

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка моделі генерації та оптимізації дизайну виробів на
основі генеративних моделей штучного інтелекту

Виконали: студенти 4 курсу, групи КТ-41
спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гаврись С.Т.

(підпис)

Лаврентій О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дідич І.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Чихіра І.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Голотенко О.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Коноваленко І.В.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Голотенко О.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 14 » квітня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студентці Гаврись Софії Тарасівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка моделі генерації та оптимізації дизайну виробів на основі генеративних моделей штучного інтелекту

Керівник роботи Дідич Ірина Степанівна, доктор філософії, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » квітня 2026 року № 4/9-183

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи база із вихідних форм екструдованих снекових виробів, параметри їх геометричного опису, методи генеративного проєктування та генетичної оптимізації, а також програмні засоби Python, DALL-E та SolidWorks для реалізації системи генерації, візуалізації та проєктування виробів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина.

2. Проектна частина.

3. Спеціальна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність теми та мета роботи. 2. Аналіз існуючих форм екструдованих снекових виробів. 3. Екструзійне виробництво снекової продукції та роль формуютьовуючої матриці. 4. Структура системи генерації та оптимізації дизайну виробів. 5-6. Інтеграція результатів генеративного проєктування у технологічний процес екструзійного виробництва.

7-8. Генетичний алгоритм генерації та оптимізації нових форм виробів. 9-11. Результати роботи генетичного алгоритму та оптимізовані форми виробів. 12-13. Формуютьовуюча матриця для виготовлення спірального трикутного виробу. 14. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>кандидат технічних наук, доцент кафедри МТ Сенчишин В. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Технологія виробництва екструдованих снекових виробів</i>	<i>01.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Конструктивні особливості екструдерів та формоутворюючих матриць</i>	<i>02.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Сучасні генеративні моделі ШІ для візуалізації виробів</i>	<i>04.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Аналіз та формування набору базових форм снекових виробів</i>	<i>05.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Розроблення структури системи генерації та оптимізації дизайну</i>	<i>07.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Спеціальна частина</i>	<i>08.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>10.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>18.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06.2026</i>	<i>Виконано</i>

Студент

(підпис)

Гаврись С.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дідич І.С.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Голотенко О.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 14 » квітня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Лаврентію Олегу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка моделі генерації та оптимізації дизайну виробів на основі генеративних моделей штучного інтелекту

Керівник роботи Дідич Ірина Степанівна, доктор філософії, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » квітня 2026 року № 4/9-183

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи база із вихідних форм екструдованих снекових виробів, параметри їх геометричного опису, методи генеративного проєктування та генетичної оптимізації, а також програмні засоби Python, DALL-E та SolidWorks для реалізації системи генерації, візуалізації та проєктування виробів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина.

2. Проектна частина.

3. Спеціальна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність теми та мета роботи. 2. Аналіз існуючих форм екструдованих снекових виробів. 3. Екструзійне виробництво снекової продукції та роль формуютьоворюючої матриці. 4. Структура системи генерації та оптимізації дизайну виробів. 5-6. Інтеграція результатів генеративного проєктування у технологічний процес екструзійного виробництва.

7-8. Генетичний алгоритм генерації та оптимізації нових форм виробів. 9-11. Результати роботи генетичного алгоритму та оптимізовані форми виробів. 12-13. Формуютьоворююча матриця для виготовлення спірального трикутного виробу. 14. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>кандидат технічних наук, доцент кафедри МТ Сенчишин В. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Методи комп'ютерного проєктування виробів</i>	<i>01.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Генеративні моделі та еволюційні алгоритми оптимізації конструкції</i>	<i>03.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Аналіз предметної області та постановка задачі</i>	<i>04.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Інтеграція результатів генеративного проєктування у технологічний процес екструзійного виробництва</i>	<i>06.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Вибір ПЗ реалізації системи</i>	<i>07.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Спеціальна частина</i>	<i>08.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>12.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>18.06.2026</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06.2026</i>	<i>Виконано</i>

Студент

(підпис)

Лавренцій О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дідич І.С.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто задачу розроблення системи генерації та оптимізації дизайну виробів на основі генеративних моделей ШІ та еволюційних алгоритмів. Актуальність роботи обумовлена зростанням потреби у використанні інтелектуальних технологій для автоматизації процесів проєктування нових виробів, скорочення часу розроблення продукції та пошуку перспективних конструктивних рішень з урахуванням технологічних обмежень виробництва.

Метою роботи є розроблення системи генерації та оптимізації форм екструдованих снекових виробів із використанням генетичного алгоритму, параметричного моделювання та засобів генеративного ШІ для створення нових конструктивних рішень і забезпечення можливості їх практичної реалізації в умовах екструзійного виробництва.

У роботі проведено аналіз сучасних підходів до генеративного дизайну, систем автоматизованого проєктування, генеративних моделей ШІ та еволюційних алгоритмів оптимізації. Розглянуто особливості технології виробництва екструдованих снекових виробів, принципи формування їх геометрії за допомогою формоутворюючих матриць та можливості застосування інтелектуальних методів для автоматизованого створення нових конструктивних рішень.

Розроблено ПЗ мовою Python, яке реалізує процес еволюційної генерації нових форм виробів, їх параметричне моделювання та оптимізацію. А також, за допомогою генетичного алгоритму отримано вісім нових форм снекових виробів: турбінний конус, спіральне кільце, порожнистий циліндр, пентагон з отвором, спіральний гребінець, класичний гребінець, хвилястий трикутник та спіральний трикутник. Для всіх отриманих конструкцій значення функції пристосованості перевищили 0,999, що підтвердило ефективність даного підходу до оптимізації геометрії виробів.

Для підвищення наочності та оцінювання дизайнерських рішень виконано фотореалістичну візуалізацію отриманих форм із застосуванням генеративної моделі DALL·E. Отримані результати дозволили оцінити зовнішній вигляд виробів ще до етапу виготовлення фізичних прототипів. Для перевірки можливості практичної реалізації отриманих результатів у середовищі SolidWorks розроблено тривимірну модель та конструкцію формоутворюючої матриці для виготовлення спірального трикутного виробу. Результати моделювання підтвердили можливість використання розроблених конструктивних рішень у технологічному процесі екструзійного виробництва.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розробленої системи для автоматизації процесів генерації та оптимізації дизайну виробів, підтримки прийняття проєктних рішень, розширення асортименту екструдованої продукції та скорочення витрат часу на пошук перспективних конструктивних рішень. Запропонований підхід може бути використаний у системах автоматизованого проєктування, харчовій промисловості та інших галузях, де актуальним є завдання створення нових форм виробів на основі наявних зразків із подальшим проєктуванням технологічних засобів їх виготовлення.

