

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук  
(повна назва)

Кафедра Медіасистем та технологій  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Створення електронної бібліотеки кінестетичних освітніх ресурсів  
(тема)

Виконав:  
здобувач 4 року навчання,  
групи ВПВПС-21-4




Діана ХОРОШИЛОВА  
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма  
Видавничо-поліграфічна справа  
(повна назва освітньої програми)

Керівник  доц. Павло КОЗУБ  
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту  
Завідувач кафедри МСТ

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Жанна ДЕЙНЕКО  
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерних наук \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ Медіасистем та технологій \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 186 Видавництво та поліграфія \_\_\_\_\_  
Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Видавничо-поліграфічна справа \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Зав. кафедри МСТ \_\_\_\_\_  
(підпис)  
« 19 » травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві \_\_\_\_\_ *Хорошилової Діані Олександрівні* \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ *Створення електронної бібліотеки кінестетичних освітніх ресурсів* \_\_\_\_\_

Затверджена наказом по університету від \_\_\_\_\_ 19 травня 2025 р. № 385 Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 30 травня 2025 р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи

*Національні та міжнародні стандарти для електронних друкованих видань; Методи та принципи побудови інтерфейсу користувача; Вимоги та міжнародні стандарти до освітніх ресурсів; Вимоги та міжнародні стандарти до тривимірного друку.*


4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

*Аналіз технічного завдання; Аналітичний огляд літератури за темою; Поняття кінестетики. Кінестетичне навчання; Використання 3D друку в навчанні; Вибір та обґрунтування програмного забезпечення; Вибір та обґрунтування друкарського обладнання; Опис практичної частини; Економічна частина; Висновки.*

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

*Титульний слайд; Аналіз технічного завдання; Аналітичний огляд літератури; Вибір та обґрунтування програмного забезпечення; Вибір та обґрунтування друкарського обладнання; Опис практичної частини створення комплекту моделей; Економічна частина; Висновки.;*

6. Консультанти розділів роботи (п. 6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п. 1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доц. Козуб П.А.		01.05.2025
Економічна частина	ас. Легеза О.М.		03.06.2025

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	19.05	виконано
2	Аналітичний огляд літератури за темою	20.05	виконано
3	Вибір та обґрунтування програмного забезпечення	22.05	виконано
4	Вибір та обґрунтування друкарського обладнання	24.05	виконано
5	Створення кінестетичних моделей	26.05	виконано
6	Підготовка комплекту моделей до друку	27.05	виконано
7	Економічна частина	29.05	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	30.05	виконано
9	Оформлення графічної частини	31.05	виконано

Дата видачі завдання 19 травня 2025 р.

Здобувач



(підпис)

Керівник роботи



(підпис)

доц. Павло КОЗУБ

(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 58 с., 6 табл., 26 рис., 1 дод., 16 джерел.

КІНЕСТЕТИКА, 3D-МОДЕЛЮВАННЯ, БІОЛОГІЯ, КІНЕСТЕТИЧНІ МОДЕЛІ, 3D ДРУК, BLENDER, STEM-ОСВІТА.

Метою кваліфікаційної роботи є створення кінестетичних 3D моделей для навчальної програми з курсу біології середньої школи.

Проаналізовано вплив кінестетичних засобів навчання на залученість до навчання учнів. Проведено аналіз можливостей 3D друку для кінестетичного навчання. Обрано програмне забезпечення та встановлено що оптимальним варіантом є Blender та Ultimaker Cura.

Обрано друкарське обладнання та показано що оптимальним є FDM принтер. Запропоновано найбільш необхідні для навчального процесу моделі клітин. Створено моделі та підготовлено їх до друку. Роздруковано моделі та передано до навчальних закладів. Файли створених моделей внесено у бібліотеку кінестетичних засобів навчання.

Фізичні моделі передано до Харківського ліцею № 144, № 173 та №141 для вдосконалення навчального процесу на новий 2025/26 роки.

## ABSTRACT

Explanatory note of the qualification work: 58 p., 6 tab., 26 pic., 1 app., 16 sources.

KINESTETIC, 3D MODELING, BIOLOGY, KINESTETIC MODELS, 3D PRINTING, BLENDER, STEM-EDUCATION.

The aim of this qualification work is to create kinesthetic 3D models for the secondary school biology curriculum.

The impact of kinesthetic learning tools on student engagement has been analyzed. The potential of 3D printing for kinesthetic learning was also examined. Software was selected, and Blender and Ultimaker Cura were identified as the optimal options.

Printing equipment was chosen, and the FDM printer was determined to be the most suitable. The most essential cell models for the educational process were proposed. The models were created and prepared for printing. They were printed and delivered to educational institutions. The files of the created models were added to the library of kinesthetic learning tools.

The physical models were delivered to Kharkiv lyceums No. 144, 173, and 141 to enhance the educational process for the upcoming 2025/26 academic year.

## ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ .....	11
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ .....	13
2.1 Поняття кінестетики та кінестетичного навчання .....	13
2.2 Технології та особливості 3D друку в навчанні .....	15
2.4 Електронні бібліотеки, їх призначення .....	17
3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	19
3.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для створення 3D моделей .....	19
3.2 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для підготовки моделей до друку.....	23
3.3 Інтеграція програмного забезпечення у єдиний робочий процес.....	26
4 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДРУКАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ .....	28
4.1 Специфічні вимоги до друку кінестетичних моделей.....	28
4.2 Вибір типу 3D принтера для кінестетичних моделей .....	29
4.3 Додаткове обладнання .....	33
5 ОПИС ПРАКТИЧНОЇ ЧАСТИНИ .....	35
5.1 Вимоги до кінестетичних моделей .....	35
5.2 Вибір дизайну. ....	36
5.3 Створення моделей клітин .....	37
5.3.1 Створення моделі рослинної клітини .....	38
5.3.2 Створення моделі тваринної клітини .....	40
5.3.3 Створення моделі грибнової клітини .....	41
5.3.4 Створення моделі клітини бактерії.....	43
5.4 Підготовка до друку та тестовий друк моделей .....	45
5.5 Завантаження комплекту моделей в електронну бібліотеку.....	49

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	51
ВИСНОВКИ .....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	57
ДОДАТОК А Створені кінестетичні моделі.....	59

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

Філамент – це пластикова нитка, яка використовується в 3D-принтерах для створення об'єктів методом пошарового нанесення.

STEM – це освітній підхід, який об'єднує навчання у сферах природничих наук (Science), технологій (Technology), інженерії (Engineering) та математики (Mathematics).

НУШ – Нова Українська Школа.

Інклюзивність (включення, залучення) – це принцип, який передбачає залучення та підтримку людей з різними потребами, здібностями та походженням до участі у різних сферах життя.

## ВСТУП

В наш час у сучасному освітньому середовищі спостерігається активне впровадження інноваційних підходів до навчання, які враховують індивідуальні особливості сприйняття та засвоєння інформації учнями. Одним із перспективних напрямів є кінестетика – засоби і методики, орієнтовані на залучення рухової активності та тактильних відчуттів у навчальному процесі.

Кінестетичне навчання базується на розумінні того, що значна частина учнів найкраще засвоює матеріал через взаємодію з простором, предметами, рухами. Такий підхід особливо актуальний у початковій та середній школі, а також у роботі з дітьми з особливими потребами. Завдяки кінестетичним ресурсам навчання стає більш інтерактивним, емоційно залученим і, як наслідок, ефективнішим.

Актуальність теми зумовлена активним розвитком нових інклюзивних освітніх підходів та технологій, зокрема 3D-моделювання, доповненої реальності, 3D-друку та інтерактивного шкільного обладнання, які відкривають нові можливості для створення ефективного кінестетичного навчального середовища. Такі ресурси можуть значно підвищити рівень залучення учнів середніх та молодших класів до розвитку просторового мислення, дрібної моторики, креативності і сприяють глибшому розумінню навчального матеріалу.

Розроблюванні кінестетичні ресурси будуть розраховані на учнів 6-7 класів середньої школи. Вони будуть відображати модель будови біологічних клітин різних видів, які безпосередньо відносяться до зображень в підручниках учнів. Кольорів в моделях не передбачено, так як вони розраховані на друк в 3D принтері.

Метою даної роботи є створення кінестетичних моделей та наповнення ними безкоштовної електронної бібліотеки освітніх ресурсів, задля того щоб підвищити залучення учнів до навчального процесу.

Виконання даної кваліфікаційної роботи передбачає:

- аналіз завдання на кваліфікаційну роботу;
- аналітичний огляд літератури;
- вибір та обґрунтування програмного забезпечення;
- вибір та обґрунтування друкарського обладнання;
- створення кінестетичних моделей;
- заповнення електронної бібліотеки створеними моделями;
- оцінка економічної складової розробки електронного продукту.

Згідно з сформульованими задачами визначається структура даної кваліфікаційної роботи.

У вступі розглянуто актуальність проблеми, об'єкт та мету дослідження, сформульовані задачі, а також структуру даної роботи.

У першому розділі роботи проведено аналіз технічного завдання на кваліфікаційну роботу.

Другий розділ містить аналітичний огляд літератури за темою роботи.

У третьому розділі проведено вибір та обґрунтування програмного забезпечення для створення комплекту кінестетичних ресурсів.

У четвертому розділі проведено вибір та обґрунтування друкарського обладнання для реалізації комплекту кінестетичних ресурсів.

П'ятий розділ містить в собі опис створення моделей, вибір дизайну, підготовку до друку та тестовий друк.

В кінці проведено економічне обґрунтування розробки проєкту.

## 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Технічне завдання на створення електронної бібліотеки кінестетичних освітніх ресурсів передбачає безпосередню розробку тривимірних моделей клітин для використання у шкільному курсі біології, а саме схематичних клітини тварин, грибів, рослин та бактерій, після чого вони будуть завантажені в електронну бібліотеку.

Основними користувачами електронної бібліотеки є учні 7-9 класів середньої школи, які вивчають курс загальної біології, а також вчителі біології, які прагнуть використовувати сучасні педагогічні інструменти в своїй роботі. До цільової аудиторії також належать батьки, які допомагають дітям у домашньому навчанні та розвитку інтересу до природничих наук.

Електронна бібліотека повинна містити чотири основні типи 3D-моделей клітин. Тваринна клітина має бути представлена з чітко виділеними органелями, включаючи ядро, мітохондрії, ендоплазматичну сітку та апарат Гольджі. Рослинна клітина повинна демонструвати характерні структури, такі як хлоропласти, вакуоля та клітинна стінка. Грибна клітина має відображати специфічні особливості будови, притаманні цьому царству організмів. Бактеріальна клітина повинна показувати прокаріотичну організацію з відсутністю оформленого ядра та мембранних органел.

Технічні характеристики системи включають оптимізацію моделей для 3D-друку з можливістю створення фізичних макетів, сумісність з поширеними форматами файлів, зокрема STL та OBJ, а також адаптацію для різних типів 3D-принтерів. Це дозволить освітнім закладам з різним рівнем технічного оснащення використовувати розроблені моделі.

Для реалізації проекту обрано професійні програмні рішення, які забезпечують високу якість результату. Blender використовується для створення та редагування 3D-моделей завдяки своїй безкоштовності та потужному функціоналу, який дозволяє створювати складні геометричні

форми з високою деталізацією. UltiMaker Cura застосовується для підготовки моделей до друку та оптимізації параметрів друку, що гарантує якісне відтворення моделей на фізичних носіях.

Електронна бібліотека повинна містити чотири основні типи 3D-моделей клітин. Тваринна клітина має бути представлена з чітко виділеними органелями, включаючи ядро, мітохондрії, ендоплазматичну сітку та апарат Гольджі. Рослинна клітина повинна демонструвати характерні структури, такі як хлоропласти, вакуоля та клітинна стінка. Грибна клітина має відображати специфічні особливості будови, притаманні цьому царству організмів. Бактеріальна клітина повинна показувати прокаріотичну організацію з відсутністю оформленого ядра та мембранних органел.

