



УДК 519.6

# УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ 3D-МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КРЕСЛЕНЬ І ФОТОГРАФІЙ МЕХАНІЗМІВ СТАРИХ ЗРАЗКІВ

Котлик С.В.<sup>1</sup>, Романюк О.Н.<sup>2</sup>, Соколова О.П.<sup>3</sup>, Шинкар О.В.<sup>4</sup><sup>1,3,4</sup> Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна<sup>2</sup> Вінницький Національний Технічний Університет, Вінниця, УкраїнаORCID: <sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5365-1200>, <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2245-3364>,<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-9224-6734>E-mail: <sup>1</sup>[sergknet@gmail.com](mailto:sergknet@gmail.com), <sup>2</sup>[rom8591@gmail.com](mailto:rom8591@gmail.com), <sup>3</sup>[okspetr@ukr.net](mailto:okspetr@ukr.net), <sup>4</sup>[scorptrow@gmail.com](mailto:scorptrow@gmail.com)

Copyright © 2024 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI: 10.15673/atbp.v16i1.2765

**Анотація.** У цьому дослідженні розглядається удосконалення технології створення тривимірних 3D-моделей з використанням креслень, фотографій та малюнків механізмів старих зразків, що потребує адаптації та розвитку сучасних засобів прототипування. Робота спрямована на розробку методів та алгоритмів, що дозволяють точно та ефективно відтворювати конструкції механізмів у вигляді 3D-моделей.

У роботі описано застосування моделювання та 3D-друку в різних галузях, наведені проблеми, що виникають під час створення тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів минулих років, обґрунтовано збереження старовинних механізмів у вигляді 3D-моделей, показано основні сфери застосування технології створення таких моделей, перераховані труднощі, що виникають у процесі створення 3D-моделей механізмів минулого часу.

Зроблено огляд програмного забезпечення, що застосовується для створення тривимірних моделей, показано області їх застосування, обґрунтовано вибір програми Blender для отримання 3D-моделей за кресленнями та малюнками. Сформульовано технологію розробки подібних моделей з урахуванням подальшого друку їх на FDM принтері.

Описано труднощі точного відтворення вибраних виробів при створенні їх об'ємних моделей та друку на 3D-принтері, наведено докладну схему створення 3D-моделей у додатку Blender за допомогою примітивів та додаткових інструментів. Обґрунтовано схему зміни налаштувань слайсера CURA за результатами експериментів, детально описаний алгоритм друку моделей на 3D-принтері за технологією FDM.

Показано можливість використання старої літератури для відбору фото та креслень для створення якісних 3D-моделей обладнання харчової та переробної промисловості, для подальшої обробки вибрано фото тістоміси Titan Туре Dough Mixer та зернового млина Queen City Grinding Mill, які взяті з старовинних книг науково-технічній бібліотеці Одеського національного технологічного університету.

**Abstract.** This study examines the improvement of the technology of creating three-dimensional 3D models using drawings, photographs and drawings of the mechanisms of old samples, which requires adaptation and development of modern prototyping tools. The work is aimed at the development of methods and algorithms that allow accurate and efficient reproduction of mechanism designs in the form of 3D models.

The work describes the application of modeling and 3D printing in various fields, including engineering, design and architecture, the problems that arise during the creation of three-dimensional models based on drawings and photos of mechanisms of past years, the preservation of ancient mechanisms in the form of 3D models is justified, it is shown the main areas of application of the technology for creating such models, the difficulties that arise in the process of creating 3D models of the mechanisms of the past are listed.

An overview of the software used to create three-dimensional models is made, the areas of their application are shown, and the choice of the Blender program for obtaining 3D models based on drawings and pictures is justified. The technology for the development of similar models is formulated, taking into account their subsequent printing on an FDM printer.

The difficulties of accurately reproducing selected products when creating their three-dimensional models and printing them on a 3D printer are described, a detailed scheme for creating 3D models in the Blender application using



primitives and additional tools is given. The scheme for changing the settings of the CURA slicer is substantiated based on the results of experiments, and the algorithm for printing models on a 3D printer using FDM technology is described in detail.

The possibility of using old literature to select photos and drawings to create high-quality 3D models of food and processing industry equipment is shown, for further processing photos of the Titan Type Dough Mixer and the Queen City Grinding Mill were selected, which were taken from old books of the Odesa Scientific and Technical Library National Technological University.

**Ключові слова:** програмне забезпечення, 3-D модель, слайсер, FDM принтер, прототипування, PLA пластик, принтер Anycubic Kossel, програма Blender

**Key words:** software, 3-D model, slicer, FDM printer, prototyping, PLA plastic, Anycubic Kossel printer, Blender program

### Постановка проблеми

Поліпшення технології створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей на основі сучасних засобів прототипування має вирішальне значення для різних галузей, включаючи інженерну справу, дизайн та медицину тощо. Сучасні засоби прототипування, такі як 3D-принтери та програмні платформи для моделювання, дозволяють створювати більш точні та складніші 3D-моделі [1, 2]. Це відкриває нові можливості для інженерів та дизайнерів, дозволяючи їм максимально точно візуалізувати та перевірити свої ідеї перед фізичним виробництвом. За допомогою вдосконалених технологій створення 3D-моделей можна скоротити час розробки та покращити якість кінцевого продукту [2]. Прототипування в 3D також сприяє найбільш швидкій та ефективній передачі концепції клієнтам та зацікавленим сторонам (рис.1).



**Рис. 1 – 3D -моделі сучасних пристроїв у харчовій та переробній промисловості**  
**Fig. 1 – 3D models of modern devices in the food and processing industry**

Створення комп'ютерних моделей технічного обладнання старих зразків – один із методів відновлення та збереження історичної спадщини. Технології та обладнання, які використовувалися в минулому в різних галузях промисловості, можуть представляти великий інтерес для дослідників, науковців та студентів. У наші дні, коли ми маємо доступ до високошвидкісних комп'ютерів та потужних програм для моделювання, створення комп'ютерних моделей технічного обладнання старих зразків стало доступним, простим та швидким способом відновлення та збереження історичних даних [3, 4]. Створення комп'ютерних моделей технічного обладнання за старими зразками дозволяє зберегти не лише основні розміри та форми об'єкта, а й унікальні деталі та архітектурний стиль. При цьому можна збільшити масштаб та вивчити деталі об'єкта, створити різні моделі та симуляції для аналізу та оптимізації роботи обладнання. Такий підхід дозволяє отримати важливі дані щодо ремонту, обслуговуванню, покращенню, модернізації або інших видів впливу на об'єкт. Можливість перегляду вхідної моделі дає можливість дізнатися більше про різні технології, їх принципи роботи та вплив на сучасне обладнання.



Актуальність теми статті полягає у появі нових вимог до технологій створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей, у зростанні зацікавленості створення тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків, з розвитком технологій та необхідністю ефективного використання ресурсів [4, 11, 15]. Це дозволяє зберегти та відтворити цінні історичні артефакти, а також використовувати їх у дослідженнях, навчальних програмах та інженерних проектах. Засоби прототипування є найважливішим інструментом у процесі, оскільки дозволяють швидко створювати фізичні прототиби з урахуванням комп'ютерних моделей. Однак існуючі технології мають свої обмеження, що призводить до необхідності покращення процесу створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей.

Однією з основних проблем при створенні тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів минулих років є недолік точної та повної інформації. Креслення та фотографії можуть бути зношеними, пошкодженими або неповними, що ускладнює процес моделювання. У таких випадках потрібно проводити ретельний аналіз доступних джерел інформації та можливе поєднання різних даних для створення найбільш достовірної моделі. Ще однією складністю є необхідність інтерпретації та адаптації двовимірних креслень та фотографій у тривимірний простір. Це вимагає від дослідника розуміння принципів роботи механізму, його конструктивних особливостей та взаємозв'язків. Важливо розуміти, що механізми старих зразків можуть мати відмінності та особливості, які необхідно врахувати під час створення тривимірної моделі.

