, 2025. pp. 85-101.

29. Kagermann H., Anderl R., Gausemeier J., Schuh G., Wahlster W. Industrie 4.0 in a Global Context. Strategies for Cooperating with International Partners. Herbert Utz Verlag GmbH, 2016. 74 p. URL: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech_eng_STUDIE_Industrie40_global_Web.pdf

30. PrusaSlicer Documentation. URL: https://help.prusa3d.com/category/prusaslicer_204

31. Simplify3D LLC, 2024. URL: <https://www.simplify3d.com/support/>

32. Ultimaker Cura : Documentation. URL: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>

33. World Intellectual Property Report Breakthrough Innovation and Economic URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_944_2015.pdf

ДОДАТКИ

**Результати участі у конференції
«Моделі міждисциплінарних та міжгалузевих освітніх та освітньо-
наукових програм в умовах воєнного стану: виклики та варіанти
впровадження»**



Лабораторна робота

Друк 3D-моделі на принтері

Мета роботи: ознайомлення студентів з основами технології адитивного виробництва, принципами роботи 3D-принтера, етапами підготовки та друку цифрової 3D-моделі, а також формування практичних навичок використання програмного забезпечення для підготовки моделей до друку.

Завдання роботи

Після виконання лабораторної роботи студент повинен уміти:

- завантажувати та редагувати 3D-моделі у відповідному програмному середовищі (Cura, PrusaSlicer тощо);
- налаштовувати параметри друку (висота шару, товщина стінки, заповнення, температура, швидкість тощо);
- підготувати модель до друку та сформувати G-код;
- здійснити друк 3D-моделі на принтері;
- оцінити якість надрукованого виробу та визначити можливі помилки й способи їх усунення.

Теоретичні відомості

3D-друк є ключовою технологією адитивного виробництва, що передбачає пошарове формування фізичного об'єкта на основі цифрової 3D-моделі. Найпоширенішою технологією для навчальних і побутових потреб є FDM/FFF (Fused Deposition Modeling), яка базується на плавленні полімерної нитки (PLA, PETG, ABS) та пошаровому нанесенні матеріалу через екструдер. Процес друку включає два основні етапи: **підготовку моделі** у спеціальному програмному середовищі (slicer) та **безпосереднє виготовлення об'єкта** на принтері.

Під час слайсингу модель розрізається на шари, визначаються траєкторії руху сопла, параметри матеріалу та формуються інструкції у вигляді G-коду. Якість друку залежить від точності калібрування платформи, налаштування

температури, швидкості, висоти шару, щільності заповнення та інших параметрів, що потребує професійних навичок і практичного досвіду.

Обладнання та програмне забезпечення

- 3D-принтер (тип FDM/FFF);
- комп'ютер із встановленим ПЗ для слайсингу (Cura, PrusaSlicer або інше);
- полімерна нитка (PLA рекомендовано для навчальних робіт);
- цифрова 3D-модель у форматі STL/OBJ;
- засоби для обробки готового виробу (скребок, ножиці, спирт для очищення платформи).

Хід виконання роботи

Крок 1. Вибір або створення 3D-моделі

- Оберіть готову модель або створіть власну у програмі 3D-моделювання (Tinkercad, Fusion 360, Blender).

- Експортуйте модель у форматі STL.

Крок 2. Підготовка моделі в слайсері

- Імпортуйте STL-файл у програму слайсингу.
- За потреби виконайте масштабування, поворот або віддзеркалення моделі.

- Налаштуйте параметри друку:

- висота шару (0.1–0.2 мм);
- температура сопла та стола;
- швидкість друку;
- щільність заповнення (infill);
- наявність підтримок (supports);
- тип підкладки (brim/raft).

- Згенеруйте G-код та збережіть його на карту пам'яті.

Крок 3. Підготовка принтера до роботи

- Вирівняйте (калібруйте) робочу платформу.

- Очистьте поверхню столу від залишків матеріалу.
- Завантажте нитку у екструдер.