Ключові слова: ШІ, генеративний дизайн, генетичний алгоритм, параметричне моделювання, екструзія, снекові вироби, SolidWorks, DALL·E, автоматизоване проєктування.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ШІ – штучний інтелект;

ГШІ – генеративний штучний інтелект;

ГА – генетичний алгоритм;

МН – машинне навчання;

GAN – генеративна змагальна мережа;

VAE – варіаційний автокодер;

CAD – система автоматизованого проєктування;

GUI – графічний інтерфейс користувача;

API – програмний інтерфейс застосунку;

PNG – формат растрових графічних зображень;

CSV – формат зберігання табличних даних;

RGB – колірна модель представлення зображень;

OpenCV – бібліотека комп'ютерного зору;

NumPy – бібліотека для математичних обчислень мовою Python;

Pandas – бібліотека для аналізу та обробки даних мовою Python;

Fitness-функція – функція пристосованості, що використовується для оцінювання якості рішень у генетичному алгоритмі.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	12
1.1 Технологія виробництва екструдованих снекових виробів.....	12
1.2 Конструктивні особливості екструдерів та формоутворюючих матриць	19
1.3 Методи комп'ютерного проектування виробів.....	23
1.4 Генеративні моделі та еволюційні алгоритми оптимізації конструкції	27
1.5 Сучасні генеративні моделі ШІ для візуалізації виробів	31
1.6 Аналіз предметної області та постановка задачі.....	33
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	36
2.1 Аналіз та формування набору базових форм снекових виробів ..	36
2.2 Формування параметричного опису виробів	38
2.3 Розроблення структури системи генерації та оптимізації дизайну	41
2.4 Інтеграція результатів генеративного проектування у технологічний процес екструзійного виробництва	45
2.5 Вибір ПЗ реалізації системи.....	50
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	54
3.1 Реалізація генетичного алгоритму генерації та оптимізації форм снекових виробів	54
3.2. Результати генерації та оптимізації нових форм снекових виробів	59
3.3. Розроблення тривимірної моделі обраної форми у SolidWorks ..	64
3.4. Аналіз результатів розробленої системи генерації та оптимізації форм снекових виробів	67
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	69
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час роботи з комп'ютерною технікою	69

4.2 Забезпечення безпеки життєдіяльності під час роботи з комп'ютерною технікою	71
4.3 Заходи пожежної безпеки в приміщенні з комп'ютерною технікою	74
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Стрімкий розвиток технологій III суттєво змінює підходи до проєктування, моделювання та створення нових виробів у різних галузях промисловості. Перспективним напрямом є використання генеративних моделей III, які дозволяють автоматизувати процес створення нових конструктивних рішень, враховувати технологічні обмеження виробництва та скорочувати час розроблення продукції. На відміну від традиційних методів проєктування, де нові вироби створюються на основі досвіду конструктора та послідовного аналізу варіантів, генеративний підхід забезпечує автоматичний пошук великої кількості можливих рішень із подальшим вибором найбільш ефективних.

Особливого значення генеративний дизайн набуває в умовах необхідності постійного оновлення продукції та підвищення її конкурентоспроможності. Сучасні підприємства зацікавлені у створенні нових форм виробів, які поєднують функціональність, технологічність та привабливий зовнішній вигляд. Одним із прикладів такої продукції є екструдовані харчові вироби, геометрія яких визначається конструкцією формоутворюючих елементів екструдера та суттєво впливає на споживчі властивості готового продукту. У сучасних умовах розширення асортименту снекової продукції потребує пошуку нових геометричних форм, які можуть бути реалізовані засобами екструзійного виробництва без суттєвої модернізації технологічного обладнання.

Сучасні генеративні моделі III дозволяють не лише створювати нові зображення та тривимірні об'єкти, а й використовувати накопичені дані для формування нових конструктивних рішень на основі існуючих зразків. Ефективність такого підходу значно підвищується при поєднанні генеративних моделей з еволюційними методами оптимізації, зокрема генетичними алгоритмами. Генетичні алгоритми імітують процес природного відбору та дозволяють здійснювати пошук оптимальних параметрів конструкції шляхом комбінування, мутації та відбору найбільш перспективних варіантів.

Використання генетичних алгоритмів у поєднанні з параметричним представленням форми виробів створює передумови для автоматизованої генерації нових конструкцій, які застосовують як основу для подальшого проєктування та виробництва. Додаткове застосування генеративної моделі DALL·E для фотореалістичної візуалізації отриманих результатів дозволяє оцінювати зовнішній вигляд виробів ще на етапі комп'ютерного моделювання. Водночас практичне впровадження нових конструкцій потребує врахування особливостей процесу екструзії та проєктування формоутворюючих матриць, які забезпечують отримання виробів заданої геометрії.

Таким чином, розроблення систем генерації та оптимізації дизайну виробів на основі генеративних моделей ШІ є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності процесів проєктування, автоматизацію пошуку нових конструктивних рішень та впровадження сучасних інтелектуальних технологій у виробничу діяльність.

Метою роботи є розроблення системи генерації та оптимізації форм екструдованих снєкових виробів на основі генеративних моделей ШІ із використанням генетичного алгоритму, параметричного моделювання та засобів автоматизованого проєктування для створення нових конструктивних рішень і забезпечення можливості їх практичної реалізації в умовах екструзійного виробництва.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого створення нових форм екструдованих снєкових виробів та їх підготовки до виготовлення методом екструзії.

Предметом дослідження є методи генеративного проєктування, генетичні алгоритми оптимізації, параметричні моделі форм виробів, генеративні моделі ШІ та конструкції формоутворюючих матриць для екструзійного виробництва.