Створення тривимірних моделей механізмів минулих років є складним та трудомістким процесом, що потребує уважного аналізу та інтерпретації вхідних даних. Недолік точної інформації, необхідність адаптації двовимірних даних до тривимірного простору та використання спеціалізованих програмних інструментів – все це фактори, які необхідно враховувати при створенні достовірних тривимірних моделей механізмів старих зразків.

Збереження відомостей про старовинні механізми у вигляді тривимірних 3D-моделей надає ряд переваг та можливостей, які можуть бути важливими для досліджень, освіти та збереження культурної спадщини [6, 15]. 3D-моделі дозволяють дослідникам та громадськості краще розуміти внутрішню структуру та принципи роботи старовинних механізмів, які могли б бути не такі очевидні на основі 2D-зображень. Вони забезпечують можливість створення інтерактивних навчальних матеріалів та віртуальних турів, що робить освіту більш привабливою та доступною. Також 3D-моделі забезпечують довготривале зберігання інформації про старовинні механізми у цифровій формі, що сприяє збереженню культурної спадщини для майбутніх поколінь. 3D-моделі можуть бути використані для проведення механічних аналізів, визначення міцності та стійкості старовинних механізмів.

Процес створення тривимірних моделей за старими кресленнями та фотографіями механізмів досить поширений у світі. З розвитком сучасних технологій та програмного забезпечення, спеціалізовані інженерні та проєктувальні компанії часто застосовують цей процес для відтворення старих механізмів у тривимірному вигляді. Основні сфери застосування такої технології такі [3, 4, 15]:

- Реставрація та реконструкція історичних механізмів: Наприклад, археологічні дослідження можуть включати створення тривимірних моделей за старими кресленнями та фото артефактів, таких, як стародавні механізми чи машини. Це дозволяє більш точно відтворити та вивчити історичні механізми.
- Проєктування нових моделей на основі старих креслень: У деяких випадках, маючи старі креслення або фотографії механізму, можна створювати тривимірні моделі нових версій або модифікацій цього механізму. Наприклад, якщо є креслення старого автомобіля, можна створити тривимірну модель модернізованої сучасної версії.
- Відновлення втрачених або пошкоджених креслень: Якщо креслення механізму були втрачені або пошкоджені, тривимірне моделювання може використовуватися для відновлення цих креслень. За наявними фрагментами чи з допомогою додаткових досліджень можна створити тривимірну модель механізму.
- Створення цифрових архівів: Старі креслення механізмів та фото можуть бути перетворені на тривимірні моделі для створення цифрових архівів. Це дозволяє зберегти та зберігати інформацію про механізми у більш сучасному та зручному форматі.
- Відновлення історичних архітектурних пам'яток: Були випадки, коли 3D-моделісти використовували старі креслення та фотографії знаменитих будівель або архітектурних споруд, щоб створити точні цифрові 3D-моделі цих об'єктів. Це дозволило зберегти віртуальні копії історичних пам'яток, які можуть використовуватися для дослідження, навчання та візуалізації.
- Відновлення археологічних предметів: Археологи та дослідники можуть використовувати старі креслення та знахідки для створення 3D-моделей артефактів, які можуть бути пошкоджені або втрачені з часом. Такі моделі допомагають зберігати та вивчати цінні артефакти та бачити їх у реалістичній формі.
- Прототипування оригінальних дизайнів: У деяких випадках дизайнери та інженери використовують старі креслення та фотографії, щоб створити 3D-модель для прототипування та тестування нових продуктів або деталей. Це допомагає побачити, як концептуальні ідеї минулого виглядатимуть у реальності та дозволяє внести зміни для покращення дизайну.

Це лише кілька прикладів використання тривимірного моделювання з урахуванням старих креслень механізмів. Фактично, цей процес може бути застосований у різних галузях, включаючи машинобудування, архітектуру, виробництво, дизайн, науку, освіту.



Ось кілька прикладів успішної розробки 3D-моделей за старими фотографіями та малюнками:

- Компанія 3D Way співпрацювала з архітекторами та істориками для відновлення історичної будівлі, використовуючи старі креслення [24]. Вони створили точну 3D-модель будівлі, включаючи деталі фасаду, інтер'єру та архітектурних елементів. Ця модель була використана для реконструкції будівлі та її подання у віртуальній реальності.

- Фірма 3D Evolution працювала із виробничою компанією, яка мала застаріле обладнання без доступних 3D-моделей [25]. Вони створили 3D-моделі цих машин на основі старих креслень, що дозволило компанії виробляти запасні частини і модернізувати обладнання без необхідності фізичного вимірювання.

- Фрілансер, який працює на платформі Upwork, допоміг археологічній експедиції відновити античну споруду [28]. Він використовував старі креслення та архівні матеріали, щоб створити детальну 3D-модель споруди. Ця модель використовувалася надалі при демонстрації цієї споруди на конференціях.

Створення тривимірних моделей за старими кресленнями та фотографіями механізмів може зустрічати деякі труднощі, ось кілька з них [11, 16, 21]:

- Відсутність точних вимірів: Старі креслення механізмів можуть бути недосконалими або не містити достатньо точних вимірів. Це може ускладнити точне відтворення тривимірної моделі та вимагати додаткових зусиль для інтерпретації та оцінки розмірів та пропорцій.

- Неповні або нечіткі деталі: Старі креслення можуть містити неповні або нечіткі деталі, такі як розмиті контури, невизначені розміри або відсутність деяких частин. Це може вимагати додаткового дослідження та аналізу для заповнення прогалів та відтворення повної тривимірної моделі.

- Зношення та пошкодження: Старі креслення та оригінальні механізми можуть бути пошкоджені або зношені з часом. Це може призвести до втрати деяких деталей або інформації про конструкцію. Відновлення та відтворення тривимірної моделі в таких випадках може вимагати експертної оцінки та додаткових досліджень.

- Зміни у технології та стандартах: Старі креслення можуть бути створені за допомогою застарілих технологій та стандартів, які відрізняються від сучасних методів проектування та вимірювань. Це може ускладнити процес створення тривимірної моделі, вимагаючи адаптації та внесення корекцій для відповідності сучасним стандартам.

- Обмежена доступність вхідних даних: Старі креслення та інші вхідні матеріали можуть бути обмежено доступними або існувати лише в обмеженій кількості. Це може ускладнити процес створення тривимірної моделі, особливо якщо потрібна додаткова інформація або перевірка деталей.

Незважаючи на ці труднощі, використання сучасних методів та інструментів тривимірного моделювання, таких як комп'ютерне відеовимірювання (СММ), сканування та фотограмметрія, допомагає подолати деякі з цих проблем та досягти достатньої точності та деталізації при створенні тривимірних моделей за старими кресленнями механізмів. Створенню такої методики і присвячено цю наукову роботу.

### **Методи і матеріали досліджень**

Зберігати зображення та креслення столітньої давності різних технічних пристроїв дуже важливо для нашої історії та її вивчення. Ці артефакти можуть стати цінними ресурсами для майбутніх поколінь, які дадуть їм змогу побачити, які технології ми використовували в минулому і як вони розвивалися. На жаль, упродовж минулих років багато документів та зображень було втрачено або знищено, причиною чого стало неакуратне та неправильне їх зберігання. Це унеможливило повноцінне вивчення нашої культурної та технічної історії. Тим паче значима праця дослідників, котрі займаються методологією створення 3D-моделей із зображень та креслень механізмів, які вийшли з вжитку.