Реалізація проєкту дозволить забезпечити індивідуалізований підхід до навчання, розвивати просторове мислення учнів та модернізувати матеріально-технічну базу шкіл. Впровадження таких технологій створює передумови для розвитку STEM-освіти та відкриває нові можливості для інтерактивного навчання біології. Цей проєкт може стати основою для розширення бібліотеки іншими біологічними об'єктами в майбутньому, включаючи моделі тканин, органів та систем органів, що значно збагатить арсенал сучасних освітніх інструментів.

## 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ

### 2.1 Поняття кінестетики та кінестетичного навчання

Сучасна психологія та педагогіка виділяють чотири основні типи сприйняття та переробки інформації людиною, а саме візуальний, аудіальний, кінестетичний та дискретний типи, причому особливу увагу в даному дослідженні приділено саме кінестетичному типу сприйняття та його унікальним характеристикам. Кінестетика як психофізіологічне явище являє собою комплексну здатність людського організму сприймати та глибоко усвідомлювати просторове положення і динаміку рухів власного тіла, одночасно забезпечуючи ефективну взаємодію з навколишнім середовищем через широкий спектр тактильних відчуттів, включаючи дотикові, тискові, температурні та інші різноманітні тілесні сенсорні сигнали. Етимологічні корені цього терміна сягають давньогрецької мови, де *kinesis* означає рух, а *aisthēsis* перекладається як відчуття, що повною мірою відображає суть цього типу сприйняття інформації.

Від слова кінестетика походить тип людей – кінестетики. Кінестетики це люди, які переважно сприймають інформацію через дотик. Люди цього типу дуже чутливі до тактильних відчуттів, та їм складно сприймати інформацію, що не пов'язана з фізичними діями. І особливо складно сприймати інформацію саме дітям-кінестетикам, бо вони не можуть довго всидіти на місці.

У навчальному процесі кінестетичний підхід передбачає використання методів, що залучають учнів до активної участі через фізичні дії, маніпуляції з об'єктами та практичні завдання. Люди, у яких домінує кінестетичний стиль сприйняття, найкраще засвоюють інформацію через практичну діяльність, рухи, дотики та фізичну взаємодію з об'єктами. Саме тому для них цей підхід є найбільш дієвим, та допомагає засвоїти інформацію.

У працях таких педагогів і психологів, як Ж. Піаже та Г. Гарднер, підкреслюється важливість практичного досвіду та багатоканального сприйняття знань. Зокрема, теорія множинного інтелекту Гарднера [10, 11] розглядає тілесно-руховий інтелект як окрему здатність, яка потребує особливих методів і засобів для розвитку. А ось у працях Жана Піаже [14, 15] важливу роль відіграє ідея активного пізнання, заснованого на досвіді й взаємодії з об'єктами, особливо на етапі конкретних операцій (від 7 до 11 років), коли діти ефективно засвоюють інформацію через практичну діяльність. Це дуже важливо в контексті природничих наук, де абстрактні поняття (наприклад, будова клітини або хімічні процеси) краще засвоюються через матеріальні моделі.

Саме тому впровадження кінестетики в сучасний навчальний процес це не тільки важливо, а ще й буде товчком розвитку. Кінестетику можна залучити до процесу освітньої програми «Нова Українська Школа». Нова українська школа – це комплексна освітня реформа, схвалена Кабінетом Міністрів України в грудні 2016 року та розрахована на період до 2029 року. Головна мета НУШ – створити школу, в якій буде приємно навчатись і яка даватиме учням не тільки знання, а й уміння застосовувати їх у повсякденному житті.

Впровадження кінестетичного підходу в освітню систему Нової української школи є стратегічно важливим. Кінестетичні методи навчання органічно інтегруються з компетентнісним підходом, який становить фундаментальну основу НУШ, оскільки забезпечують формування практичних навичок та умінь застосовувати теоретичні знання в реальних життєвих ситуаціях. Тактильна взаємодія з навчальними матеріалами, маніпулювання об'єктами та фізична активність під час навчального процесу сприяють глибшому розумінню предметного змісту, що є ключовою метою освітньої реформи.

Особливе значення кінестетичних методів полягає в їх потенціалі для реалізації принципів інклюзивної освіти, яка є невід'ємною складовою НУШ. Різноманітність кінестетичних активностей дозволяє врахувати індивідуальні

особливості учнів з різними стилями навчання, зокрема дітей з особливими освітніми потребами, забезпечуючи рівні можливості для успішного засвоєння навчального матеріалу. Тактильна взаємодія з навчальними об'єктами часто виявляється більш ефективною для учнів, які мають труднощі з традиційними вербальними або візуальними методами навчання.

Впровадження кінестетичного підходу також безпосередньо підтримує концепцію активного навчання через діяльність, яка є центральною ідеєю НУШ. Практична маніпуляція з предметами, побудова моделей, проведення експериментів та інші форми кінестетичної активності трансформують учнів з пасивних реципієнтів інформації в активних дослідників, що сприяє розвитку критичного мислення, аналітичних здібностей та творчого потенціалу. Такий підхід забезпечує більш глибоке та усвідомлене засвоєння знань, оскільки учні не просто запам'ятовують факти, а розуміють взаємозв'язки та закономірності через власний досвід.

## 2.2 Технології та особливості 3D друку в навчанні

Використання технології 3D-друку в освітньому процесі відкриває нові горизонти для засвоєння знань та розвитку навичок у школярів і студентів. Завдяки можливості створення фізичних моделей 3D-друк сприяє візуалізації складних понять, активізує навчальний процес і стимулює учнів до самостійного мислення та дослідження.

Однією з головних переваг 3D-друку в навчанні є покращення сприйняття абстрактних знань. Наприклад, створення моделей клітин, молекул, геометричних тіл дає змогу учням краще розуміти структуру та функції складових частин об'єктів. За допомогою 3D-друку можна виготовляти спеціальні навчальні матеріали для дітей з порушеннями зору або опорно-рухового апарату, адаптуючи візуальні та тактильні засоби навчання під індивідуальні потреби. Втім, впровадження 3D-друку в освітній процес супроводжується низкою викликів. По-перше, це потреба в

інвестиціях у технічне обладнання (принтери, ресурси, програмне забезпечення). По-друге, учителі мають бути готовими до роботи з новими технологіями, що вимагає підвищення кваліфікації. Також на етапі впровадження можуть виникати технічні труднощі, пов'язані з налаштуванням обладнання, підготовкою цифрових моделей до друку та їх подальшим використанням у навчальному процесі.

Незважаючи на труднощі, досвід освітніх установ по всьому світу показує, що інтеграція 3D-друку в навчальні програми приносить позитивні результати. Сформовані на основі практики освітні стратегії свідчать про ефективність технології в навчанні STEAM-дисциплін (Science, Technology, Engineering, Art, Math), мистецтва, біології та навіть гуманітарних наук.

3D-друк – це сучасна технологія адитивного виробництва, що дає змогу створювати фізичні об'єкти шляхом пошарового додавання матеріалу відповідно до цифрової моделі. Однією з ключових особливостей 3D-друку є адитивний принцип побудови моделей, завдяки якому кількість відходів суттєво зменшується порівняно з традиційними методами (фрезерування, різання тощо). Це робить 3D-друк екологічно привабливим та економічно доцільним для прототипування і малосерійного виробництва.

Значною перевагою цієї технології є висока свобода дизайну. 3D-друк дозволяє створювати об'єкти з надзвичайно складною геометрією, включаючи внутрішні порожнини, органічні форми, тонкі стінки та інші елементи, які складно або неможливо виготовити традиційними методами. Це відкриває широкі можливості в освітньому середовищі, де необхідно візуалізувати складні концепції – наприклад, будову клітини, анатомічні структури або хімічні молекули.

Втім, процес 3D-друку має й свої технічні обмеження. Зокрема, через шарувату структуру друку об'єкти можуть мати анізотропні властивості, тобто різну міцність у різних напрямках. Важливу роль відіграє орієнтація моделі під час друку, оскільки вона впливає як на механічні характеристики об'єкта, так і на потребу в підтримуючих структурах.

Такі структури часто необхідні для елементів із нависанням, і після друку їх потрібно видаляти вручну.

Ще однією характеристикою 3D-друку є обмеження за розміром об'єкта, яке визначається об'ємом робочої камери принтера. Великі моделі доводиться друкувати частинами й згодом збирати. Крім того, час виготовлення однієї моделі може бути тривалим, особливо при високій роздільній здатності (тонких шарах). Після друку зазвичай виконується пост-обробка: шліфування, фарбування або хімічне згладжування поверхні.

Матеріали для 3D-друку також мають різноманітні властивості. Найбільш поширеними є PLA і ABS, але також застосовуються фотополімери (для SLA-друку), гнучкі матеріали, наповнені деревом або металом матеріали для друку, що дозволяє створювати моделі з різними текстурами, вагою і відчуттями на дотик. Це особливо важливо у сфері кінестетичного навчання, де тактильна взаємодія є ключовою.

3D-друк дає дуже широкі можливості для персоналізації навчального матеріалу. Завдяки цифровому проектуванню (у програмах Blender, FreeCAD тощо) можна швидко змінювати модель, створювати унікальні версії й перевіряти різні варіанти. Цей процес сприяє розвитку критичного мислення, просторової уяви та практичних навичок учнів. Інтеграція з іншими цифровими технологіями – доповненою реальністю (AR), віртуальною реальністю (VR), інженерними симуляціями – лише підсилює освітній потенціал 3D-друку.

#### 2.4 Електронні бібліотеки, їх призначення

Електронна бібліотека – це організована система цифрових інформаційних ресурсів. Однією з ключових функцій електронних бібліотек є централізоване зберігання цифрових ресурсів, що дозволяє організовувати інформацію для її зручного використання в навчальному процесі чи науковій діяльності. Електронні бібліотеки поділяються на декілька типів, що можуть

містити найрізноманітніші типи контенту: тексти, зображення, відео, аудіо, 3D-об'єкти тощо (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Види електронних бібліотек

Тип бібліотеки	Характеристика	Приклад
Наукова	Академічні статті, дисертації, монографії	JSTOR, PubMed, ResearchGate
Художня	Белетристика, поезія, драматургія	Project Gutenberg, Librivox
Спеціалізована	Медичні, технічні, правові тексти	Cochrane Library, IEEE Xplore
Універсальна	Змішаний контент різних галузей	Google Books, WorldCat
3D-моделей	Тривимірні об'єкти, САД-файли	Thingiverse, Sketchfab, GrabCAD

Розвиток 3D-технологій, зокрема 3D-друку, віртуальної та доповненої реальності, комп'ютерної графіки та САД-систем, призвів до швидкого зростання попиту на якісні 3D-моделі. Електронні бібліотеки стали відповіддю на цю потребу, створивши централізовані хаби для обміну та розповсюдження тривимірного контенту.

Використання електронних бібліотек підтримує інноваційні освітні практики, особливо в умовах дистанційного або самостійного навчання. Учні, студенти та викладачі мають змогу отримувати доступ до необхідних матеріалів у будь-який час і з будь-якого місця, що підвищує гнучкість та доступність освіти. Крім того, електронні бібліотеки сприяють збереженню культурної спадщини, оскільки дозволяють оцифровувати та зберігати рідкісні книги, архівні документи та інші цінні джерела. Економічна доцільність також є перевагою: електронні ресурси дозволяють зменшити витрати на друковані матеріали, знижуючи навантаження на природні ресурси.

Завдяки таким електронним бібліотекам, інтеграція 3D-друку в освітній процес стає доступнішою, ефективнішою й гнучкішою. Саме тому після створення кінестетичних освітніх ресурсів, вони будуть завантажені в безкоштовну електронну бібліотеку наукових 3D-ресурсів, щоб їх могли використовувати для покращення навчального процесу.