Для досягнення поставленої мети використано методи аналізу даних, параметричного моделювання, еволюційних обчислень, генетичних алгоритмів,

комп'ютерної графіки, тривимірного моделювання та засоби програмування мовою Python.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні системи генерації та оптимізації дизайну виробів, яка може бути використана для автоматизації процесів створення нових конструкцій, підтримки прийняття проєктних рішень та розширення асортименту продукції. Запропонований підхід дозволяє виконувати автоматизований пошук нових геометричних форм виробів, їх фотореалістичну візуалізацію та проєктування формоутворюючих елементів для виготовлення в умовах екструзійного виробництва.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. У першому розділі виконано аналіз предметної області, технології виробництва екструдованих виробів, сучасних підходів до генеративного проєктування та застосування генеративних моделей ШІ. У другому розділі розроблено структуру системи, сформовано параметричний опис виробів, розглянуто інтеграцію результатів генеративного проєктування у технологічний процес екструзійного виробництва та розроблено алгоритм функціонування системи. У третьому розділі реалізовано генетичний алгоритм генерації нових конструкцій, виконано оптимізацію та оцінювання отриманих форм, сформовано їх фотореалістичні зображення за допомогою DALL·E та розроблено формоутворюючу матрицю в середовищі SolidWorks для одного з оптимізованих виробів. У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності під час роботи з комп'ютерною технікою.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологія виробництва екструдованих снекових виробів

Перспективним напрямком розвитку сучасної харчової промисловості є виробництво екструдованих харчових продуктів. Такі вироби характеризуються пористою структурою, незначною масою, тривалим терміном зберігання та широким асортиментом форм. До даної групи продукції належать кукурудзяні палички, кільця, подушечки, трубочки, спіральні снеки та інші вироби, які користуються значним попитом серед споживачів [1-3].

Основою виробництва екструдованих виробів є процес екструзії, який полягає у безперервному продавлюванні підготовленої сировинної суміші через формоутворюючий отвір під дією підвищеного тиску та температури. У результаті такого впливу відбуваються складні фізико-хімічні процеси, зокрема змішування компонентів, пластифікація матеріалу, часткова денатурація білків та клейстеризація крохмалю. Після виходу з формоутворюючої матриці різке зниження тиску спричиняє випаровування вологи та розширення продукту, внаслідок чого формується характерна пориста структура виробу [4].

Для виробництва екструдованих снеків найчастіше використовують кукурудзяну крупу, кукурудзяне борошно, рисове борошно, пшеничні суміші, крохмаль та різноманітні харчові добавки. Склад сировини безпосередньо впливає на властивості готового продукту, механічну міцність, текстуру та зовнішній вигляд. Особливе значення має вміст вологи, який визначає умови проходження матеріалу через екструдер та ефективність формування виробу.

Технологічний процес виробництва екструдованих снекових виробів включає декілька основних етапів: підготовку сировини, дозування компонентів, змішування, екструзійну обробку, формування виробу, сушіння, нанесення смакових добавок та пакування готової продукції [5-7].

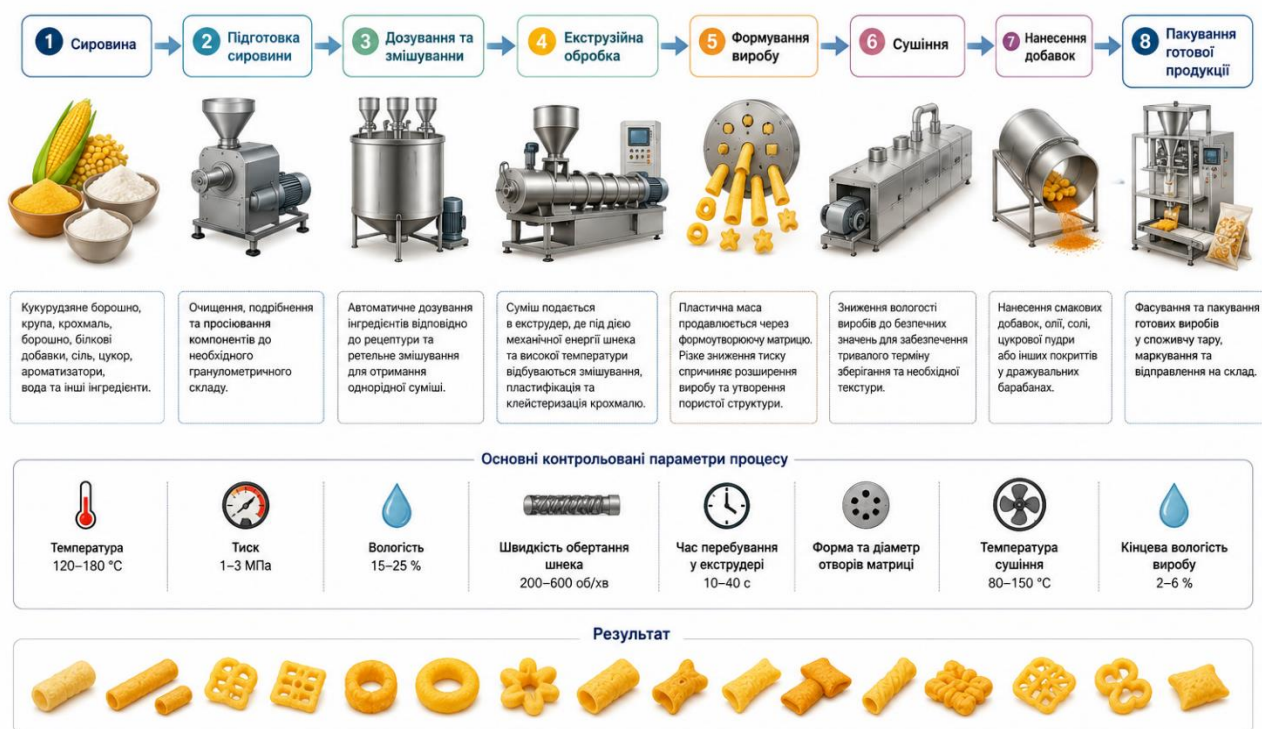


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва екструдованих снекових виробів

На етапі підготовки сировини здійснюється очищення та подрібнення компонентів до необхідного гранулометричного складу. Після цього виконується дозування інгредієнтів відповідно до рецептури та їх змішування для отримання однорідної маси. Важливим етапом є кондиціонування суміші, під час якого забезпечується рівномірний розподіл вологи між компонентами та створюються оптимальні умови для подальшої екструзійної обробки.

Підготовлена суміш надходить до екструдера, де під впливом механічної енергії шнека, підвищеного тиску та температури набуває пластичного стану. У процесі проходження через робочу камеру екструдера відбуваються інтенсивне перемішування, ущільнення та термомеханічна обробка матеріалу. Після виходу з формуютьорочої матриці різке зниження тиску спричиняє випаровування частини вологи та розширення продукту, внаслідок чого формується характерна пориста структура снекового виробу. На завершальному етапі безперервний потік продукту нарізається обертовим ножом на вироби необхідної довжини.