В силу сказаного численні фірми та окремі вчені з різним успіхом розробляють подібну методологію, публікації на цю тематику становлять досить значний список. Наведемо огляд сучасних досліджень та технік, пов'язаних із створенням тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків. Вони пропонують різні підходи та інструменти для досягнення точних та реалістичних результатів у цій галузі [3, 4, 15, 18, 29, 30].

Можна також навести деякі наукові конференції, в яких розглядаються питання вивчення старовинних механізмів та створення на їх основі 3D-моделей, в основному вони пов'язані з областями археології, історії науки і техніки, комп'ютерної графіки, віртуальної реконструкції та музейних досліджень [29, 30, 31]:

- International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision, and Image Processing (CGVCVIP). Ця конференція охоплює широкий спектр тем у галузі комп'ютерної графіки, включаючи візуалізацію та 3D-моделювання. Серед тем, які торкнулися - віртуальна реконструкція та моделювання історичних механізмів.

- International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage (VAST). Конференція VAST зосереджується на використанні віртуальної реальності, комп'ютерної графіки та 3D-моделювання в археології та культурній спадщині. Тут представлені та обговорені роботи зі створення 3D-моделей старовинних механізмів.

- Digital Heritage International Congress. Цей конгрес присвячений цифровій спадщині і включає теми, пов'язані зі створенням віртуальних моделей культурних об'єктів, у тому числі старовинних механізмів.

- International Conference on 3D Imaging (IC3D). IC3D фокусується на технологіях 3D-зображень, і дослідження в цій галузі, торкаються різних аспектів створення 3D-моделей, включаючи старовинні механізми.





Ці конференції надають платформи для обміну ідеями та передачі останніх досягнень у галузі створення 3D-моделей та вивчення старовинних механізмів.

Перелічені публікації містять огляд різних методів та підходів до створення віртуальних моделей (включаючи використання комп'ютерної графіки та моделювання фізичних властивостей та динаміки об'єктів), у них наводяться приклади досліджень, які використовують віртуальні моделі старовинного технічного обладнання, а також обговорюються можливі переваги та обмеження цього підходу.

Однак при всій численності можливостей створення 3D-моделей за кресленнями та фотографіями ці підходи не стали повсякденними та рутинними. Насамперед це обумовлено високими витратами - створення точних 3D-моделей старовинних механізмів потребує значних ресурсів, включаючи час, експертизу та спеціалізоване обладнання [14, 15]. Також має місце обмежена доступність даних - для створення точних моделей втрачених механізмів потрібен доступ до достовірних вхідних даних, таких, як оригінальні креслення або фотографії, однак, у багатьох випадках такі дані можуть бути обмежені або недоступні, оскільки зосереджені в бібліотеках та сховищах до яких немає відкритого вільного доступу. Для друку таких моделей потрібні спеціалізовані 3D-принтери, які не завжди доступні широкій публіці.

Це й обумовлює необхідність розробки доступної технології (придатної навіть для домашнього використання) створення 3D-моделей механізмів за кресленнями та фотографіями для подальшого друку на поширених FDM-принтерах.

Програмне забезпечення для створення тривимірних 3D-моделей надає користувачеві можливість втілювати свої творчі та професійні ідеї у віртуальному середовищі. Воно використовується у різних галузях, таких як архітектура, дизайн, ігрова індустрія, інжиніринг та медична візуалізація. Огляд основних програм у цій галузі включає такі популярні інструменти, як Autodesk 3ds Max, Blender, Autodesk AutoCAD, Autodesk Maya, SolidWorks, SketchUp, 3ds Max [2, 10, 11, 20].

У результаті аналізу перерахованих програм вибір для використання у технології створення 3D-моделей старовинних механізмів упав на Blender. Одним із найважливіших аргументів були безкоштовність та відкритий вхідний код. Також необхідно враховувати, що Blender пропонує широкий спектр інструментів для моделювання, включаючи можливість створення складних геометричних форм, твердотілого моделювання, модифікатори, скульптинг та багато іншого. Це дозволяє створювати різноманітні 3D-моделі із високим рівнем деталізації. Програма Blender має вбудований рендерер Cycles, який забезпечує високоякісний фотореалістичний рендеринг із підтримкою різних матеріалів, освітлення та відображення. Blender має активну спільноту користувачів та розробників, що означає, що при необхідності завжди є доступ до навчальних ресурсів, уроків, доповнень та можливість отримати допомогу при виникненні питань.

Blender – це потужний та безкоштовний програмний інструмент для створення 3D-моделей, анімації та візуалізації. Він може бути використаний для розробки 3D-моделей на основі старих креслень таким чином [16, 17, 20, 23]:

- Імпорт креслень: Blender підтримує імпорт різних форматів файлів, таких як SVG, DXF або DWG, які можуть містити 2D креслення. Користувач може імпортувати ці креслення в Blender і використовувати їх як основу для створення тривимірних моделей.
- Створення контурів: Використовуючи інструменти Blender, можна створювати контури вздовж ліній та кривих на імпортованих кресленнях. Це допоможе перенести двомірні креслення у тривимірний простір.
- Моделювання об'єктів: Після створення контурів можна використовувати інструменти моделювання Blender для розробки тривимірних об'єктів, заснованих на імпортованих кресленнях. Тут можна створювати форми, додавати деякі додаткові деталі та регулювати розміри та пропорції об'єктів.
- Адаптація моделі: Під час розробки 3D-моделі в Blender легко вносити зміни та варіації, ґрунтуючись на початкових кресленнях. Програма пропонує безліч інструментів для зміни форми, текстури та матеріалів об'єктів, щоб наблизити модель до оригінальних креслень або внести власні покращення.
- Візуалізація та анімація: Blender дозволяє створювати фотореалістичні візуалізації та анімації розроблених тривимірних моделей. При цьому можна налаштувати освітлення, матеріали, текстури та камери, щоб створити вражаючі візуалізації своїх моделей і, за необхідності, зробити анімацію

Так як у проекті передбачається подальший друк розробленої 3D-моделі на 3D-принтері за технологією FDM, Blender дозволяє врахувати ці особливості ще при проектуванні такої моделі та надає інструменти для адаптації моделі до особливостей FDM друку, такі як управління підтримками, товщиною стінок, заповненням та іншими аспектами виробництва [23].

Необхідно враховувати, що FDM принтер має свої обмеження щодо виробництва: шарувата структура та підтримуючі конструкції [1, 2, 23]. Тому застосовується оптимізація моделі, щоб вона була зручна для виробництва, в ній не повинно бути перепадів розмірів, що не підтримуються, і гострі кути, які можуть призвести до проблем при друку. Деякі фрагменти моделі можуть вимагати використання підтримок для успішного друку, тому необхідно керувати та мінімізувати їх без шкоди якості друку.

Blender дозволяє переконатися, що товщина стінок та деталей відповідає можливостям вибраного FDM принтера. Рекомендована мінімальна товщина стінок для FDM друку становить близько 1-1.2 мм, залежно від налаштувань принтера та матеріалу, що використовується. Важливо, що отвори в моделі можуть стискатися під час друку, тому варто збільшувати розмір отворів на певний відсоток, щоб після друку вони відповідали заданим



розмірам. Необхідно також враховувати, що різні матеріали для друку мають свої особливості. Наприклад, при друкуванні з використанням ABS-пластику слід брати до уваги потенційне спотворення деталей через теплову усадку матеріалу. При моделюванні слід враховувати рівномірне заповнення деталі, щоб забезпечити стабільність та міцність після друку, особливо для функціональних деталей.