### 3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

#### 3.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для створення 3D моделей

Blender – це професійне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, призначене для створення тривимірної комп'ютерної графіки. Його вибір як основного інструменту для 3D-моделювання зумовлений низкою суттєвих переваг порівняно з аналогічними програмами на ринку.

При порівнянні трьох провідних програм для 3D-моделювання та анімації - Autodesk Maya, Cinema 4D та Blender - стає очевидним, що Blender представляє собою найбільш вигідне та перспективне рішення для більшості користувачів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Порівняння Autodesk Maya, Cinema 4D та Blender

Характеристика	Autodesk Maya	Cinema 4D	Blender
Ціна	\$235/місяць або \$1875/рік	€99/місяць (підписка)	Повністю безкоштовна
Платформи	Windows, macOS, Linux	Windows, macOS	Windows, macOS, Linux
Складність навчання	Дуже складна, крута крива навчання	Помірна, більш інтуїтивна	Складна, але покращилась з версією 2.8+
Цільова аудиторія	Професійні студії, досвідчені художники	Дизайнери, моушн-графіка, архвіз	Інді-розробники, студенти, хоббісти

Autodesk Maya довгий час вважалася золотим стандартом індустрії, особливо у великих голлівудських студіях. Програма пропонує неперевершені можливості для анімації персонажів, складного ригінгу та професійних VFX. Однак її головним недоліком є астрономічна ціна -

близько \$235 на місяць або майже \$1900 на рік, що робить її недоступною для більшості незалежних художників, студентів та малих студій. Крім того, Maya має надзвичайно круту криву навчання, складний інтерфейс та вимагає потужного апаратного забезпечення для комфортної роботи.

Cinema 4D займає проміжну позицію, пропонуючи більш інтуїтивний інтерфейс та спеціалізуючись на моушн-графіці та архітектурній візуалізації. Програма особливо популярна серед дизайнерів завдяки простоті використання та швидкому рендерингу. Проте вартість Cinema 4D також залишається високою - близько €99 на місяць, а функціонал для деяких сфер, таких як VFX або скульптинг, значно поступається конкурентам.

Blender кардинально відрізняється від своїх комерційних конкурентів насамперед тим, що є повністю безкоштовним та відкритим програмним забезпеченням. Це означає, що будь-хто може завантажити, використовувати та навіть модифікувати програму без жодних обмежень. Але безкоштовність – це лише вершина айсберга переваг Blender.

Розвиток Blender відбувається неймовірними темпами завдяки активній спільноті розробників та користувачів. Кожні три місяці виходять нові версії з суттєвими покращеннями та новими функціями. Важливим фактором є також філософія відкритого коду. Це означає, що Blender не може бути раптово припинений або кардинально змінений в угоду комерційним інтересам. Користувачі мають гарантію, що їхні навички та проекти не стануть заручниками корпоративних рішень.

Навчальні ресурси для Blender практично безмежні. YouTube переповнений якісними туторіалами від досвідчених художників, існують безкоштовні онлайн-курси, документація постійно оновлюється, а спільнота завжди готова допомогти новачкам. Це різко контрастує з Maya або Cinema 4D, де більшість якісних навчальних матеріалів є платними. Функціональність Blender охоплює весь спектр інструментів, необхідних для повноцінної роботи з тривимірними об'єктами. Програма включає полігональне моделювання, яке дозволяє створювати об'єкти будь-якої

складності шляхом маніпулювання вершинами, ребрами та гранями, систему ретопології для оптимізації створених моделей та інструменти UV-розгортки для коректного текстурювання об'єктів. Особливу цінність становить система модифікаторів, яка забезпечує неруйнівне редагування та параметричне моделювання, що суттєво прискорює процес інтерактивної розробки та модифікації моделей.

Кросплатформеність Blender забезпечує безперебійну роботу на всіх основних операційних системах – Windows, macOS і Linux – без втрати функціональності, що особливо важливо в робочих середовищах і під час колаборації працівників з різними вподобаннями щодо програмного забезпечення робочого місця.

Інтеграція з процесом 3D-друку є однією з ключових переваг Blender у контексті даного обґрунтування. Програма підтримує експорт моделей у формати STL, OBJ і 3MF, які широко використовуються в індустрії 3D-друку. Вбудовані інструменти перевірки моделей дозволяють аналізувати об'єкти на наявність елементів, непридатних до друку, таких як негативна товщина стінок або неманіфолдна геометрія. Додаткові аддони для 3D-друку, доступні в Blender, суттєво спрощують робочий процес і мінімізують ймовірність помилок при підготовці моделей до друку.

Якщо порівнювати мінімальні системні вимоги всіх трьох програм (табл. 3.2), то Autodesk Maya є найбільш вимогливою програмою серед трійки програм. Мінімальні 8 ГБ оперативної пам'яті - це абсолютний мінімум лише для запуску, а для професійної роботи з анімацією та симуляціями потрібно 16-32 ГБ RAM. Програма вимагає потужних відеокарт рівня RTX 3070+ з 8 ГБ VRAM для комфортної роботи з Arnold рендером. Процесорні вимоги також високі - рекомендуються багатоядерні чипи Intel i7/i9 або AMD Ryzen 7/9. Maya орієнтована переважно на NVIDIA GPU, що обмежує вибір апаратного забезпечення. Для створення продуктивної робочої станції потрібні інвестиції від \$2000 і вище.

Таблиця 3.2 – Порівняння мінімальних системних вимог програм

Параметр	Autodesk Maya	Cinema 4D	Blender
Оперативна пам'ять	8 ГБ RAM	4 ГБ RAM	4 ГБ RAM
Дисковий простір	7 ГБ	5 ГБ	1 ГБ
Відеокарта	DirectX 11 OpenGL 3.0	OpenGL 4.1	OpenGL 3.3
Процесор	Intel i5 AMD FX	Intel i5-4590 AMD FX 8350	Intel i5-4590 AMD FX 8350

Cinema 4D демонструє більш помірні апетити з мінімальними 4 ГБ RAM, хоча для професійної роботи з моушн-графікою рекомендується 16 ГБ. Програма добре оптимізована та ефективно використовує системні ресурси, особливо при роботі з GPU-рендерами Redshift та ProRender, які підтримують як NVIDIA, так і AMD відеокарти. Для комфортної роботи достатньо відеокарт рівня RTX 3060 з 8 ГБ VRAM.

Продуктивну систему для Cinema 4D можна зібрати за \$1200-1500, що робить її більш доступною порівняно з Maya.

Blender приємно вражає невибагливістю до ресурсів. Мінімальні 4 ГБ RAM та 1 ГБ дискового простору роблять програму доступною навіть для бюджетних систем. При цьому Blender чудово масштабується на потужне залізо, ефективно використовуючи всі доступні ядра процесора та пропонуючи найширшу підтримку GPU-технологій: NVIDIA CUDA/OptiX, AMD HIP та Apple Metal через Cycles рендер. Це дає повну свободу вибору відеокарти відповідно до бюджету. Продуктивну робочу станцію для Blender можна зібрати за \$800-1000, що робить програму найбільш доступною серед трійки програм.

Таким чином, в результаті переглянутої інформації та порівняння програмного забезпечення для створення 3D моделей, було обрано Blender.

### 3.2 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для підготовки моделей до друку

Ultimaker Cura є програмним забезпеченням для підготовки 3D-моделей до друку (слайсер), яке перетворює тривимірні моделі в G-код – набір інструкцій, що інтерпретуються 3D-принтером. Вибір даного програмного рішення для процесу підготовки моделей до друку обумовлений низкою істотних переваг, які воно надає як початківцям, так і досвідченим користувачам. Функціональність Ultimaker Cura заснована на поєднанні інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача з глибиною налаштувань, доступних для оптимізації процесу друку. Програма пропонує три рівні складності налаштувань: базовий, розширений та експертний, дозволяючи користувачам поступово переходити від простих до більш складних параметрів у міру зростання їхнього досвіду. Автоматичне виправлення моделей є однією з ключових функцій Cura, що дозволяє коригувати невеликі помилки в геометрії, такі як незакриті грані або неправильні нормалі, що суттєво знижує ризик невдалого друку.

Розширені налаштування друку в Ultimaker Cura являють собою виключно глибоку систему параметрів, що дозволяє контролювати більше 400 аспектів процесу друку, включаючи товщину шару, швидкість переміщення екструдера, температуру сопла і столу, налаштування охолодження, параметри ретракції та багато іншого. Для досягнення високої якості друку складних об'єктів.

Функція попереднього перегляду друку в Ultimaker Cura візуалізує процес друку шар за шаром, що дозволяє заздалегідь виявити потенційні проблеми, такі як переривчасті лінії екструзії, складні переміщення без ретракції або недостатня підтримка елементів, що нависають. Точна оцінка часу друку та витрати матеріалу, що надається програмою, дозволяє ефективно планувати виробничий процес та оптимізувати витрати.

Однією з ключових переваг Ultimaker Cura є широка сумісність із різними моделями 3D-принтерів. Програма включає вбудовані профілі для сотень моделей принтерів від різних виробників, що значно спрощує процес налаштування та калібрування. Підтримка широкого спектру форматів файлів, включаючи STL, OBJ, X3D, 3MF та інші забезпечує безпроблемну інтеграцію Cura в різні робочі процеси.

З економічного погляду, Ultimaker Cura пропонує значні переваги. Як і Blender, це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке розповсюджується безкоштовно, що повністю усуває витрати на ліцензування. Більш того, інтелектуальні алгоритми слайсингу, реалізовані в Cura, оптимізують використання матеріалу та час друку, що сприяє додатковій економії ресурсів у процесі виробництва.

У порівнянні з альтернативними слайсерами (табл. 3.3), такими як PrusaSlicer та Simplify3D, Ultimaker Cura демонструє оптимальний баланс між зручністю використання, глибиною налаштувань та продуктивністю. За нульової вартості вона пропонує функціонал, який можна порівняти або перевершувати платні аналоги, забезпечуючи ширшу сумісність з різними моделями принтерів.

Таблиця 3.3 – Порівняння мінімальних системних вимог слайсерів

Параметр	PrusaSlicer	Simplify3D	Ultimaker Cura
Оперативна пам'ять	4 ГБ	4 ГБ	4 ГБ
Дисковий простір	2 ГБ	1 ГБ	500 МБ
Відеокарта	OpenGL 2.0+	OpenGL 2.0+	OpenGL 2.0
Процесор	Двоядерний 2.0+ ГГц	Одноядерний 1.5+ ГГц	Двоядерний 2.0+ ГГц

PrusaSlicer, розроблений командою Prusa Research, є потужним інструментом з відкритим кодом, який особливо добре оптимізований для принтерів Prusa, але також підтримує широкий спектр інших моделей. Він пропонує розширені можливості налаштування та інноваційні функції, такі

як адаптивні шари та детальне моделювання поведінки філаменту. Однак його інтерфейс може здатися складнішим для початківців порівняно з Cura. Програма потребує мінімум 4 ГБ оперативної пам'яті, хоча для комфортної роботи розробники настійно рекомендують 8 ГБ або більше.

Це обумовлено складними алгоритмами обробки, які активно використовують багатопоточність. Саме тому PrusaSlicer найкраще працює на багатоядерних процесорах, де може повністю реалізувати свій потенціал. Графічна підсистема повинна підтримувати OpenGL версії 2.0 або новішої для коректного відображення тривимірної візуалізації. Програма підтримує 64-бітні версії Windows починаючи з 7-ї версії, macOS 10.11 та новішими, а також більшість стандартних дистрибутивів Linux.

Simplify3D довгий час був найкращим з професійних слайсерів завдяки своїм потужним інструментам редагування G-коду та надійності.