Однією з ключових особливостей екструзійної технології є можливість формування виробів різноманітної геометрії [8]. Форма готового продукту визначається конструкцією формоутворюючої матриці, встановленої на виході екструдера. Залежно від конфігурації її отворів можуть бути отримані вироби у вигляді трубок, кілець, багатокутників, спіралей та інших складних профілів. Саме геометрія матриці значною мірою визначає зовнішній вигляд продукції, її механічні властивості та споживчу привабливість. Після формування виробу на виході з матриці виконується його подальша обробка. Залежно від виду продукції екструдати можуть надходити на сушіння, де знижується їх вологість до значень, необхідних для тривалого зберігання та забезпечення стабільної структури. Для цього використовуються стрічкові сушарки з контрольованими параметрами температури та швидкості руху повітря.

Після сушіння та охолодження продукція може надходити до флейворизатора, де на поверхню виробів наносяться смакові добавки, ароматизатори, рослинна олія або цукрова пудра. Завершальними операціями технологічного процесу є фасування, пакування та підготовка продукції до зберігання і транспортування.

Сучасний ринок снекової продукції характеризується високим рівнем конкуренції між виробниками. Тому підприємства постійно шукають нові підходи до розроблення продукції, здатної привернути увагу споживачів. Одним із важливих факторів конкурентоспроможності є оригінальна форма виробу. Незвичайна геометрія продукції дозволяє виділити товар серед аналогів, підвищити його впізнаваність та сформувати додаткову споживчу цінність.

Окрім технологічних переваг, екструдовані вироби характеризуються високою безпечністю та тривалим терміном зберігання. Завдяки низькій вологості та впливу високих температур під час екструзії значно знижується ризик розвитку патогенних мікроорганізмів, що дозволяє отримувати продукцію, готову до споживання без додаткової термічної обробки. Ці

особливості зумовлюють широке використання екструдованих продуктів у харчовій промисловості, зокрема у виробництві снекової продукції.

Для формування навчального набору даних було зібрано та проаналізовано базові форми екструдованих снекових виробів, які представлені на рисунку 1.2. До набору увійшли вироби різної геометрії, що широко використовуються у сучасному виробництві снекової продукції. Дані форми були використані як вихідна популяція для генетичного алгоритму, який виконував генерацію та оптимізацію нових конструктивних рішень з урахуванням технологічних обмежень екструзійного виробництва.

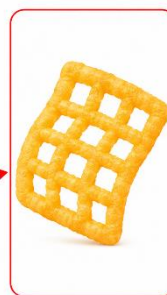




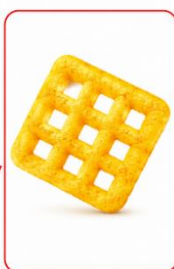
Форма снеку



Форма снека



Форма снека



Форма снека



Форма снека



Форма снека





Рисунок 1.2 – Базові форми екструдованих снекових виробів, використані для формування навчального набору даних

Представлений набір охоплює як прості геометричні форми (кільця, трубки, багатокутники), так і більш складні конструкції зі спіральними та

комбінованими елементами. Така різноманітність дозволяє сформувати репрезентативну вибірку для подальшого застосування методів генеративного дизайну та еволюційної оптимізації. На основі даних форм у роботі реалізовано генетичний алгоритм, який виконує пошук нових варіантів геометрії снекових виробів шляхом комбінування та модифікації параметрів вихідних зразків.

Традиційний процес створення нових форм снекової продукції передбачає проєктування нових матриць та проведення численних експериментальних випробувань. Такий підхід потребує значних часових та фінансових витрат, оскільки кожна нова конструкція повинна бути перевірена на відповідність технологічним вимогам та можливість її виготовлення в умовах реального виробництва.

Тому актуальним напрямом досліджень є застосування сучасних інформаційних технологій для автоматизації процесу розроблення нових форм виробів. Застосування методів комп'ютерного моделювання дозволяє здійснювати попередню оцінку геометрії виробу ще до виготовлення формоутворюючих елементів. Особливий інтерес становлять генеративні методи ІІІ, які дають можливість автоматично створювати нові конструктивні рішення на основі аналізу існуючих зразків продукції.

Важливим напрямом є поєднання генеративних моделей ІІІ з еволюційними алгоритмами оптимізації. У такому випадку на основі наявного набору виробів можуть автоматично формуватися нові варіанти конструкцій, які зберігають технологічну придатність до екструзійного виробництва та водночас мають нові геометричні характеристики. Це дозволяє значно скоротити час пошуку перспективних дизайнерських рішень та підвищити ефективність процесу проєктування.

Таким чином, технологія виробництва екструдованих снекових виробів забезпечує можливості для створення продукції різноманітної форми та структури. Водночас потреба у постійному оновленні асортименту зумовлює необхідність використання сучасних інтелектуальних методів генерації та

оптимізації конструктивних рішень, що робить доцільним застосування генеративних моделей III та еволюційних алгоритмів у процесі проєктування нових виробів.

1.2 Конструктивні особливості екструдерів та формоутворюючих матриць

Екструзія є одним із найбільш поширених способів виробництва снекової продукції, що забезпечує високу продуктивність, стабільність технологічного процесу та можливість отримання виробів різноманітної геометричної форми. Основним обладнанням для реалізації процесу є екструдер, у якому підготовлена сировинна суміш піддається механічній та термічній обробці з подальшим продавлюванням через спеціальну формоутворюючу матрицю [8].

Конструкція екструдера включає завантажувальний бункер, корпус, шнековий механізм, систему нагрівання та охолодження, привід, а також формоутворюючу головку з матрицею. Під час руху матеріалу вздовж шнека відбувається його ущільнення, перемішування, нагрівання та часткова структурна модифікація. У результаті на виході формується пластична маса, готова до надання необхідної геометричної форми.

Залежно від конструкції шнекового вузла розрізняють одношнекові та двошнекові екструдери. Одношнекові системи характеризуються простотою конструкції та широким використанням у виробництві харчової продукції (рис.1.3). Двошнекові екструдери забезпечують більш інтенсивне перемішування компонентів, рівномірний розподіл температури та стабільніші умови формування складних виробів. У сучасному виробництві снєків використовуються обидва типи обладнання залежно від рецептури продукції та вимог до її форми.