У силу сказаного технологія створення 3D-моделі старовинного механізму за кресленням або фотографії з використанням програми для подальшого друку на FDM принтері виглядає наступним чином:

- **Імпорт креслення:** на цьому етапі можна завантажити креслення у форматі, що підтримується Blender, наприклад, DXF або SVG, за допомогою функції "Import" у програмі. Якщо такого креслення немає, можна спробувати створити його за допомогою сканера з високою роздільною здатністю, щоб отримати чітке і точне сканування фото на папері. Після отримання сканованого зображення креслення імпортуйте його в програму для редагування зображень (наприклад, Adobe Photoshop, GIMP). Далі за допомогою функцій редагування зображень виконується коригування та очищення його від шумів, позначок та дефектів. Після очищення сканованого зображення можна створити векторну версію креслення за допомогою програми для векторної графіки (наприклад, Adobe Illustrator, Inkscape). Використовуючи інструменти трасування, можна перетворити зображення у векторний формат, який можна масштабувати без втрати якості. Після створення векторної версії креслення, легко експортувати його у формат, який сумісний з Blender (наприклад, SVG, DXF).

- **Створення об'єктів:** використовуючи інструменти Blender, необхідно створити об'єкти, ґрунтуючись на кресленні, при цьому потрібно застосовувати основні примітиви, такі як куби, циліндри та площини, щоб втілити форми та розміри, зазначені у кресленні.

- **Модифікація та деталізація:** за допомогою інструментів модифікації Blender, таких як Extrude, Bevel, Boolean і т.д., вносяться необхідні зміни та деталізація моделі відповідно до креслення.

- **Використання скетчу:** якщо креслення містить маркери для орієнтування, можна використовувати їх для створення скетчу в Blender. Можна скористатися інструментом Grease Pencil і намалювати його прямо на екрані, використовуючи накладене креслення як референс.

- **Текстурування та матеріали:** можна застосувати текстури та матеріали до моделі, щоб вона стала візуально привабливішою та відповідала кресленню. У Blender можна створювати та використовувати власні матеріали або імпортувати готові текстури.

- **Перевірка та доопрацювання:** потрібно ретельно розглянути модель у Blender, перевірка її відповідності кресленню, розмірів та пропорцій. У разі потреби потрібно внести необхідні коригування та доопрацювання.

- **Розбиття на компоненти:** якщо модель можна розділити на кілька компонентів, кожен з яких окремо легше надрукувати, ніж усю модель, необхідно зробити цей поділ і надалі друкувати компоненти окремо з наступною склейкою.

- **Експорт моделі:** коли модель готова, можна експортувати її в потрібному форматі (наприклад, OBJ, FBX) для подальшого використання в інших програмах або на 3D-принтері.

Подальша обробка моделі відбувається у програмі слайсингу (наприклад, Cura) для підготовки її до друку на 3D-принтері [15, 17, 20, 23]. Тут передбачається встановлення необхідних параметрів друку відповідно до вимог моделі:

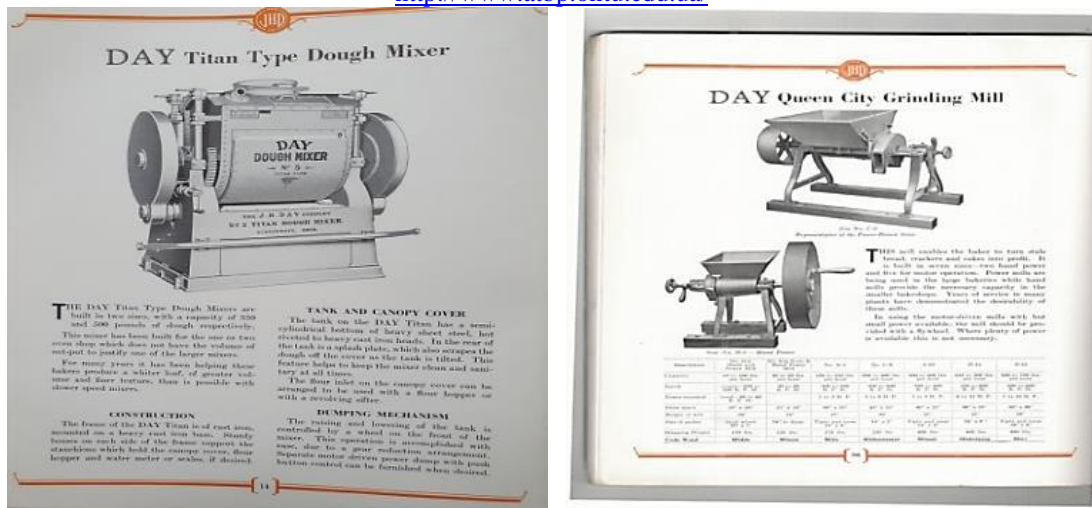
- **Налаштування принтера:** Перед початком друку необхідно налаштувати параметри 3D-принтера, такі як температура сопла, швидкість друку та налаштування підтримки (якщо потрібно). Це дозволяє досягти оптимальних результатів та якості друку.

- **Друк моделі:** після налаштування принтера можна розпочати друк моделі. 3D-принтер створює модель, нашарувавши пластикові шари один за одним, відповідаючи інструкціям з файлу зрізання. Процес друку може зайняти різний час в залежності від розміру та складності моделі.

- **Постобробка:** після завершення друку модель вимагає постобробки. Це може включати видалення підтримки, шліфування поверхні, видалення видимих шарів або додаткову обробку для досягнення бажаного зовнішнього вигляду.

Як уже зазначалося, створення тривимірних моделей за фотографіями старих механізмів дозволяє більш точно уявити пристрій цього обладнання, провести аналіз, візуалізацію та оптимізацію, а також використовувати їх для подальшого проектування та виробництва. Як вхідну інформацію для експериментів з розробки доступної технології формування та друку 3D-моделей були прийняті книги The Consolidated Grain Milling (Catalogs 1929-30) National Miller («Об'єднані каталоги з борошномельного виробництва») [19] та Day bakery machinery Catalog 206 («Каталог обладнання для денних пекарень»), що знаходяться у фондах НТВ ОНТУ [31].

Для створення якісних моделей необхідні і якісні фотографії, проте в більшості випадків до наших днів доходять джерела, досить пошарпані часом. Для створення зразкових 3D моделей автором було відібрано фотографії пристроїв, традиційних на той час (рис.2).



**Рис. 2 – Механізми Titan Type Dough Mixer (тістоміс великого розміру типу Титан) та Queen City Grinding Mill (зерновий млин Квін-Сіті)**  
**Fig. 2 - Mechanisms of Titan Type Dough Mixer (a large Titan type dough mixer) and the Queen City Grinding Mill (a grain mill in Queen City)**

Тістоміс типу DAY Titan був створений для цеху з однією або двома печами, потужність якого не дозволяла використовувати більші міксери. Протягом багатьох років він допомагав пекарям виробляти більш білий хліб, більшого об'єму та тоншої текстури, ніж це можливо при використанні міксерів з нижчою швидкістю. Рама DAY Titan виготовлена з чавуну та встановлена на важкій чавунній основі. Міцні виступи з кожного боку рами підтримують стійки, що утримують бункер для борошна та кришку навісу. Танк DAY Titan має напівкругле дно з важкої листової сталі, поєднане з важкими чавунними днищами. У задній частині резервуара знаходиться бризковик, який також зіскребає тісто з кришки при нахилі резервуара.

Млин моделі Queen City Grinding Mill дозволяє пекарю перетворювати черствий хліб, крекери та тістечка на прибуток. Він має сім розмірів – два для ручного керування та п'ять для моторного. Такі електричні млини використовувались у великих пекарнях, а ручні млини забезпечували необхідну продуктивність у невеликих пекарнях. Роки експлуатації на багатьох заводах продемонстрували високу якість цих млинів.