Програма пропонує унікальні функції, такі як детальне управління шляхами друку та розширені налаштування підтримок. Проте висока вартість ліцензії (понад \$150) та уповільнений темп розвитку в останні роки зробили її менш привабливою для багатьох користувачів. Мінімальні вимоги включають процесор 1,7 ГГц або вище та з двома або більше ядрами, що підкреслює орієнтацію на сучасне обладнання. Програма потребує 4 ГБ або більше оперативної пам'яті та підтримку OpenGL 2.0. Важливою особливістю є необхідність 1 ГБ вільного місця на жорсткому диску. Simplify3D підтримує Windows 7 та новіші версії (доступні як 32, так і 64-бітні інсталятори), macOS 10.13 або пізніші версії з підтримкою як Intel, так і Apple Silicon процесорів, а також дистрибутиви Linux на базі Ubuntu, Debian та Fedora з обов'язковою вимогою 64-бітного процесора.

Системні вимоги Ultimaker Cura є досить демократичними, що робить програму доступною для використання на більшості сучасних комп'ютерів. Мінімальні вимоги включають 64-бітний процесор, 4 ГБ оперативної пам'яті та підтримку OpenGL 2.0. Для оптимальної продуктивності рекомендується використовувати комп'ютери з 8 ГБ RAM і сучасним процесором.

Програма вимагає не менше 500 МБ вільного дискового простору для встановлення та роботи. Cura підтримує всі сучасні операційні системи та регулярно оновлюється для забезпечення сумісності з найновішими версіями.

Ultimaker Cura демонструє оптимальне співвідношення системних вимог та функціональності. Програма потребує сучасної, але не надпотужної системи, при цьому займає помірно місця на диску та не висуває надмірних вимог до графічної підсистеми. Це робить її доступною для широкого кола користувачів, від студентів з бюджетними ноутбуками до професіоналів з потужними робочими станціями. Саме тому було саме Ultimaker Cura було обрано для підготовки готових моделей до друку.

### 3.3 Інтеграція програмного забезпечення у єдиний робочий процес

Найбільшу ефективність використання Blender та Ultimaker Cura демонструє при їхній інтеграції в єдиний робочий процес, що охоплює весь цикл створення тривимірних об'єктів – від концепції до фізичної реалізації. Оптимальний робочий процес складається з чотирьох основних етапів, кожен із яких вимагає специфічних підходів та налаштувань для досягнення найкращих результатів.

Перший етап – створення 3D моделі в Blender. Він починається з концептуалізації та проєктування об'єкта з урахуванням вимог і обмежень 3D друку. Blender надає спеціалізовані інструменти для виявлення та усунення проблем із геометрією, таких як неманіфолдні ребра, перевернуті нормалі або неправильно орієнтовані грані.

Другий етап – експорт моделі. Він передбачає збереження готового об'єкта у форматі, сумісному з програмним забезпеченням для підготовки до 3D-друку (наприклад, STL або OBJ). Blender забезпечує точний експорт, зберігаючи всі необхідні властивості моделі, що важливо для подальшої коректної підготовки до друку.

Третій етап – підготовка до друку в Ultimaker Cura. Він починається з імпорту раніше експортованої моделі та її розміщення на віртуальній друкарській платформі. На цьому етапі визначаються оптимальні параметри друку, зокрема товщина шару, відсоток і тип заповнення, швидкість руху екструдера та температурні режими. Для моделей зі складною геометрією та нависаючими елементами необхідно згенерувати підтримувальні структури, які забезпечують стабільність під час друку. Завершальним кроком цього етапу є слайсинг – процес перетворення тривимірної моделі на послідовність двовимірних шарів і генерація G-коду, що містить повний набір інструкцій для 3D-принтера.

Четвертий етап – безпосередньо 3D-друк, включає завантаження згенерованого G-коду до принтера, запуск процесу друку та його моніторинг. Після завершення друку може знадобитися постобробка готового виробу, яка включає видалення підтримок, шліфування, фарбування або інші види фінішної обробки залежно від вимог до кінцевого продукту.

Інтеграція Blender і Ultimaker Cura в єдиний робочий процес забезпечує низку суттєвих переваг. Насамперед це комплексне рішення, яке охоплює весь шлях – від ідеї до фізичного втілення об'єкта, що усуває потребу у використанні додаткового програмного забезпечення та знижує ймовірність виникнення проблем із сумісністю. Висока сумісність форматів забезпечує безперешкодний перехід між етапами робочого процесу, мінімізуючи ризик втрати даних або спотворення геометрії моделі.

Гнучке налаштування кожного компонента робочого процесу дає змогу досягти оптимального балансу між якістю друку, швидкістю виготовлення та витратою матеріалу. Інтеграція двох спеціалізованих програмних рішень забезпечує значну економію часу завдяки оптимізації кожного етапу процесу та мінімізації потреби в доопрацюваннях і переробках.

## 4 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДРУКАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ

### 4.1 Специфічні вимоги до друку кінестетичних моделей

Кінестетичні моделі призначені для тактильного сприйняття та навчання через дотик, що ставить особливі вимоги до якості 3D друку. Такі моделі мають забезпечувати високу деталізацію поверхні, точність геометричних форм та безпечність для тактильного контакту. Вибір оптимального друкарського обладнання для створення кінестетичних моделей потребує ретельного аналізу технічних характеристик, можливостей матеріалів та економічної доцільності різних типів 3D принтерів.

Кінестетичні моделі відрізняються від звичайних прототипів або декоративних виробів своїм призначенням для безпосереднього тактильного взаємодії. Основними вимогами до таких моделей є висока точність відтворення геометричних форм та текстур, що дозволяє користувачам отримувати максимально реалістичну тактильну інформацію про об'єкт. Поверхня моделі має бути гладкою на ділянках, де це необхідно за конструкцією, але водночас здатною передавати різноманітні текстури та рельєфи для кращого сприйняття.

Безпечність матеріалів є критично важливою, оскільки кінестетичні моделі призначені для частого та тривалого контакту з руками. Матеріали мають бути нетоксичними, гіпоалергенними та стійкими до механічного зносу. Додатково важливою є можливість обробки поверхні моделей спеціальними покриттями для підвищення тактильних властивостей або захисту від забруднення.

Розмірна стабільність та міцність конструкції забезпечують довговічність кінестетичних моделей при інтенсивному використанні. Моделі мають витримувати багаторазове торкання, натискання та навіть падіння без втрати форми чи появи тріщин. Особливо важливою є стійкість

до деформації тонких елементів та дрібних деталей, які часто є ключовими для правильного сприйняття об'єкта.

#### 4.2 Вибір типу 3D принтера для кінестетичних моделей

FDM/FFF принтери (Fused Deposition Modeling). FDM технологія представляє собою найпоширеніший та найдоступніший тип 3D друку, заснований на пошаровому нанесенні розплавленого термопластику. Для створення кінестетичних моделей FDM принтери мають як суттєві переваги, так і певні обмеження, які необхідно враховувати при виборі обладнання. Приклад FDM принтеру показано на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Принтер FDM

Основною перевагою FDM технології є широкий вибір біосумісних та безпечних матеріалів, включаючи PLA, PETG, TPU та спеціалізовані композити. PLA філамент, отриманий з кукурудзяного крохмалу, є повністю біорозкладним та безпечним для контакту з шкірою, що робить його ідеальним для кінестетичних моделей. PETG поєднує безпечність з підвищеною міцністю та прозорістю, дозволяючи створювати прозорі або

напівпрозорі елементи моделей. Гнучкі матеріали типу TPU дозволяють створювати елементи з різною жорсткістю, що може бути важливим для передачі тактильних властивостей різних частин моделі.

Економічна доступність FDM принтерів та матеріалів робить цю технологію привабливою для освітніх закладів та невеликих виробництв. Вартість філаменту значно нижча за матеріали для інших технологій 3D друку, а самі принтери доступні в широкому діапазоні цін від бюджетних моделей до професійного обладнання. Простота обслуговування та налаштування дозволяє використовувати FDM принтери навіть користувачам з мінімальним технічним досвідом.

Однак FDM технологія має обмеження в точності деталізації та якості поверхні. Видимі шари друку можуть негативно впливати на тактильне сприйняття моделі, особливо на гладких поверхнях.

Необхідність постобробки для отримання гладкої поверхні збільшує час та вартість виготовлення моделей. Додатково, анізотропія механічних властивостей надрукованих деталей може призводити до розшарування при інтенсивному використанні.

SLA/DLP принтери (Stereolithography), його приклад показано на рисунку 4.2. Технологія стереолітографії базується на фотополімеризації рідкої смоли під дією ультрафіолетового випромінювання, що дозволяє досягати виключно високої точності та якості поверхні. Для кінестетичних моделей SLA принтери пропонують ряд унікальних переваг, особливо важливих для передачі тонких деталей та текстур.

Висока роздільна здатність SLA принтерів, що може досягати 25-50 мікрон по осі Z та 47-100 мікрон в площині XY, дозволяє відтворювати найдрібніші деталі та текстури поверхні. Це особливо важливо для кінестетичних моделей анатомічних структур, геологічних зразків або технічних деталей, де точність передачі форми критично важлива для правильного сприйняття. Гладка поверхня надрукованих деталей мінімізує необхідність постобробки та забезпечує приємні тактильні відчуття.

Ізотропність механічних властивостей SLA деталей забезпечує однакову міцність в усіх напрямках, що важливо для довговічності кінестетичних моделей. Можливість друку складних внутрішніх структур та порожнин без підтримувальних матеріалів розширює дизайнерські можливості при створенні функціональних кінестетичних моделей.



Рисунок 4.2 – Принтер SLA

Сучасні біосумісні смоли для SLA друку, такі як BioMed Clear або NextDent, сертифіковані для медичного застосування та безпечні для тривалого контакту з шкірою. Ці матеріали поєднують високу точність друку з повною біосумісністю, що робить їх ідеальними для освітніх та медичних кінестетичних моделей.

Основними недоліками SLA технології є вища вартість обладнання та матеріалів порівняно з FDM принтерами, а також необхідність спеціальних заходів безпеки при роботі з рідкими смолами. Процес постобробки включає промивання в ізопропіловому спирті та УФ полімеризацію, що вимагає додаткового обладнання та часу. Обмежений об'єм друку більшості настільних SLA принтерів може стати перешкодою для створення великих кінестетичних моделей.

SLS принтери (Selective Laser Sintering). Технологія селективного лазерного спікання використовує лазер для сплавлення порошкових матеріалів, створюючи деталі з відмінними механічними властивостями та можливістю друку складних геометрій без підтримувальних структур. Для кінестетичних моделей SLS технологія пропонує унікальні можливості, особливо при створенні функціональних та рухомих елементів. Приклад SLS принтеру можна побачити на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Принтер SLS

Основною перевагою SLS технології є можливість друку повністю функціональних механізмів з рухомими частинами в одному циклі друку. Це дозволяє створювати кінестетичні моделі з інтегрованими шарнірами, пружинами та іншими рухомими елементами, що значно розширює можливості тактильного навчання. Відсутність необхідності в підтримувальних структурах дозволяє друкувати складні внутрішні геометрії та переплетені елементи.

Міцність та довговічність SLS деталей, особливо при використанні поліаміду (нейлону), забезпечують тривалу експлуатацію кінестетичних моделей навіть при інтенсивному використанні. Матеріали для SLS друку, такі як PA12, є біосумісними та безпечними для контакту з шкірою, що важливо для освітніх та медичних застосувань.

Головними недоліками SLS технології є висока вартість обладнання та матеріалів, а також складність обслуговування принтерів. Порошкова природа матеріалів вимагає спеціальних систем вентиляції та захисту від пилу. Шорстка поверхня надрукованих деталей може потребувати додаткової обробки для покращення тактильних властивостей.