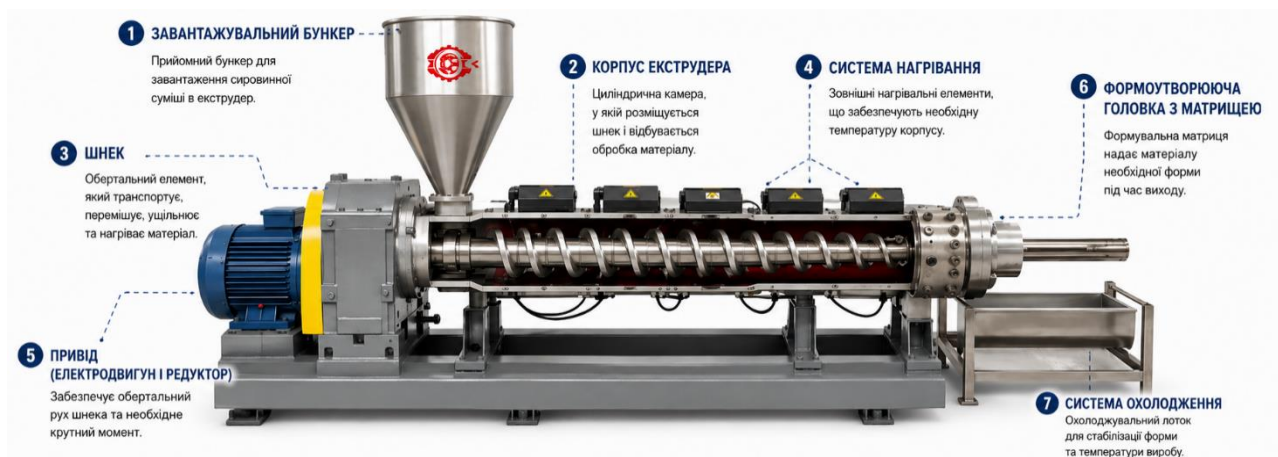


Рисунок 1.3 – Загальна конструкція екструдера

Як видно з рисунка 1.3, екструдер складається з кількох основних функціональних вузлів, кожен з яких виконує визначені технологічні функції. Завантажувальний бункер призначений для подачі підготовленої сировинної суміші до робочої зони екструдера. Усередині корпусу екструдера, який являє собою циліндричну камеру, розміщується шнековий механізм, де відбуваються процеси транспортування, перемішування, ущільнення та термомеханічної обробки матеріалу. Обертання шнека забезпечується приводом, що складається з електродвигуна та редуктора.

Для підтримання необхідних параметрів технологічного процесу використовується система нагрівання, яка забезпечує заданий температурний режим екструзії та сприяє пластифікації сировини. На виході з екструдера розташована формоутворююча головка з матрицею, яка визначає геометричну форму майбутнього виробу. Після виходу продукту з матриці застосовується система охолодження, що забезпечує стабілізацію структури, форми та температури готової продукції.

Найбільший вплив на зовнішню геометрію виробу має формоутворююча матриця. Саме конфігурація її вихідних отворів визначає поперечний переріз майбутнього виробу та дозволяє отримувати кільця, трубки, трикутники, багатокутники, спіралі та інші профілі. Зміна конструкції матриці є ефективним способом створення нових видів шнекової продукції без суттєвої модернізації

виробничої лінії. Тому розроблення нових геометричних форм виробів фактично зводиться до проєктування відповідних формоутворюючих елементів, що робить задачу генерації та оптимізації конструкцій матриць актуальним напрямом сучасного харчового машинобудування.

З огляду на це, створення нових геометричних форм снекових виробів може розглядатися як задача оптимізації конструктивних параметрів формоутворюючих елементів із застосуванням сучасних методів комп'ютерного моделювання, генеративного дизайну та ШІ.

Для виробництва снекової продукції застосовуються матриці різної конфігурації, які дозволяють формувати вироби кільцеподібної, трубчастої, спіральної, зіркоподібної, хвилястої та інших форм (рис. 1.4). Геометричні параметри матриці безпосередньо впливають на зовнішній вигляд виробу, його механічну міцність, площу поверхні, інтенсивність розширення під час виходу з екструдера та споживчі властивості готової продукції.





Рисунок 1.4 – Формоутворюючі матриці для виготовлення екструдованих
снекових виробів

На рисунку 1.4 наведено приклади формоутворюючих матриць, що використовуються в екструзійному виробництві снекових виробів. Конфігурація вихідних отворів визначає форму поперечного перерізу готового продукту та забезпечує отримання широкого спектра геометричних профілів без зміни конструкції самого екструдера.

Проектування нових матриць традиційно виконується на основі інженерного досвіду та серії експериментальних випробувань. Проте сучасні методи параметричного проектування, комп'ютерного моделювання та генеративного дизайну дозволяють автоматизувати процес пошуку нових

геометричних рішень і створювати конструкції з урахуванням технологічних вимог виробництва.

Під час розроблення нових форм снекових виробів необхідно враховувати технологічні обмеження процесу екструзії. Надмірно тонкі елементи можуть втрачати механічну міцність під час транспортування, сушіння або пакування, тоді як занадто складні профілі можуть бути складними для виготовлення засобами традиційного екструзійного обладнання. Зокрема, під час створення нових геометричних рішень важливо забезпечити баланс між оригінальністю форми, її функціональними характеристиками та можливістю практичної реалізації у виробничих умовах.

У даній роботі зазначені технологічні обмеження враховуються під час генерації нових форм снекових виробів. Генетичний алгоритм виконує пошук перспективних конструктивних рішень на основі існуючих зразків продукції, а оцінювання сформованих варіантів здійснюється з урахуванням можливості їх подальшого виготовлення методом екструзії. Такий підхід дозволяє поєднати автоматизований пошук нових дизайнерських рішень із вимогами реального виробництва.

1.3 Методи комп'ютерного проєктування виробів

Сучасний розвиток інформаційних технологій суттєво змінив підходи до створення нових виробів у різних галузях промисловості. Традиційні методи проєктування, що базувалися на ручному кресленні та виготовленні фізичних прототипів, поступово замінюються цифровими технологіями, котрі забезпечують високу точність моделювання, скорочення часу розроблення та зменшення витрат на виготовлення дослідних зразків. Особливо актуальним використання комп'ютерного проєктування є для виробів складної геометричної форми, до яких належать екструдовані снекові продукти.