Як зазначалося вище, створення 3D-моделей устаткування борошномельного виробництва (зокрема і наведених вище пристроїв) може позитивно вплинути на сучасне виробництво у багатьох аспектах. Аналіз таких моделей старих механізмів для борошномельних та зернопереробних цілей дозволяє ідентифікувати унікальні та ефективні методи та процеси, може допомогти виявити вузькі місця та проблеми. Це також стимулює розробку нових та покращених технологій, які підвищують ефективність та якість виробництва борошна. Вивчення побудованих тривимірних моделей допоможе у пошуку традиційних, екологічно стійких методів виробництва борошна та переробки зерна. Це важливо у контексті сучасних вимог до сталого розвитку та екологічної відповідальності. Розробка та застосування таких рішень сприяє скороченню негативного впливу на довкілля. 3D-моделі дозволять зберегти та передати цінні знання та технічні навички, пов'язані з борошномельним та зерновим виробництвом. Це сприяє збереженню культурної спадщини та її популяризації.

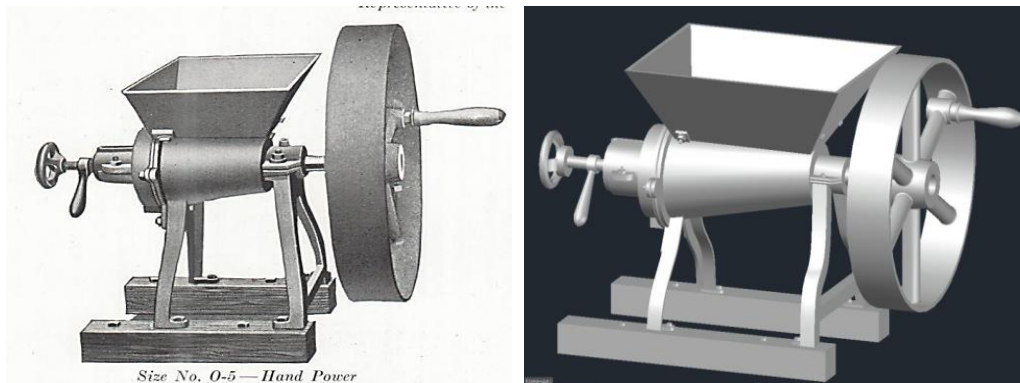
Як уже зазначалося, для створення зразкових 3D-моделей старовинних механізмів був вибраний додаток Blender через багато переваг його використання. Blender дозволяє робити досить точні моделі, придатні для друку на побутових -принтерах, що працюють за технологією FDM (плавлення пластику на основі сопла, що нагрівається) [1, 3, 23]. Такі принтери дають можливість досягти гарної якості друку, хоча точність деталей може бути обмежена в порівнянні з промисловими пристроями.

Важливу роль у точності друку FDM принтерів відіграють правильне калібрування принтера, відповідні налаштування слайсингу, якість філаменту та встановлення правильної температури його плавлення. Спочатку потрібно нівелювати та налаштувати платформу принтера, щоб отримати рівні шари та точне позионування. Важливо вибрати оптимальні налаштування слайсингу в програмі підготовки моделей (наприклад, Cura), тому потрібно звертати увагу на налаштування швидкості друку, товщину шару, периметри, заповнення і т.д. (у більшості випадків це робиться експериментально). Деякі параметри, такі як зниження швидкості друку для маленьких деталей або збільшення роздільної здатності слайсингу, можуть значно покращити точність друку. Температура екструдера і платформи, що підігрівається, повинна бути правильно налаштована відповідно до використовуваного філаменту, що допоможе досягти більш стабільного друку і покращити точність деталей. Потрібно брати до уваги і конструкцію моделі: іноді редизайн самої моделі або додавання опорних елементів може покращити точність друку та запобігти деформації окремих частин. При цьому потрібно уникати великих перепадів висоти шарів, гострих кутів і елементів, що нависають, що можуть бути важкими для друку.





У більшості випадків створення нових моделей з використанням програми Blender ґрунтується на застосуванні основних примітивів, таких як куби, циліндри та площини, щоб втілити форми та розміри, вказані в кресленні або присутні на фото. Спочатку було використано фото зернового млина Queen City Grinding Mill (рис.3).



**Рис. 3 – Фото зернового млина Queen City Grinding Mill та його 3D-модель, яка була створена у програмі Blender**

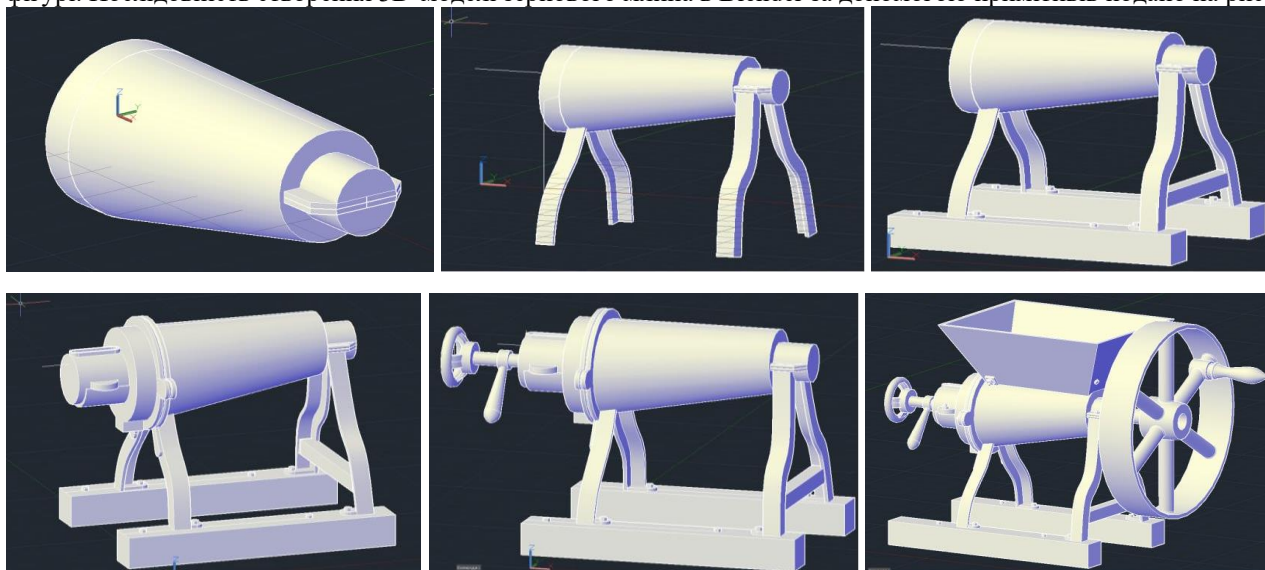
**Fig. 3 – Photo of the Queen City mill and its 3D model, which was created in Blender**

Послідовність дій під час використання запропонованої доступної технології створення 3D-моделей у програмі Blender наступна [23]. У меню Blender вибирається пункт "Add" (Додати) та один з доступних примітивів, таких як куб, сфера, циліндр та інші. Примітиви доступні у розділі "Mesh" (Сітка). Створений примітив можна редагувати, вибравши його та натиснувши клавішу Tab.

У цьому режимі доступні операції переміщення, масштабування та обертання вершини, ребра та грані примітиву. Для цього використовуються інструменти редагування, такі як Extrude (Висунути), Scale (Масштабування), Rotate (Поворот) та інші, щоб створювати складні форми.

Модифікатори Modifiers дозволяють змінювати форму та геометрію примітивів, їх можна додати, вибравши об'єкт і перейшовши у вкладку Modifiers у властивостях об'єкта. Деякі корисні модифікатори для створення складних моделей включають Subdivision Surface (Підрозділ поверхні), Bevel (Округлення), Boolean (Булева операція) та інші. Можливе також комбінування примітивів, для цього використовуються інструменти об'єднання, такі як "Boolean" (Булева операція), щоб з'єднати різні примітиви в один об'єкт. Для надання примітивам органічніші, наближені до реальності форми, можна використовувати інструменти згладжування та формування, такі як "Proportional Editing" (Пропорційне редагування) та "Sculpt Mode" (Режим скульптури).