Принтер типу FDM було обрано для виготовлення кінстетичних моделей завдяки оптимальному поєднанню безпеки, доступності та функціональності. Ключовими факторами вибору стали:

- широкий асортимент біосумісних матеріалів (ABS, PLA, PETG, TPU), що забезпечують безпечність контакту з шкірою;
- економічна доступність обладнання та матеріалів, що робить технологію ідеальною для освітніх проєктів з обмеженим бюджетом ;
- простота використання, яка дозволяє працювати навіть користувачам без технічного досвіду;
- можливість створення елементів з різними тактильними властивостями через використання гнучких матеріалів типу TPU та прозорих PETG філаментів.

Незважаючи на обмеження у вигляді видимих шарів друку та необхідності постобробки, які можуть впливати на тактильне сприйняття, ці недоліки є прийнятними порівняно з перевагами доступності та безпеки відповідних матеріалів. Для кінстетичних моделей, де пріоритетними є безпечність використання, економічність виготовлення та можливість передачі базових тактильних властивостей, FDM технологія представляє найкращий баланс між функціональністю та практичністю серед доступних альтернатив 3D друку.

#### 4.3 Додаткове обладнання

Ефективне використання 3D принтерів для створення кінстетичних моделей вимагає інвестицій у додаткове обладнання та інфраструктуру. Для всіх типів принтерів необхідна система вентиляції для видалення потенційно

шкідливих випарів та частинок. Особливо це актуально для SLA принтерів, де необхідна потужна витяжна вентиляція для роботи з рідкими смолами.

Системи постобробки є обов'язковими для SLA принтерів та бажаними для FDM технології. Для SLA друку необхідні ванни для промивання в ізопропіловому спирті та УФ камери для фінальної полімеризації. Для FDM принтерів корисними є інструменти для видалення підтримувальних структур та обладнання для хімічного згладжування поверхні.

Системи контролю якості, включаючи штангенциркулі, мікрометри та 3D сканери, дозволяють перевіряти відповідність надрукованих моделей первинним специфікаціям. Для кінестетичних моделей особливо важливим є контроль розмірної точності та якості поверхні.

## 5 ОПИС ПРАКТИЧНОЇ ЧАСТИНИ

### 5.1 Вимоги до кінестетичних моделей

Метою створення 3D-моделі клітин є підвищення ефективності навчального процесу шляхом інтеграції тактильного, візуального та практичного досвіду в засвоєння складних теоретичних понять. Замість того, щоб розглядати двовимірну схему клітини у підручнику чи на екрані, учень отримує фізичну модель, яку можна тримати в руках, обертати, досліджувати окремі частини та компоненти, порівнювати розміри та положення органел.

Така взаємодія особливо корисна для учнів із кінестетичним типом сприйняття інформації, а також для тих, хто має труднощі з абстрактним мисленням. Коли учень має змогу торкнутися моделі, побачити реальні пропорції й форми, це формує не лише кращу уяву про будову клітини, але й закріплює знання через досвід. Наприклад, структура ядра, мітохондрій чи мембрани стає не просто назвою, а реальною формою, яку можна вивчити пальцями, що сприяє більш глибокому запам'ятовуванню.

Таким чином, створення кінестетичної 3D-моделі клітини спрямоване не лише на покращення візуалізації навчального матеріалу, але й на активне залучення учнів до пізнавального процесу через практичну взаємодію, що сприяє розвитку критичного мислення, просторового сприйняття, моторики.

Основною вимогою до кінестетичних моделей є їх міцність та довговічність, оскільки вони призначені для активного тактильного використання. Матеріали, з яких виготовляються такі моделі, повинні витримувати багаторазові тактильні маніпуляції, а також вони мають бути безпечними для здоров'я користувачів, не містити токсичних речовин та не викликати алергічних реакцій.

Розміри кінестетичних моделей повинні бути зручними для захоплення та маніпулювання руками. Занадто маленькі моделі можуть бути незручними

для роботи та не давати достатнього тактильного відчуття, тоді як надмірно великі моделі можуть бути незручними у використанні та зберіганні. Оптимальний розмір зазвичай становить від 5 до 30 сантиметрів в найбільшому вимірі, залежно від об'єкта, що моделюється.

Всі елементи моделі мають бути функціонально обґрунтованими та сприяти досягненню конкретних навчальних цілей. Модель не повинна містити зайвих деталей, які можуть відволікати увагу від основного навчального змісту. Важливою вимогою є можливість використання моделі для демонстрації різних аспектів одного явища або об'єкта. Це дозволяє проводити комплексне вивчення теми та встановлювати міжпредметні зв'язки. Модель повинна сприяти розвитку просторового мислення, розуміння масштабів та пропорцій.

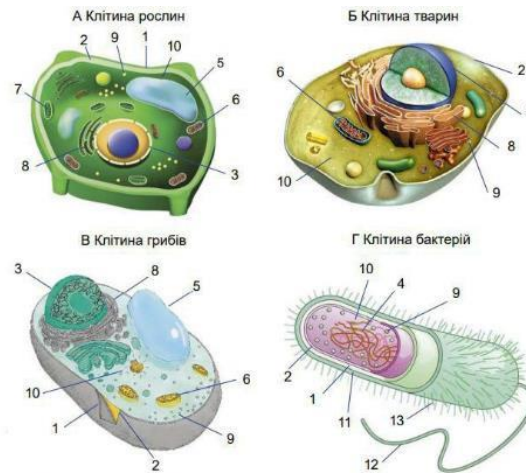
## 5.2 Вибір дизайну

Для того щоб вирішити, як саме будуть виглядати моделі клітин, було вирішено продивитись підручники середньої школи [1, 2] та взяти їх за основу для створення. Було знайдено схематичні зображення клітин з двох різних підручників (рис. 5.1, рис. 5.2).

Було прийнято рішення, що для моделей буде поєднано обидва варіанти схем з підручників, а також трохи спрощено їх. Так як діти 7-9 класів середньої школи активно розвиваються як фізично, так і психоемоційно, надмірна кількість дрібних деталей або візуально навантажених елементів може призвести до втрати інтересу, плутанини або навіть психологічного перевантаження учня.

Було вирішено основні моменти, до яких треба буде дотримуватись під час створення моделей клітин:

- зменшено кількість дрібних фрагментів в моделі;
- збереження логіки будови клітини, відповідно до схем з підручників;
- збільшено розмір ключових «фрагментів» клітин.



Мал. 5.1. Евкаріотичні (А–В) та прокаріотична (Г) клітини: 1 – клітинна стінка; 2 – плазматична мембрана; 3 – ядро; 4 – зона в клітині прокаріотів, де міститься спадковий матеріал; 5 – вакуоля з клітинним соком; 6 – мітохондрія; 7 – хлоропласт; 8 – ендоплазматична сітка; 9 – рибосоми; 10 – цитоплазма; 11 – слизова капсула; 12 – джгутик; 13 – вирости плазматичної мембрани

Рисунок 5.1 – Зображення з підручника №1



Рисунок 5.2 – Зображення з підручника №2

З приводу кольорів було вирішено, що моделі будуть зроблені в одному кольорі. Такий варіант був обраний, так як моделі розраховані в першу чергу для друку на 3D принтері.

### 5.3 Створення моделей клітин

Для створення моделі було відкрито програму Blender. Відповідно до попередньо обраної концепції дизайну, моделювання розпочалося з побудови базових геометричних форм – кубів, сфер, циліндрів. Ці фігури надалі

трансформувалися і комбінувалися для отримання характерних елементів клітинної структури. Спочатку була змодельована рослинна клітина (додаток А, рис. А.1). Далі тваринна клітина (додаток А, рис. А.2), грибна клітині (додаток А, рис. А.3) та бактеріальна клітина (додаток А, рис. А.4). Усі моделі спроектовані з урахуванням кінестетичного впливу.

### 5.3.1 Створення моделі рослинної клітини

Розглянемо як було створено модель рослинної клітини.

Спочатку будується основа клітини на яку потім будуть лягати інші фрагменти. До простої витягнутої фігури кубу було додано полігонів, після того з допомогою інструмента «Extrude Region» було витягнуто полігони по краях основи, створюючи стінку клітини. А потім, використавши модифікатор «Simple Deform» було зігнуто боки основи.

Далі на створену основу додаються фрагменти. Спочатку «ядро», яке складається з двох сфер, одна з яких розрізана завдяки модифікатору «Boolean». Далі додано просту модель «Torus» та видозмінено його модифікатором «Simple Deform» (рис. 5.3).

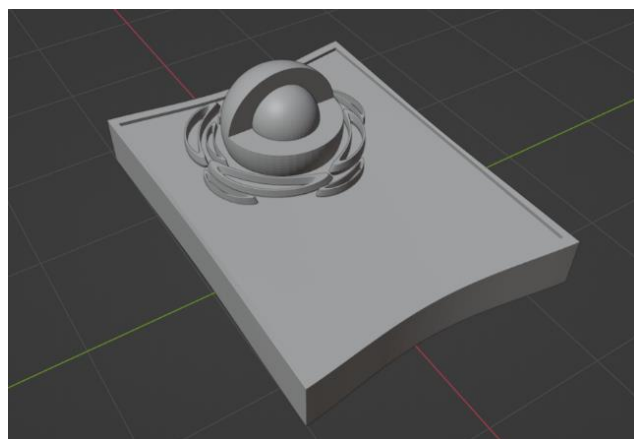


Рисунок 5.3 – Додано компонент «ядро» та «хлоропласт»

Наступним кроком до основи було додано фігури, для яких було додано більше полігонів, а потім видозмінено їх форму, розтягуючи полігони

в потрібну форму інструментом «Move». Після формування, фігури було згладжено модифікатором «Smooth». Фігури середнього розміру були стиснуті посередині модифікатором «Simple Deform». Для найменших фігур було використано модифікатор «Curve», щоб зігнути їх (рис. 5.4).

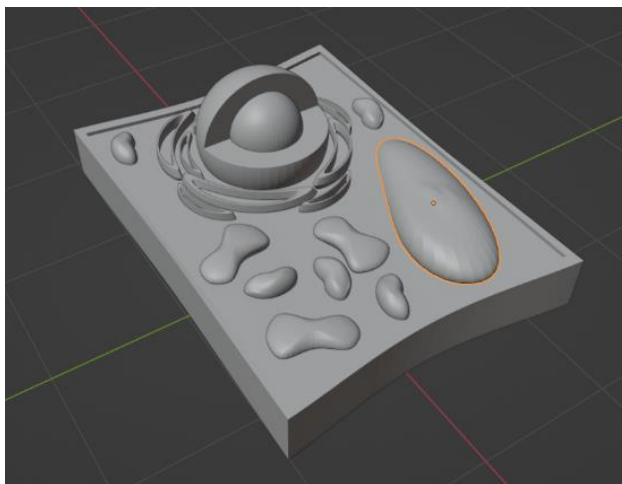


Рисунок 5.4 – Додано компоненти «вакуоля», «мітохондрія» та «хлоропласт»

Останнім етапом було додавання простої фігури «сфера», без змін та модифікацій (рис. 5.5).

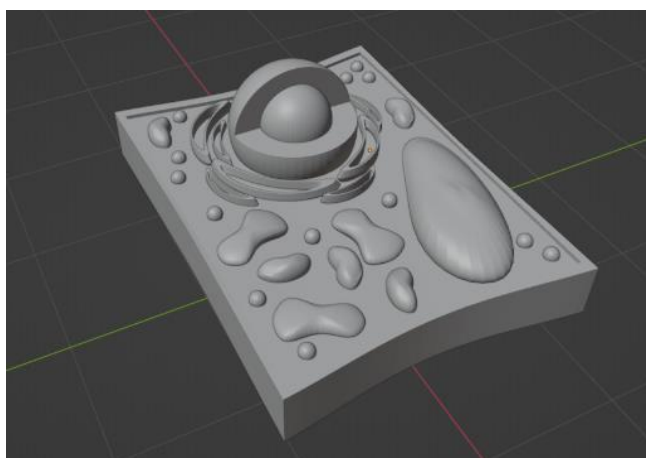


Рисунок 5.5 – Додано компонент «рибосома»

### 5.3.2 Створення моделі тваринної клітини

Розглянемо як створювалась модель тваринної клітини.