Основою сучасного цифрового проектування є системи автоматизованого проектування (CAD), які дозволяють створювати двовимірні креслення, тривимірні моделі виробів та конструкторську документацію (рис.1.5). Використання CAD-систем забезпечує можливість швидкої зміни геометричних параметрів конструкції, проведення аналізу її характеристик та підготовки цифрових моделей до подальшого виробництва [9]. Найбільш поширеними програмними засобами такого типу є SolidWorks, Autodesk Inventor, Fusion 360, CATIA та Siemens NX [10-14].

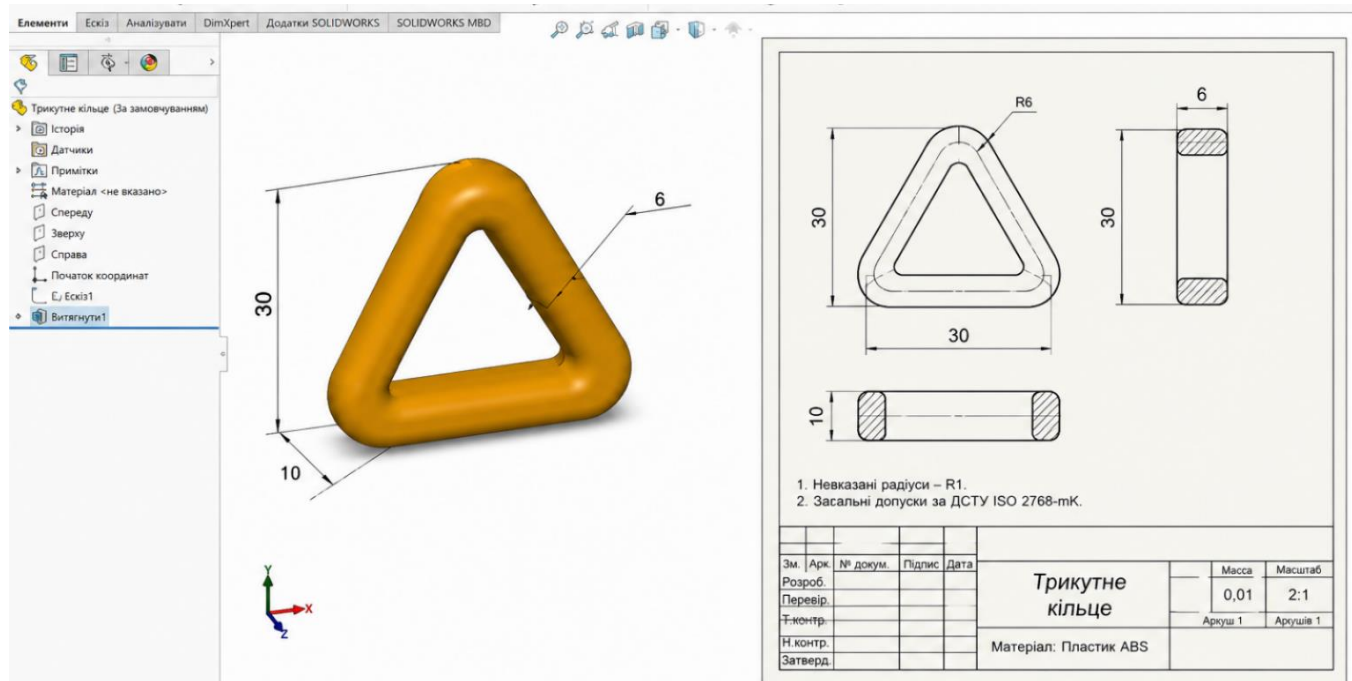


Рисунок 1.5 – Приклад проектування виробу та автоматичного формування креслення в середовищі SolidWorks

На рисунку 1.5 наведено приклад використання системи автоматизованого проектування SolidWorks для створення параметричної тривимірної моделі виробу та автоматичного формування конструкторської документації. Геометрія виробу задається набором параметрів і розмірних залежностей, зміна яких автоматично призводить до перебудови моделі та відповідного оновлення креслення. Такий підхід забезпечує швидке створення нових варіантів

конструкцій, спрощує процес проєктування формоутворюючих елементів та створює основу для подальшої інтеграції методів генеративного дизайну і 3D.

У харчовій промисловості комп'ютерне проєктування використовується для розроблення технологічного обладнання, формоутворюючих елементів екструдерів, пакувального оснащення та безпосередньо геометрії готової продукції. Тривимірні моделі дозволяють оцінити зовнішній вигляд виробу ще до виготовлення дослідного зразка, виконати аналіз його конструктивних особливостей та технологічності виготовлення. Для снєкової продукції це має особливе значення, оскільки форма виробу безпосередньо впливає на його споживчу привабливість та конкурентоспроможність.

Серед сучасних CAD-систем однією з найбільш поширених є SolidWorks, яка забезпечує можливість параметричного тривимірного моделювання деталей, складальних одиниць та технологічної оснастки. Програмне середовище дозволяє створювати геометричні моделі виробів на основі набору керованих параметрів, автоматично формувати креслення відповідно до вимог конструкторської документації та виконувати інженерні розрахунки. Завдяки підтримці параметричного проєктування SolidWorks широко використовується під час розроблення формоутворюючих матриць, прес-форм та інших елементів виробничого обладнання.

Важливим напрямом розвитку CAD-технологій стало параметричне моделювання. Даний підхід передбачає створення геометрії виробу на основі набору параметрів, значення яких можуть змінюватися без необхідності повного перепроєктування моделі. До таких параметрів можуть належати лінійні розміри, товщина профілю, радіуси заокруглень, кількість повторюваних елементів, коефіцієнти масштабування та інші характеристики. Зміна значень параметрів автоматично призводить до перебудови всієї конструкції, що значно спрощує створення нових варіантів виробів.

Для екструзійного виробництва особливий інтерес становить можливість переходу від цифрової моделі виробу до проєктування формоутворюючої

матриці. Геометрія вихідного профілю виробу використовується як основа для формування каналу матриці, через який проходить екструдована маса. Таким чином забезпечується прямий зв'язок між цифровою моделлю виробу та технологічною оснасткою, необхідною для його виготовлення.