При роботі з примітивами в Blender важливо експериментувати, пробувати різні інструменти та модифікатори, щоб досягти бажаного результату. Використовуючи наведені прийоми, можна сформувати фігуру потрібної складності із невеликих частин (рис.3). Це кропітка і повільна робота, але результати цілком якісні. Усі деталі (особливо дрібні) неможливо передати в моделі, але основні функціональні частини є в отриманій об'ємній фігурі. Послідовність створення 3D-моделі зернового млина в Blender за допомогою примітивів подано на рис.4.



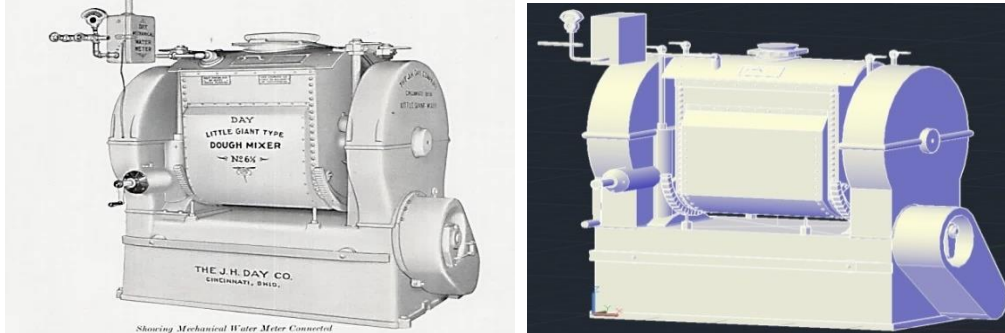
**Рис. 4. – Послідовність створення 3D-моделі зернового млина в Blender за допомогою примітивів**

**Fig. 4. – The sequence of creating a 3D model of a grain mill in Blender using primitives**





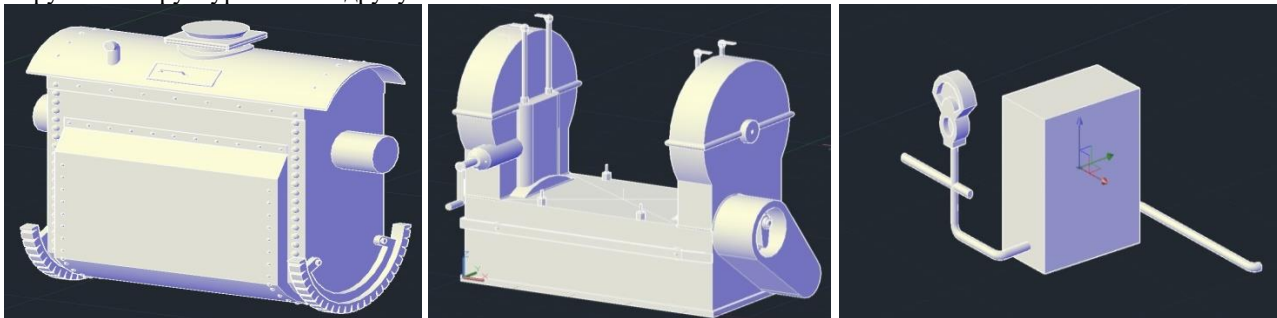
Ті самі побудови проведемо для тістомісу моделі Titan Type Dough Mixer (рис.2, 5).



**Рис. 5 – Фото тістомісу Titan Type Dough Mixer та його 3D-модель, яка була створена у програмі Blender**  
**Fig. 5 – Photo of the Titan Type Dough Mixer and its 3D model, which was created in the Blender program**

Слід враховувати, що друк на FDM принтері може вимагати підтримки для визначних чи нависаючих частин моделі. При моделюванні слід прагнути мінімізації подібних елементів, а також приділяти особливу увагу підготовці до друку. Необхідно, щоб товщина стінок і деталей відповідала можливостям 3D-принтера. Занадто тонкі стінки можуть вигнутись або бути неміцними, а занадто товсті можуть призвести до деформації або додаткових витрат матеріалу. Якщо модель містить елементи, що виступають або нависають (а розроблена модель саме така), можливо, потрібно додати підтримки. Підтримки допоможуть запобігти прогинам і забезпечити успішне завершення друку, однак вони повинні легко видалятися після друку, щоб не пошкодити модель. Якщо модель занадто велика для друку в одному шматку (або може вийти занадто багато підтримок, що заважають один одному), її можна розділити на кілька частин (рис.6). Це дозволить знизити ймовірність деформацій та проблем з адгезією.

Великі та складні моделі можуть вимагати багато часу для друку, що підвищує ризик виникнення проблем, таких як деформація, обвисання та дефекти у процесі друку. Розділяючи модель на частини, можна покращити якість друку для кожної окремої частини, оскільки уникають проблеми, пов'язані з великими обсягами та формами. Великі моделі можуть бути більш схильні до деформації у зв'язку з тепловою усадкою матеріалу і шаруватою структурою FDM-друку.



**Рис. 6 – Розбиття на частини усієї 3D-моделі для зменшення кількості підтримок**  
**Fig. 6 – Splitting the entire 3D model into parts to reduce the number of supports**

Для якісного друку пластиком розроблених 3D-моделей необхідно заздалегідь зробити деякі розрахунки та експерименти. Спочатку потрібно вибрати матеріал, з якого складатиметься майбутній виріб [1, 2, 10]. У нашому випадку вибір ліг на PLA з урахуванням його доступності, вартості та міцності.

Для отримання якісного результату потрібно провести кілька пробних печаток пластиком, з аналізом результатів та зміною деяких параметрів [1, 2]. Друк складних моделей може вимагати певних параметрів принтера, таких як температура сопла, швидкість друку, наявність підтримки та інші параметри. Експериментування з різними значеннями цих параметрів дозволить визначити оптимальні параметри для конкретної моделі. Такі моделі можуть мати особливості, які можуть викликати проблеми під час друку, такі як деформація, відшарування, пропуски шарів і т. д. Проведення кількох експериментів дозволить виявити проблемні області та вжити заходів для їх усунення, наприклад, змінити орієнтацію моделі, додати підтримку або внести зміни дизайну. Повторні друки допоможуть оцінити якість отриманих моделей та виявити можливі недоліки. Це дозволить внести коригування в модель або процес друку, щоб досягти необхідної якості та деталізації. Для коректного друку на 3D-принтері (використовувався Anycubic Kossel) спочатку потрібно створити спеціальний G-Code, що є послідовністю інструкцій для пересування екструдера принтера і видавлювання пластику в певні проміжки часу. G-Code – це стандартна мова, яка використовується багатьма 3D-принтерами для керування процесом друку. Для отримання такого сигналу, що управляє, застосовується спеціальна програма, звана слайсером. У цій роботі використовувався слайсер CURA як найбільш поширений і досить простий інструмент керування 3D-принтером. Як і в будь-якій поширеній програмі, в CURA є деякі



стандартні установки, застосування їх невідготовленим користувачем дає можливість відразу приступити до пробного друку. Для принтера Anycubic Kossel та пластику PLA ці установки такі: температура сопла в діапазоні до 220 ° C; температура столу – 60°C; швидкість друку – 50 мм/с; діаметр філаменту – 1.75 мм; розмір сопла (діаметр) – 0.4 мм; висота шару – 0.2мм; щільність заповнення –30%; охолодження – включено; підтримка – за потребою; швидкість руху – 100 мм/с.

Створення G-Code з цими установками та пробний друк на принтері Anycubic Kossel привели до результатів, зображених на рис.7.