Першим кроком було створенно прямокутник, кожену з його бокових сторін було розрізано навпіл. Потягнувши за створені грані назовні, отримали витягнутий восьмикутник. Далі було додано полігонів, на верхній площині було виділено всі полігони по краю фігури і витягнуто вгору, застосовуючи інструмент «Extrude Region» (рис. 5.6).

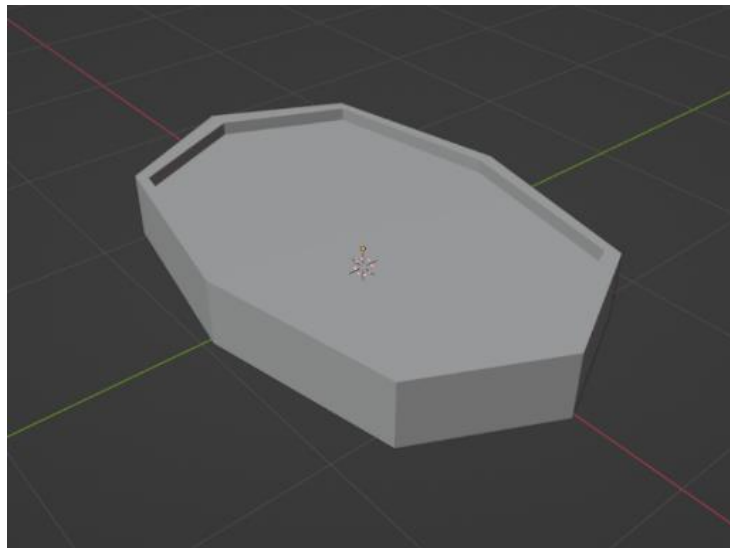


Рисунок 5.6 – Основа моделі тваринної клітини

Другим кроком було створено «ядро», яке складається з двох сфер, одна з яких розрізана за допомогою модифікатору «Boolean». Далі додано просту модель «Torus» та видозмінено його модифікатором «Simple Deform» створюючи компонент моделі «ендоплазматичну сітку», та сферу витягнуту в овал та видозміненою модифікатором «Curve», створивши компонент «мітохондрія» (рис. 5.7).

Наступним кроком було додано сфери різних розмірів, копіюючи їх та хаотично переміщаючи на площині моделі, створюючи компонент «рибосоми» (рис. 5.8).

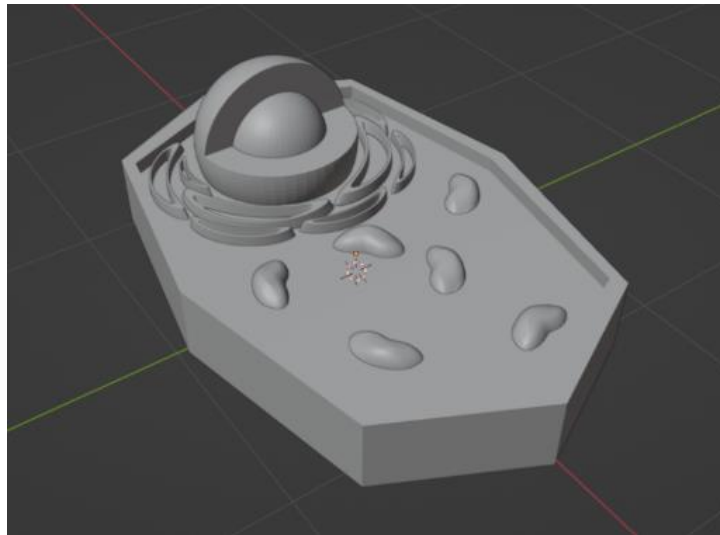


Рисунок 5.7 – До основи тваринної клітини додано компонент «ядро», «ендоплазматична сітка» та «мітохондрія»

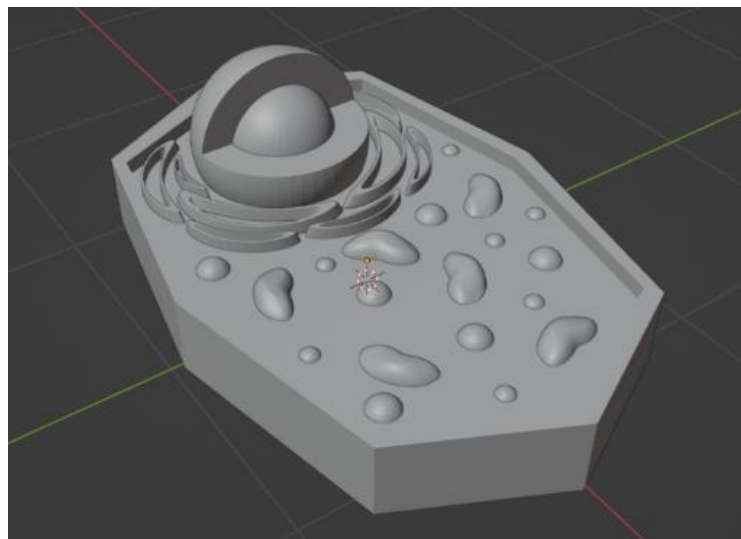


Рисунок 5.8 – Додані компоненти «рибосоми»

### 5.3.3 Створення моделі грибної клітини

Розглянемо створення моделі грибної клітини.

Основа для моделі грибної клітини була зроблена з циліндру. Використавши інструмент «Inset Faces», було створено полігони по краю основи. Виділивши їх, та скориставшись інструментом «Extrude Region» було створено зовнішню стінку клітини. Далі було додано «ядро», яке складається з двох сфер, одна з яких розрізана за допомогою модифікатору «Boolean» та

просту модель «Torus» та видозмінено його модифікатором «Simple Deform». Отримали основу клітини, «ядро» та «ендоплазматичну сітку» (рис. 5.9).

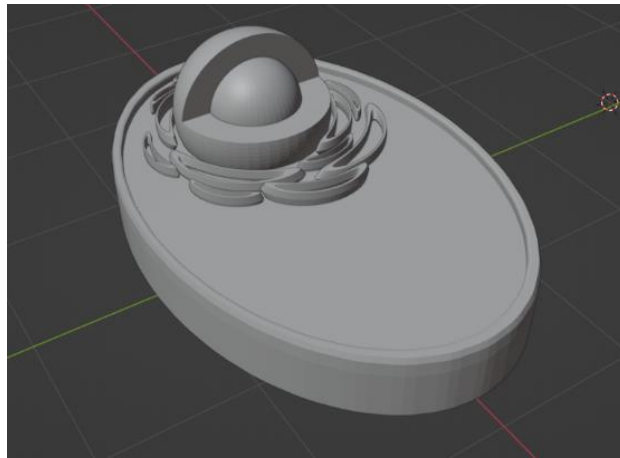


Рисунок 5.9 – Основа моделі з «ядром» та «ендоплазматичною сіткою»

Наступним кроком було додавання простої фігури сфери, та видозміненої по осі Y за допомогою модифікатора «Curve» сфери витягнутої в овал. Таким чином було додано компонент «рибосома» та компонент «мітохондрія» (рис. 5.10).

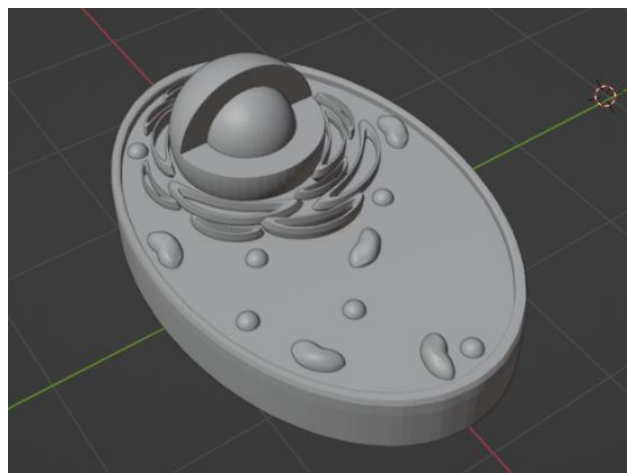


Рисунок 5.10 – Додані до моделі прості фігури

Далі до основи моделі було додано циліндри. Використавши інструмент «Bevel» було скруглено їх торці, а далі, використавши модифікатор «Curve», було зігнуто фрагмент по осі Y (рис. 5.11).

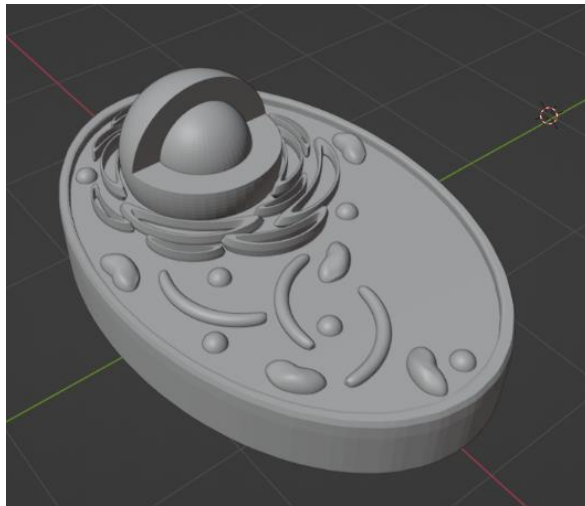


Рисунок 5.11 – Додані до основи деталі

Останнім етапом у створенні моделі клітини грибів, було додавання «вакуолі». Створивши витягнутий циліндр, його було видозмінено за допомогою перетягування полігонів інструментом «», після чого інструментом «Smooth» було згладжено фігуру (рис. 5.12).

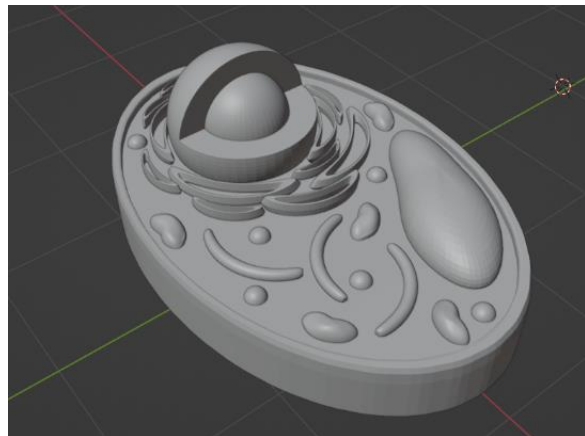


Рисунок 5.12 – Модель клітини грибів з усіма компонентами

#### 5.3.4 Створення моделі клітини бактерії

Розглянемо як було створено модель бактеріальної клітини.

Спочатку було створено циліндр та згладжено його торці інструментом «Bevel». Розрізавши фігуру навпіл з використанням модифікатора «Boolean», для цього було створено допоміжний об'єкт-різак (зазвичай куб або

площина), який було позиціоновано таким чином, щоб він розділяв циліндр рівно посередині., та використавши на площині інструмент «Inset Faces» було створено полігони зовнішньої стінки фігури, які потім були витягнуті вгору інструментом «Extrude Region» (рис. 5.13). На зовнішню поверхню основи моделі було додано циліндри із згладженими торцями інструментом «Bevel».