Крок 4. Друк моделі

- Запустіть друк G-коду на принтері.
- Спостерігайте за першим шаром, оскільки від його якості залежить успішність усього процесу.
- Після завершення дайте моделі охолонути, після чого акуратно зніміть її зі столу.

Крок 5. Аналіз результатів

- Оцініть точність та якість надрукованої моделі.
- Опишіть можливі дефекти (нитки, прошарки, розшарування, деформація) та визначте їх причини.
- Запропонуйте способи оптимізації параметрів друку.

У процесі виконання лабораторної роботи студенти отримали практичні навички роботи з 3D-принтером, ознайомилися з принципами слайсингу, налаштуванням параметрів друку та етапами формування фізичної моделі з цифрового файлу. Здобуті знання є основою для подальшого вивчення адитивних технологій та їх застосування у професійній діяльності фахівців комп'ютерного профілю.

Контрольні запитання

1. Що таке адитивні технології та в чому їхня перевага?
2. Які типи матеріалів використовуються у FDM-друці?
3. Які основні параметри впливають на якість 3D-друку?
4. Для чого використовується слайсер?
5. Які причини виникнення дефектів при друці?
6. Які вимоги до першого шару моделі?

Тестові завдання

1. Який матеріал було обрано як основний для друку моделі 'Diorama Teahouse'?
А) ABS
Б) PETG
В) Generic PLA
Г) TPU
2. Яка висота шару була встановлена для профілю "0.20mm Standard @BBL P1P"?
А) 0.10 мм
Б) 0.20 мм
В) 0.30 мм
Г) 0.40 мм
3. Якою була температура столу (Bed) під час друку PLA на Bambu Cool Plate?
А) 60 °C
Б) 45 °C
В) 35 °C
Г) 20 °C
4. Який параметр визначає горизонтальну товщину стінок моделі, і яке його значення було встановлено?
А) Щільність заповнення (15%).
Б) Кількість периметрів (2).
В) Товщина нижньої оболонки (0.8 мм).
Г) Ширина лінії першого шару (0.5 мм).
5. Навіщо для цієї моделі (з дахами, ялинками) було активовано підтримки (Supports) з кутом порогу 30° ?
А) Для забезпечення адгезії (прилипання) моделі до столу.
Б) Для прискорення друку складних деталей.
В) Для запобігання провисанню (sagging) нависаючих елементів (overhangs).
Г) Для збільшення механічної міцності внутрішніх стінок.
6. Чому було обрано 15% щільності заповнення (infill), а не 100%?
А) Щоб забезпечити максимальну прозорість моделі.
Б) Для оптимізації часу друку та економії матеріалу, зберігаючи при цьому достатню міцність.
В) Щоб зробити модель гнучкою.
Г) Тому що 15% є максимально можливою щільністю.

7. На якому етапі процесу друку, згідно з моніторингом, модель була на 3% і який шар друкувався?

А) На 30-му шарі.

Б) На 0-му шарі.

В) На 344-му шарі.

Г) На етапі очищення сопла.

8. Розрахуйте загальну розрахункову вагу філаменту, необхідну для друку, якщо вага самої моделі складає 15.99 г, а вага підтримок — 5.92 г.

А) 15.99 грам

Б) 7.99 метрів

В) 21.91 грам

Г) 65.36 грам

9. Загальна товщина суцільної верхньої оболонки складає 1 мм. Скільки суцільних шарів (Solid Top Layers) було встановлено для її формування, якщо висота шару 0.2 мм?

А) 3 шари

Б) 4 шари

В) 5 шарів

Г) 6 шарів

10. Яка головна перевага використання ширини лінії першого шару (0.5 мм), що є більшою, ніж діаметр сопла (0.4 мм)?

А) Збільшення деталізації дрібних елементів моделі.

Б) Збільшення механічної міцності верхньої частини моделі.

В) Скорочення загального часу друку.

Г) Покращення адгезії та заповнення проміжків на столі.