Рис. 7 – Невдалі спроби друку частин тістомісу по створеній 3D-моделі

Fig. 7 – Unsuccessful attempts to print parts of the dough bowl based on the created 3D model

Аналіз невдалих спроб друку спричинив зміну налаштувань слайсера CURA (рис.8), насамперед було встановлено відповідні підтримки. Зміни, пов'язані з покращенням підтримки та їх розподілом, можуть допомогти уникнути дефектів на високих елементах та покращити загальну якість друку, особливо для більш складних моделей.

Були також змінені швидкість пересування екструдера, висота шару та температура сопла, відсотки заповнення внутрішньої структури деталі. Також було перевірено калібрування 3D-принтера, включаючи рівень столу, правильне вирівнювання осей і налаштовано заново точність позиціонування, щоб забезпечити точний та однорідний друк. Вибрано також інший матеріал (лак) для забезпечення гарного зчеплення пластику з платформою.

Щоб підвищити точність створеної 3D-моделі для більш повної відповідності вихідним фотографіям за допомогою CURA, автори за результатами експериментів рекомендують наступні кроки: перевірити в налаштуваннях швидкість друку, висоту шару та якість друку, збільшити роздільну здатність слайсингу, щоб отримати більш гладкі та деталізовані поверхні (при цьому може збільшитись час друку), використовувати підтримки, щоб забезпечити правильне формування виступаючих елементів, провести заново калібрування 3D-принтера для більш точного позиціонування та уточнення розміру моделі, перевірити геометрію моделі, видалити небажані перекриття або дефекти, які можуть вплинути на точність друку.

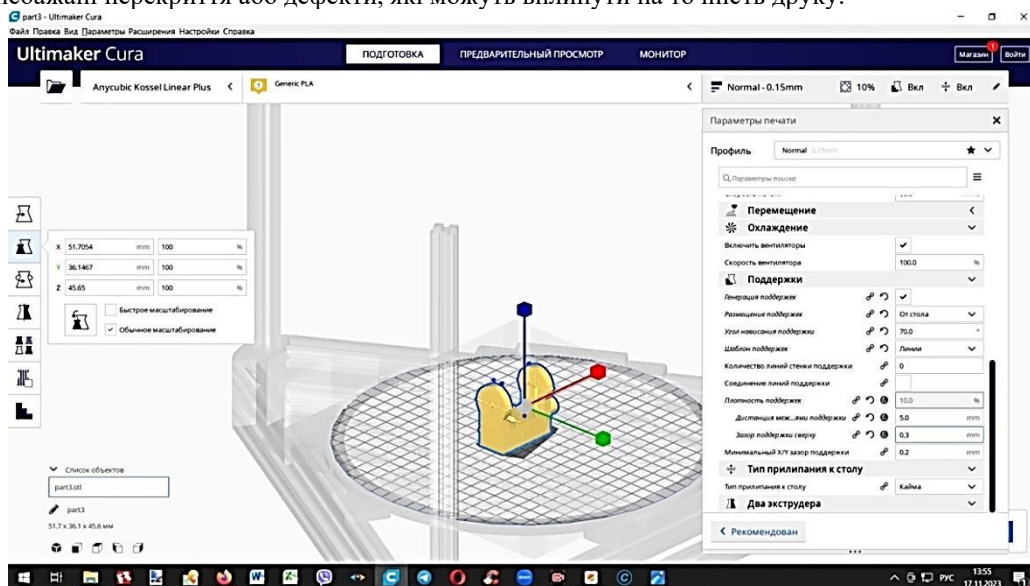


Рис. 8 – Змінені параметри налаштувань слайсера CURA  
Fig. 8 – Changed CURA slicer settings options

Це дозволило досить якісно надрукувати модель тістомісу у зменшеному вигляді (рис.9).



**Рис. 9 – Надрукована зменшена модель тістоміси**  
**Fig. 9 – Printed reduced model of the dough bowl**

Зменшена модель потребує менше часу для друку та використовує менше друкованого матеріалу, що дозволяє заощаджувати ресурси та скорочує тимчасові витрати на створення прототипу. Зменшена модель може використовуватися як тестовий зразок для перевірки точності та якості деталей перед печаткою основної моделі. Це дозволяє легше виявляти потенційні проблеми та коригувати модель до тривалого друку. Така версія моделі дозволяє швидше отримати фізичну модель з метою оцінки візуального вигляду та форми, що спрощує прототипування та ітераційний процес розробки. Друк зменшеної моделі дозволяє знизити витрати та ризики перед печаткою більшої деталі, особливо під час друку комплексних та складних об'єктів, а також налагодити установки слайсера.

FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-принтери використовують пластиковий філамент, який нагрівається та відкладається шарами для створення 3D-моделей [1, 20]. Принтер створює пластиковий виріб, поділяючи його на тонкі горизонтальні шари, що іноді призводить до видимих шарів та текстури на поверхні моделі (чого слід уникати). Філамент може стискатися та деформуватися при охолодженні, особливо при великих друкованих об'ємах, що також може призвести до деякого викривлення геометрії моделі. Для друку складних об'ємних моделей (до яких відносяться створені в 3D-моделі обладнання) потрібно більш тривалий час друку та ретельне налаштування параметрів, таких як швидкість друку, температура та налаштування подачі філаменту, щоб досягти найкращої якості друку. Оптимальні параметри друку було приведено вище після серії експериментальних печаток. Результат друку частин моделі тістоміси та модель у зборі показані на рис.10.



**Рис. 10 – Надруковані частини моделі та модель тістоміси в зборі**  
**Fig. 10 – Printed model parts and dough bowl model assembly**

Результат застосування розробленої технології об'ємного моделювання старовинних механізмів – тривимірна пластикова фігурка, що відповідає начальному фото тесту Titan Type Dough Mixer - рис.1, та його моделі – рис.4.

**Результати досліджень.** Результати дослідження мають наукову новизну, оскільки пропонують покращення технології створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей на основі сучасних засобів прототипування, що вносять вагомий внесок у розвиток цієї галузі. У статті запропонована технологія створення 3D-моделей на основі креслень і фотографій старих механізмів, яка передбачає врахування всіх особливостей утрачених механізмів, використання сучасних засобів прототипування, поширеного програмного забезпечення, застосування недорогих домашніх 3D-принтерів. В ній пропонується вдосконалена методика створення тривимірних моделей на основі алгоритмів обробки даних, вирівнювання зображень, відновлення утрачених деталей, яка уділяє особливу увагу унікальним особливостям і складності відновлення старих механізмів (врахування розміру, деформації або пошкодження деталей, які можуть бути викликані часом та експлуатацією).





Викладено підходи до аналізу і порівнянню створених тривимірних моделей з вхідними кресленнями і фотографіями. Це дозволяє оцінити точність і достовірність отриманих моделей, а також виявити і пояснити можливі розбіги або показання.

Показано можливість використання старої літератури для відбору фото та креслень для створення якісних 3D-моделей обладнання харчової та переробної промисловості, для прикладу, для подальшої обробки вибрано фото тістомісу Titan Туре Dough Mixer та зернового млина Queen City Grinding Mill. Для вибраних фото створені відповідні 3D-моделі, які надруковані далі на 3D-принтері.

Описано труднощі точного відтворення вибраних виробів при створенні їх об'ємних моделей та друку на 3D-принтері, наведено докладну схему створення 3D-моделей у додатку Blender за допомогою примітивів та додаткових інструментів. Обґрунтовано схему зміни налаштувань слайсера CURA за результатами експериментів, детально описаний алгоритм друку моделей на 3D-принтері за технологією FDM.