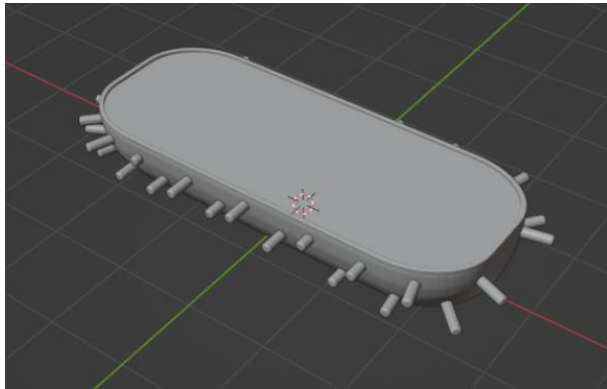


Рисунок 5.13 – Створена основа бактеріальної клітини

Наступним кроком було додано «джгутик». Було створено «NurbsPath», який служить направляючою траєкторією для майбутнього елемента. «NurbsPath» було викладено у тривимірному просторі, формуючи необхідну траєкторію. Додавши окремо циліндр, йому було додано полігонів використовуючи інструмент «Subdivide». Використовуючи модифікатор «Curve» його було накладено на «NurbsPath», і таким чином він був зігнутий в задуману криву (рис. 5.14).

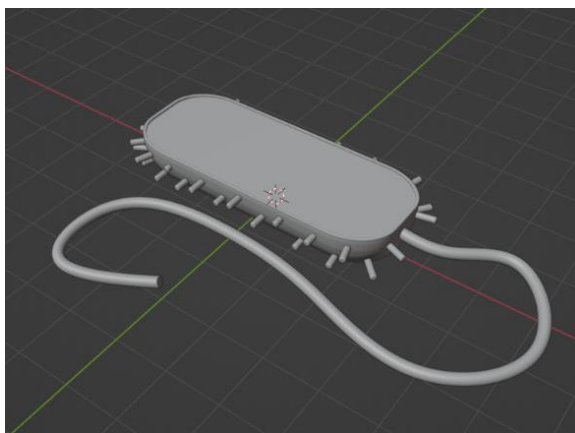


Рисунок 5.14 – Доданий до основи «джгутик»

Далі було створено три об'єкти «NurbsPath», та відредаговано так, щоб зробити з них заплутані «нитки». Перетворивши «NurbsPath» в «Mesh», створеним об'єктам було додано об'єму, що вони були тактильно відчутні при подальшому друці моделі (рис. 5.15).

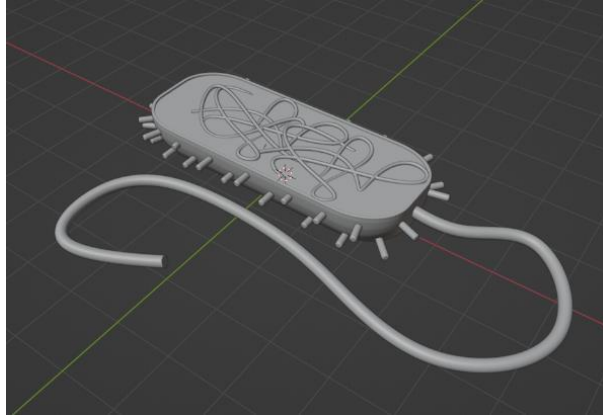


Рисунок 5.15 – Додані до основи об'єкти

Завершальним етапом у створенні моделі бактеріальної клітини стало розміщення невеликих сфер на площині моделі (рис. 5.16).

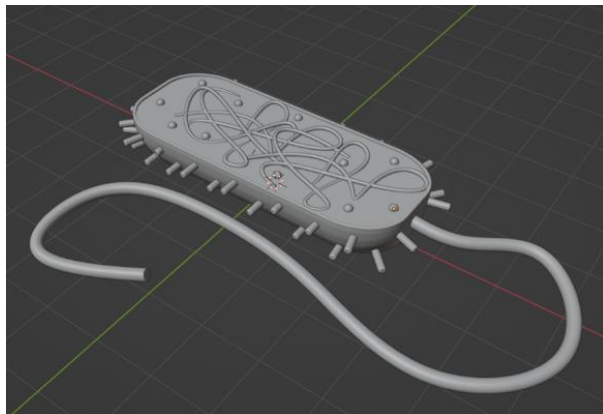


Рисунок 5.16 – Модель бактеріальної клітини з усіма компонентами

#### 5.4 Підготовка до друку та тестовий друк моделей

Після того як було створено моделі в Blender вони були експортовані у формат STL (стандарт для 3D друку). Далі їх було перенесено до програми UltiMaker Cura, для того щоб підготувати моделі для друку на FDM принтері.

Для кожної моделі було встановлено відповідні параметри друку, щільність заповнення та тип підтримки (рис. 5.17). До кожної моделі були додані сгенеровані підтримуючі структури, які необхідні для збереження форми деталей під час друкування елементів з виступаючими фрагментами.

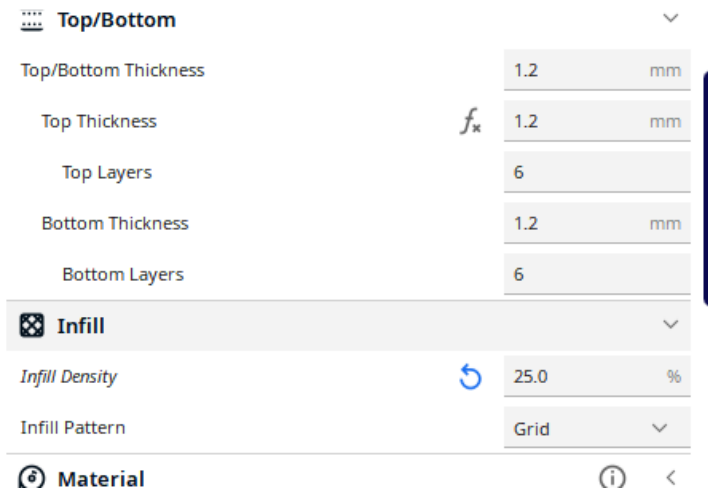


Рисунок 5.17 – Налаштування друку моделей

Всі чотири моделі були розташовані на одній робочій площині (рис. 5.18). Розташування моделей разом було зроблено для того, щоб забезпечити оптимальне використання друкарської поверхні і пришвидшити процес виготовлення, дозволяючи друкувати всі клітини одночасно, а також економити енергію та зменшити знос обладнання, не прогріваючи повторно друкарську головку та платформу принтера.

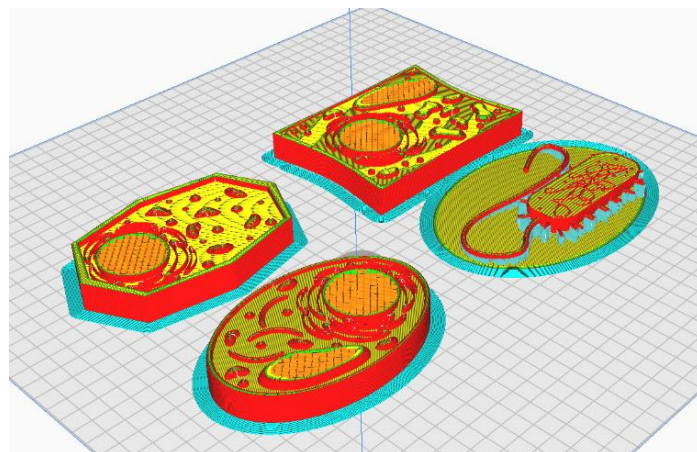


Рисунок 5.18 – Розташовані в UltiMaker Cura моделі

Далі моделі було відправлено на тестовий друк для перевірки. В результаті, після завершення друку, отримали готові кінстетичні моделі (рис. 5.19-5.22), які мають простий тактильний дизайн та відповідають вимогам кінстетичних навчальних засобів, чіткі компоненти моделі легко відчуті пальцями.



Рисунок 5.19 – Надрукована модель рослинної клітини



Рисунок 5.20 – Надрукована модель тваринної клітини



Рисунок 5.21 – Надрукована модель клітини грибів



Рисунок 5.22 – Надрукована модель клітини бактерій

Поверхня моделей має характерну для FDM друку текстуру з мікрорельєфом від шарів друку, що додатково сприяє тактильному сприйняттю. Контрастні геометричні форми різних компонентів дозволяють легко розрізняти структурні елементи навіть при закритих очах, що робить моделі ідеальними інструментами для інклюзивного навчання та розвитку просторового уявлення про структуру клітин.

## 5.5 Завантаження комплекту моделей в електронну бібліотеку

Після того як було створено комплект моделей, про них було докладено на семінарі «Юний науковець», після чого їх було завантажено в електронну бібліотеку освітніх ресурсів «Scigen3d» [7] створеним сумісно з науковцями Швейцарії та України. В даній електронній бібліотеці є спеціально відокремлений розділ з біологічними 3D моделями, і саме туди було завантажено розроблений комплект моделей (рис. 5.23).

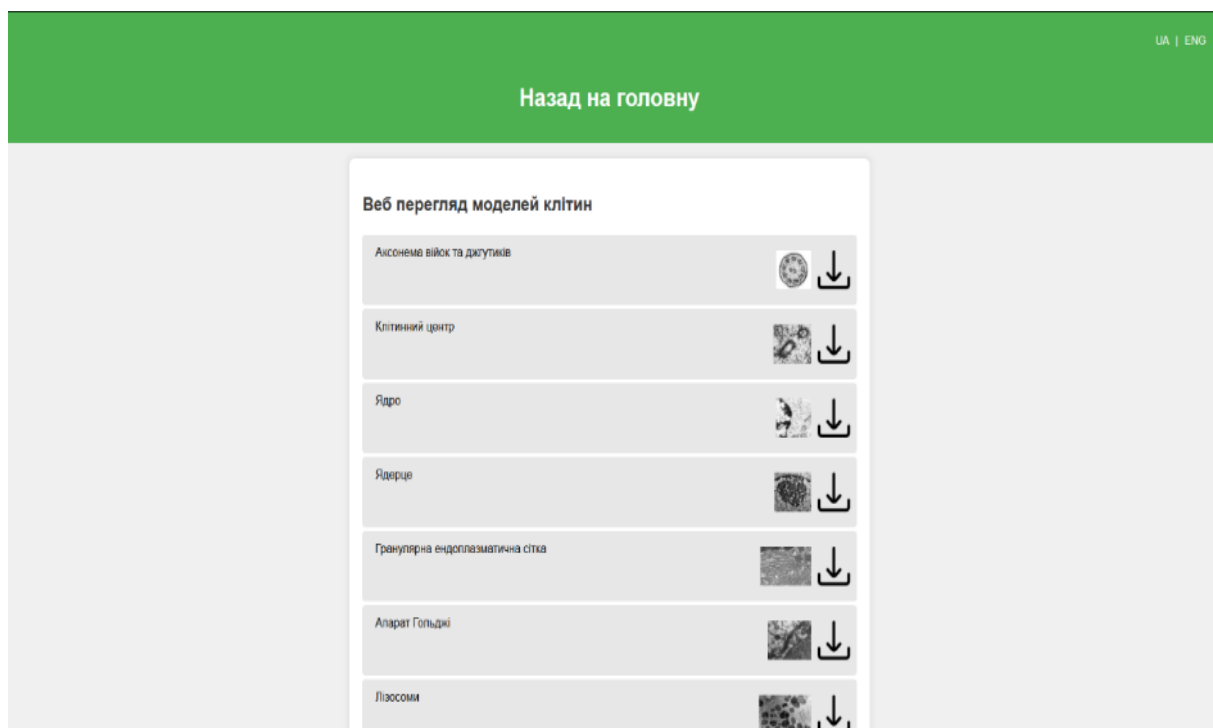


Рисунок 5.23. – Створена електронна бібліотека

Створені кінестетичні 3D моделі клітин з електронної бібліотеки були використані для покращення навчального процесу за темою «Клітина. Прокаріоти. Одноклітинні еукаріоти» учнів сьомого класу харківських ліцеїв №144, №174, №141. Завантажені з електронної бібліотеки моделі були роздруковані на 3D принтері FDM типу.