Подальшим розвитком цифрового проєктування став генеративний дизайн (Generative Design). Зокрема, на відміну від класичного CAD-моделювання, де конструктор самостійно створює геометрію виробу, генеративний підхід передбачає автоматичне формування конструктивних рішень на основі заданих критеріїв та технологічних обмежень. У процесі генерації алгоритми аналізують велику кількість можливих варіантів та відбирають найбільш перспективні рішення відповідно до визначених критеріїв оцінювання.

Відомо, що генеративне проєктування дозволяє автоматизувати пошук нових геометричних форм, дослідити значно більшу кількість можливих конфігурацій та скоротити час розроблення нової продукції. Це особливо важливо для екструдованих снєкових виробів складної форми, де необхідно одночасно забезпечити технологічність виготовлення, механічну міцність виробу та його привабливий зовнішній вигляд.

У даній роботі комп'ютерне проєктування використовується для створення параметричних моделей снєкових виробів, автоматизованої генерації нових геометричних форм та подальшого проєктування формоутворюючої матриці в середовищі SolidWorks. Такий підхід дозволяє забезпечити інтеграцію методів III з сучасними CAD-технологіями та сформувати завершений цикл автоматизованого проєктування виробу і технологічної оснастки для його виготовлення.

Таким чином, сучасні методи комп'ютерного проєктування забезпечують можливість створення, аналізу та оптимізації геометрії виробів ще на етапі розроблення. Поєднання параметричного моделювання, CAD-технологій та генеративного проєктування створює основу для автоматизованого пошуку

нових конструктивних рішень і подальшого впровадження їх у технологічний процес виробництва екструдованих снекових виробів.

1.4 Генеративні моделі та еволюційні алгоритми оптимізації конструкції

Стрімкий розвиток технологій ШІ сприяв появі нових підходів до автоматизованого проєктування виробів. Зокрема, перспективним напрямком є використання генеративних моделей, здатних створювати нові варіанти конструкцій на основі аналізу існуючих зразків та заданих параметрів. На відміну від традиційних методів комп'ютерного моделювання, де інженер самостійно формує геометрію виробу, генеративні алгоритми дозволяють автоматично генерувати велику кількість альтернативних рішень та виконувати їх подальшу оптимізацію [15-16].

Генеративні моделі ШІ являють собою клас алгоритмів машинного навчання, призначених для створення нових об'єктів, що мають характеристики, подібні до навчальних даних. У задачах проєктування виробів такі моделі можуть використовуватися для автоматичного синтезу нових геометричних форм, текстур, конструктивних елементів та тривимірних моделей. Основною перевагою генеративного підходу є можливість дослідження великої кількості варіантів конструкцій, які важко або неможливо отримати традиційними методами проєктування [17-19].

Серед найбільш поширених генеративних моделей можна виділити варіаційні автокодери (VAE), генеративно-змагальні мережі (GAN) та дифузійні моделі (Diffusion Models). Варіаційні автокодери виконують стискання інформації про об'єкти до прихованого простору ознак та дозволяють генерувати нові зразки шляхом модифікації параметрів цього простору. Генеративно-змагальні мережі використовують взаємодію двох нейронних мереж, а саме, генератора та дискримінатора, що забезпечує створення реалістичних зображень та тривимірних моделей. Дифузійні моделі базуються на поступовому

відновленні структури об'єкта із випадкового шуму та демонструють високі результати при генерації складних геометричних форм [20-21].

У задачах інженерного проєктування генеративні моделі часто поєднуються з методами оптимізації, які дозволяють не лише створювати нові варіанти конструкцій, а й знаходити найкращі рішення відповідно до заданих критеріїв. Тому, ефективним інструментом оптимізації є еволюційні алгоритми, принцип роботи яких базується на механізмах природного добору.

Генетичні алгоритми є різновидом еволюційних методів пошуку, які використовуються для розв'язання складних задач оптимізації шляхом імітації процесів природного добору. Вони використовують популяцію можливих рішень, яка поступово покращується протягом декількох поколінь. Кожне рішення оцінюється за допомогою функції пристосованості (fitness function), що визначає його якість відповідно до поставленої задачі. Найбільш перспективні особини беруть участь у формуванні нового покоління шляхом операцій схрещування та мутації [22-23].

Найбільш відомим представником еволюційних методів є генетичний алгоритм. Його робота складається з таких основних етапів: формування початкової популяції, оцінювання рішень, відбір найкращих особин, виконання операцій схрещування та мутації, а також формування нового покоління. Повторення даного циклу дозволяє поступово наближатися до оптимального рішення. Процес оптимізації передбачає послідовне формування поколінь альтернативних рішень, для яких застосовуються операції селекції, схрещування та мутації. У результаті кожної ітерації відбувається покращення характеристик популяції, а пошук продовжується до досягнення встановленого критерію якості (рис. 1.6).