## References

- [1.] Anna Kaziunas France. Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers. - Maker Media, 2014. – 230 p.
- [2.] Advantages of 3D Printing [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.makerbot.com/stories/engineering/advantages-of-3d-printing/>
- [3.] Old Mechanism 3D model [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.turbosquid.com/3d-models/old-mechanism-3d-model-1813982>
- [4.] Virtual Modeling of Ancient Mechanical Technolog. Available: [https://www.researchgate.net/publication/318880169\\_A\\_Study\\_on\\_the\\_holding\\_Joseon\\_Sideline-products\\_Exhibition\\_and\\_its\\_effect\\_in\\_1923](https://www.researchgate.net/publication/318880169_A_Study_on_the_holding_Joseon_Sideline-products_Exhibition_and_its_effect_in_1923)
- [5.] Sokolova O.P., Kotlyk S.V. Peculiarities of developing a virtual computer model of ancient technical equipment and creating a reduced copy of it using a 3D printer / Materials of the XXIII All-Ukrainian scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students "State, achievements and prospects of information systems and technologies", Odesa, 20- April 21, 2023 - Odesa, ONTU Publishing House, 2023, p. 55-57.
- [6.] Sokolova O.P., Shinkar O.V. Peculiarities of creating three-dimensional 3D models based on drawings of mechanisms of old models / Materials of the XVI international scientific and practical conference "Information technologies and automation - 2023". Odesa, October 19-20, 2023 - Odesa, ONTU Publishing House, 2023, p.445-448 .
- [7.] On the way to Industry 4.0: information technologies, modeling, artificial intelligence, automation: monograph / col. author : V. B. Artemenko, L. V. Artemenko, O. V. Artemenko [and others] ; in general ed. S. V. Kotlyk. — Odesa: Astroprint, 2021, p. 317 - 332.
- [8.] S. Kotlyk, O. Romanyuk, O. Sokolova, D. Kotlyk. Development of accessible technology for creating 3D computer models based on photogrammetry. Part I, Automation of technological and business processes, Volume 14, Issue 2, pp. 37-50, Sep 2022, DOI:<https://doi.org/10.15673/atbp.v14i2.2332>.
- [9.] 12. S. Kotlyk, O. Romanyuk, O. Sokolova, D. Kotlyk. Development of accessible technology for creating 3D computer models based on photogrammetry. Part II, Automation of technological and business processes, Volume 14, Issue 3, pp. 11-19, Sep 2022, DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v14i3.2348>.
- [10.] How To Create Accurate 3D Models From Blueprints [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://it-s.com/how-to-create-accurate-3d-models-from-blueprints/>
- [11.] What's the best way to create accurate 3D models from 2D blueprints in 3D modeling software? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.linkedin.com/advice/1/whats-best-way-create-accurate-3d-models-from-2d-blueprints-clthc>
- [12.] Відеоуроки з Blender / Blender 3D [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://blender3d.com.ua/>
- [13.] Home of the Blender project - Free and Open 3D [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.blender.org/>
- [14.] Is it possible to build a replica of the Antikythera mechanism? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.quora.com/Is-it-possible-to-build-a-replica-of-the-Antikythera-mechanism>
- [15.] Ancient Architecture Animation Design Method of 3D Technology and Its Application. Journal of Physics: Conference Series, 2037 (2021) 012068 IOP Publishing DOI:10.1088/1742-6596/2037/1/012068
- [16.] Is there a 3D modeller that Auto-generates models from blueprints? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://graphicdesign.stackexchange.com/questions/115241/is-there-a-3d-modeller-that-auto-generates-models-from-blueprints>
- [17.] How to Create 3D Model of Mechanism [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.instructables.com/How-to-create-3D-model-of-mechanism/>
- [18.] Evolution of 3D Modeling In Architecture and Design: a 30-year Retrospective [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://archicgi.com/cgi-news/evolution-of-3d-modeling-retrospective/>
- [19.] The Consolidated Grain Milling Catalogs for 1929-1930, Published by National Miller, Market Place Publishing, Chicago, 1931. - 288 pages,
- [20.] Joan Horvath, Rich Cameron/ Mastering 3D Printing. A Guide to Modeling, Printing, and Prototyping, «Apress», 2020, 214 p.
- [21.] Melnyk O. M., Khmara O. V. Virtual modeling of machine-building structures, Bulletin of the Kharkiv National Technical University named after V. N. Karazin. Series: Mechanical engineering and energy. Issue 43, 2015, p. 86-90.



- [22.] Klemenko A. A., Ivasenko Yu. M. Methodology for creating virtual models of mechanisms and devices, Mechanical Engineering and Transport, 2015, No. 3 (76), pp. 41-44.
- [23.] Roland Hess. Blender Foundations: The Essential Guide to Learning Blender 2.7, Elsevier Inc., 2019. – 529 p.
- [24.] 3D Way [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3dway.com.ua/>
- [25.] 3D Evolution [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3devolution.com/>
- [26.] UltiMaker thingiverse [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.thingiverse.com/>
- [27.] Freelancer.com [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.freelancer.com/>
- [28.] Upwork [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.upwork.com/>
- [29.] Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://2021.caaconference.org/>
- [30.] International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://chnt.at/>
- [31.] Scientific and technical library of ONTU - a journey of 120 years: bibliogr. coll. / Odesa. national University of Technology, Science and Technology b-ka editor: O. V. Olshevska, T. E. Mazepa; under the editorship O. V. Olshevska. - Odesa, 2022. - 87 p.

Отримана в редакції 03.01.2024. Прийнята до друку 14.02.2024. Received 02 January 2024. Approved 14 February 2024. Available in Internet 10 April 2024

УДК 519.2

## CLUSTERING-BASED OBJECTS STATE DIAGNOSTICS IN CONDITIONS OF FUZZY SOURCE DATA

Raskin L.G.<sup>1</sup>, Sukhomlyn L.V.<sup>2</sup>, Sokolov D.D.<sup>3</sup>, Vlasenko V.V.<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0002-9015-4016>, <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-9511-5932>,

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-4558-9598>, <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-5427-0223>

E-mail: <sup>1</sup>[topology@ukr.net](mailto:topology@ukr.net), <sup>2</sup>[lar.sukhomlyn@gmail.com](mailto:lar.sukhomlyn@gmail.com), <sup>3</sup>[sokolovddd@gmail.com](mailto:sokolovddd@gmail.com), <sup>4</sup>[vitalik.vlasenko.000@gmail.com](mailto:vitalik.vlasenko.000@gmail.com)

Copyright © 2024 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v16i1.2766

**Abstract.** *The problem of distribution of a set of objects, the state of which is determined by a set of controlled parameters, into a set of subsets of objects maximally homogeneous in their properties is considered. Relevance of the problem and important advantage of the clustering procedure: when its implementing it is possible to reduce the initial difficult problem of high dimensionality objects analysing to the solution of a number of simpler problems of lower dimensionality. This circumstance acquires additional attractiveness and importance if the initial data of the problem contain uncertainty, for example, are vaguely defined. Research object is the procedure of partitioning a set of objects into clusters under conditions of uncertainty. In this regard, the purpose of the study is to develop a method for solving the problem of clustering in conditions where the initial data on objects controlled parameter the values contain uncertainty. The method of solving the problem is based on clustering procedure mathematical model development, containing analytical expressions for the criterion of its effectiveness, written in the form of a twice fractionally quadratic function. The impossibility of mathematical programming problem direct solution initiated the development of a heuristic algorithm for its solution. As a result, an iterative method was obtained and applied to solve the clustering problem under conditions of fuzzy initial data. The developed computational procedure is based on a reasonable system of rules for performing operations on fuzzy numbers. The situations when the belonging functions of problem fuzzy parameters are defined on infinite or compact media are considered. The developed system of rules allows to correctly perform operations in the metric of fuzzy defined states between clustering objects. The proposed method is easily*