Практичне застосування моделей розпочиналося з ознайомлювального етапу, де учні мали можливість тактильно дослідити структурні відмінності

між прокариотичними та еукаріотичними клітинами. Фізичні моделі дозволили школярам безпосередньо відчувати розміри, форму та просторове розташування ключових клітинних компонентів, що неможливо повноцінно передати через традиційні двовимірні ілюстрації підручників чи навіть цифрові анімації.

Методика використання моделей включала як індивідуальну роботу учнів, так і групові дослідження, де школярі могли порівнювати різні типи клітин, виявляти спільні риси та відмінності, а також моделювати клітинні процеси. Тактильний характер навчання виявився особливо ефективним для учнів з різними стилями сприйняття інформації, включаючи кінестетиків, які краще засвоюють матеріал через фізичну взаємодію з об'єктами вивчення.

Результати впровадження показали значне покращення розуміння учнями абстрактних біологічних концепцій, підвищення мотивації до вивчення біології та розвиток просторового мислення. Кінестетичні моделі сприяли формуванню цілісного уявлення про клітинну будову живих організмів та заклали міцну основу для подальшого вивчення більш складних біологічних процесів у старших класах.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було створено кінестетичні 3D-моделі. Моделі були розміщені в електронній бібліотеці та розраховані для друку на 3D-принтері. Створення кінестетичних 3D-моделей із подальшим розміщенням у безкоштовній електронній бібліотеці – це крок до інтерактивного залучення дітей в процес вивчення біології.

Для розрахунку економічної складової проєкту спочатку буде визначено собівартість розробки продукту, а потім ціну.

Традиційні навчальні посібники з біології, включаючи анатомічні моделі, мікроскопи та лабораторне обладнання, вимагають значних фінансових витрат від освітніх закладів, при цьому такі матеріали підлягають фізичному зношенню, потребують регулярного оновлення та можуть бути легко пошкоджені або втрачені під час використання. Натомість 3D-моделі, представляють собою довготривалі засоби, які можуть використовуватися необмежену кількість разів без втрати якості. До переваг 3D-моделей відноситься швидкість реалізації та легкість втілення в життя.

Для розробки моделей із подальшим розміщенням у бібліотеці використовуються безкоштовні програми, що суттєво зменшує загальну вартість продукту. Самі по собі моделі невеликого розміру. Одиниця товару – це комплект одразу з чотирьох моделей.

Конкурентного середовища для кінестетичних моделей розрахованих на навчальний курс середньої школи наразі немає. У зв'язку з цим зацікавленість аудиторії до розроблюваного комплекту моделей є доволі високою, та сприяє успіху продукції.

Джерелом доходу для розробника є безпосередній продаж продукції, тобто комплект з чотирьох моделей. Витрати розробника містять в собі витрати на розробку моделей. Джерелом фінансування є власні кошти розробника, а у подальшому й відсоток від продажів продукції.

Для покупця джерелом економії виступає довговічність моделей, це зумовлено тим, що комплект є електронною продукцією. Витрати покупця складаються з вартості самого комплекту.

Порядок розробки кінестетичних 3D-моделей для наповнення електронної бібліотеки складається з наступних етапів:

- початковий етап (розробка ескізу моделей);
- основний етап (створення моделей за ескізами);
- проміжний етап (підготовка моделей до друку, компоновання їх в комплект, визначення відсотку заповнення моделі матеріалом, додавання підтримок до висячих фрагментів);
- заключний етап (розміщення моделей в електронній бібліотеці).

Здійснимо розрахунок собівартості і ціни створення електронної бібліотеки кінестетичних 3D-моделей.

У собівартість розробки електронної бібліотеки входять наступні статті витрат:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок;
- інші витрати.

Для створення комплекту потрібно два фахівці: 3D-моделлер та оператор 3D-друку. Підготовкою до друку комплекту займається один оператор 3D-друку, а створенням ескізів та самих моделей для комплекту 3D-моделлер. 3D-моделлер на виконання своєї частини роботи, тобто створення ескізів, а після – самих моделей, витрачає 40 годин часу. Використання часу оператора 3D-друку для підготовки комплекту, становить 8,5 годин.

Мінімальна місячна заробітна плата оператора 3D-друку становить 8000,00 грн (48,00 грн/год), а 3D моделлера 10200,00 грн (60,00 грн/год).

Розрахунок основної заробітної плати наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Етап	Вид робіт	Виконавець		Годинна ставка, грн	Тривалість виконання, днів	Заробітна плата, грн
		кількість, ос.	посада			
Початковий	Створення ескізу моделей	1	3D-моделлер	60,00	1	480,00
Основний етап	Створення моделей	1	3D-моделлер	60,00	4	1920,00
Проміжний етап	Підготовка до друку	1	оператор 3D-друку	48,00	0,062	23,81
Заключний	Розміщення моделей в електронній бібліотеці	1	оператор 3D-друку	48,00	1	384,00
Разом					6,062	2 807,81
Додаткова заробітна плата (30 %)						842,34
Усього						3 650,15

Додаткова заробітна плата представляє собою форму матеріального заохочення працівників за виконання трудових обов'язків, що перевищують встановлені стандарти, за досягнення високих результатів у роботі, проявлення творчого підходу та інноваційності. До складу цієї категорії винагороди входять різноманітні види доплат та надбавок, гарантійні та компенсаційні виплати, які регламентуються діючим законодавством, а також преміальні виплати, безпосередньо пов'язані з успішним виконанням виробничих планів та професійних функцій. В рамках розглянутого проекту розмір додаткової заробітної плати встановлено на рівні 30 відсотків від суми основної заробітної плати працівників:

$$2\,807,81 * 0,3 = 842,34 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок становить 22 % від суми заробітної плати та додаткової заробітної плати:

$$(2\,807,81 + 842,34) * 0,22 = 803,03 \text{ грн.}$$

Інші витрати на розробку комплексу з чотирьох моделей із подальшим їх розміщенням в електронній бібліотеці складаються з витрат на електроенергію та обслуговування техніки, що використовується під час розробки.

Споживна потужність комп'ютера, що використовується під час виконання проєкту, дорівнює 0,5 кВт/год. Вартість електроенергії 4,32 грн/кВт. Час витрачений на створення моделей – 48,5 годин.

$$4,32 * 48,5 * 0,5 = 104,76 \text{ грн.}$$

Витрати на обслуговування техніки визначаються виходячи з її вартості та часу експлуатації, після закінчення якого, вона підлягає заміні (цей час, зазвичай, не перевищує 3-х років). Отже, враховуючи, що вартість комп'ютера дорівнює 35000,00 грн, а протягом року техніка використовується 254 робочих дні, отримаємо наступну суму витрат на обслуговування за час виконання проєкту:

$$(35000,00 / (3 * 8 * 254)) * 48,5 = 278,39 \text{ грн.}$$

Собівартість розробки електронної бібліотеки становить:

$$(3 650,15 + 803,03 + 278,39 + 104,76) / 1 = 4 836,33 \text{ грн.}$$

Розрахуємо суму прибутку від реалізації розробки (виходячи з рівня рентабельності 20 %):

$$4 836,33 * 0,2 = 967,27 \text{ грн.}$$

Розрахуємо ціну розробки моделей із подальшим розміщенням у бібліотеці без податку на додану вартість (ПДВ):

$$4\,836,33 + 967,27 = 5\,803,60 \text{ грн.}$$

Розрахуємо суму ПДВ, що дорівнює 20 % від ціни без ПДВ:

$$5\,803,6 * 0,2 = 1\,160,72 \text{ грн.}$$

Розрахуємо ціну з урахуванням ПДВ:

$$5\,803,6 + 1\,160,72 = 6\,964,32 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наведено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунок витрат на розробку моделей із подальшим розміщенням у бібліотеці

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Основна заробітна плата	2 807,81
2	Додаткова заробітна плата	842,34
3	Єдиний соціальний внесок	803,03
4	Витрати на обслуговування техніки	278,39
5	Витрати на електроенергію	104,76
6	Собівартість розробки електронної бібліотеки 3D моделей	4 836,33
7	Прибуток	967,27
8	Ціна без ПДВ	5 803,60
9	Податок на додану вартість (ПДВ)	1 160,72
10	Ціна з урахуванням ПДВ	6 964,32

Таким чином, повна вартість розробки моделей із подальшим розміщенням їх у бібліотеці складе 6 964,32 грн. Термін виконання усіх етапів розробки становить 6,062 днів для команди, до якої входять 3D моделлер та оператор 3D друку. Очікувана сума прибутку складає 967,27 грн, що свідчить про доцільність реалізації даного проекту.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проаналізовано вплив кінестетичних засобів навчання на залученість до навчання учнів. Аналіз показав, що тактильна взаємодія з навчальними матеріалами, маніпулювання об'єктами та фізична активність під час навчального процесу сприяють глибшому розумінню навчального матеріалу.

Також було проведено аналіз можливостей 3D друку для кінестетичного навчання. За допомогою 3D-друку можна виготовляти спеціальні навчальні матеріали для дітей з порушеннями зору або опорно-рухового апарату, адаптуючи візуальні та тактильні засоби навчання під індивідуальні потреби.

Обрано програмне забезпечення та встановлено що оптимальним варіантом є Blender та Ultimaker Cura. Як Blender так і Ultimaker Cura є безкоштовним програмним забезпеченням з широким функціоналом.

Було обрано друкарське обладнання та показано що оптимальним є FDM принтер, через його поєднання безпеки матеріалів, доступності та функціональності.

Створено моделі та підготовлено їх до друку. було успішно розроблено та реалізовано тривимірні моделі клітин (тваринної, рослинної, грибною та бактеріальною), що базуються на принципах кінестетичного навчання.

Далі моделі було роздруковано та передано до навчальних закладів, а саме до харківських ліцеїв №144, №173 та №141, для вдосконалення навчального процесу на новий 2025/26 роки.

Файли створених моделей було внесено у безкоштовну та відкриту до використання електронну бібліотеку кінестетичних засобів навчання.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Балан П., Кулініч О., Юрченко Л. Біологія: підруч. для 7-го кл. закл. заг. серед. освіти. Київ : Генеза, 2024.
2. Біологія: підруч. для 7-го кл. зал. заг. серед. освіти / Л. Горобець та ін. Тернопіль : Аст, 2024.
3. Вовк О.В., Чеботарьова І.Б., Шипова М.К. Вплив колірної гама навчальної літератури на сприйняття дитиною шкільного матеріалу // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: монографія. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2021. С. 40-55.
4. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Вид. офіц. Київ, 2016. 31 с.
5. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Вид. офіц. Київ, 2016. 31 с.
6. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Вид. офіц. Київ, 2016. 16 с.
7. Їлмаз Н., Теляшенко Я., Козуб П. Генератор 3D моделей. URL: <https://scigen3d.icfk.org> (дата звернення: 27.05.2025).
8. Методичні вказівки з виконання кваліфікаційної роботи для студентів денної та заочної форми навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" за освітньою програмою "Видавничо-поліграфічна справа" / В. Ткаченко та ін. Харків : ХНУРЕ, 2020. 68 с.
9. Прахов А. Самовчитель blender 2.7. Київ - Україна : ТД, 2016. 400 с.
10. Чеботарьова І.Б. Системи управління кольором: конспект лекцій. Харків : ХНУРЕ, 2016. 102 с.
11. Gardner H. Frames of mind: the theory of multiple intelligences. New York : Basic Books, 1983. 528 p.

12. Gardner H. Multiple intelligences: new horizons in theory and practice. New York : Basic Books, 2006. 320 p.
13. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D printing: a guide to modeling, printing, and prototyping. New York : Apress L. P., 2020. 347 p.
14. M. G. Introduction to blender 3.0. learn organic and architectural modeling, lighting, materials, painting, rendering, and compositing with blender. New York : Apress, 2022. 466 p.
15. Piaget J. Judgement and reasoning in the child. Taylor & Francis Group, 2015. 268 p.
16. Piaget J. Psychology of intelligence. Taylor & Francis Group, 2003.