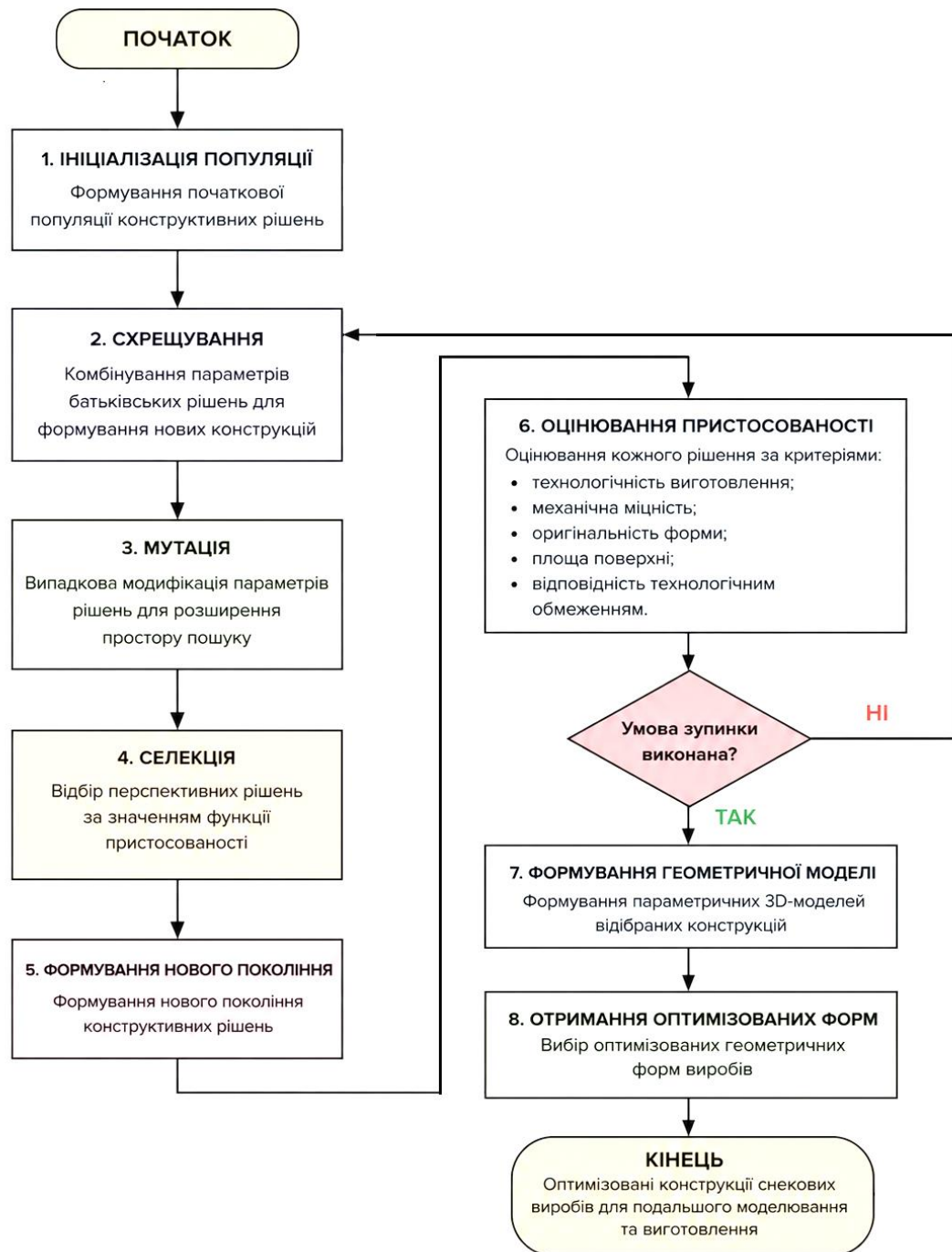


Рисунок 1.6 – Основні етапи роботи генетичного алгоритму генерації та оптимізації форм снекових виробів

Як показано на рисунку 1.6, генетичний алгоритм починає роботу з формування початкової популяції можливих конструктивних рішень. Далі виконуються операції схрещування та мутації, які забезпечують створення нових варіантів геометричних форм. Після селекції найбільш перспективних рішень

формується нове покоління конструкцій. Кожна особина оцінюється за функцією пристосованості, яка враховує технологічність виготовлення, механічну міцність, оригінальність форми та відповідність виробничим обмеженням. Процес повторюється до виконання критерію зупинки, після чого визначаються оптимізовані геометричні моделі снекових виробів.

У задачі генерації нових форм снекових виробів кожна особина популяції може бути представлена набором параметрів геометричної моделі. До таких параметрів належать форма поперечного перерізу, товщина профілю, кількість повторюваних елементів, ступінь хвилястості поверхні, коефіцієнт скручування та інші характеристики виробу. Зміна значень параметрів під час виконання операцій мутації та схрещування дозволяє формувати нові конструктивні рішення, які можуть бути відсутні серед початкових зразків.

Особливістю застосування генетичних алгоритмів у задачах проєктування екструдованих снекових виробів є можливість одночасного врахування вимог до зовнішнього вигляду продукції та технологічних обмежень процесу екструзії. У результаті роботи алгоритму формується оптимізована геометрія виробу, яка може бути використана для подальшого проєктування формоутворюючої матриці та оцінювання можливості її впровадження у виробничий процес.

У даній роботі генеративний підхід реалізується шляхом поєднання параметричного моделювання, генетичного алгоритму та засобів комп'ютерного проєктування. Початковими даними для генерації виступають базові форми екструдованих снекових виробів, отримані на основі аналізу існуючої продукції. У процесі роботи алгоритму здійснюється зміна геометричних параметрів виробів, формування нових варіантів конструкцій та їх багатокритеріальне оцінювання з урахуванням технологічних обмежень екструзійного виробництва. Результатом роботи є оптимізовані форми снекових виробів, які використовують для подальшого проєктування формоутворюючих матриць, розрахунку основних технологічних параметрів та оцінювання можливості впровадження нових конструктивних рішень у виробничий процес.

1.5 Сучасні генеративні моделі ШІ для візуалізації виробів

Генеративні моделі штучного інтелекту належать до сучасних технологій машинного навчання, які забезпечують автоматизоване створення нових цифрових об'єктів на основі закономірностей, виявлених у навчальних даних. На відміну від традиційних алгоритмів машинного навчання, які виконують класифікацію або прогнозування, генеративні моделі здатні самостійно формувати нові зображення, тексти, тривимірні моделі та інші типи даних [16].

Останніми роками генеративний ШІ активно використовується у сфері дизайну виробів, промислового проєктування, архітектури, реклами та маркетингу. Особливий інтерес становлять моделі генерації зображень, які дозволяють створювати фотореалістичні візуалізації майбутніх виробів ще до етапу їх фізичного виготовлення. Це дає змогу значно скоротити витрати на розроблення нової продукції та прискорити процес прийняття конструкторських рішень.

Серед найбільш відомих генеративних моделей для синтезу зображень можна виділити DALL·E, Stable Diffusion, Midjourney, Adobe Firefly та Google Imagen [16]. Дані системи використовують глибокі нейронні мережі та дифузійні моделі, котрі навчаються на великих наборах зображень і текстових описів. Після завершення навчання модель здатна створювати нові зображення відповідно до текстового запиту користувача.

Однією з найбільш відомих генеративних моделей є DALL·E, розроблена компанією OpenAI. Система дозволяє генерувати високоякісні зображення на основі текстових описів, поєднуючи реалістичність, деталізацію та здатність створювати нові композиції об'єктів. Сучасні версії моделі забезпечують високу якість візуалізації складних геометричних форм, що робить її придатною для задач концептуального проєктування виробів.

Іншим популярним рішенням є Stable Diffusion — відкрита генеративна модель, яка дозволяє створювати зображення локально на персональному

комп'ютері. Перевагою даного підходу є можливість модифікації моделі, використання додаткових модулів навчання та інтеграції з програмними системами автоматизованого проєктування. Водночас якість отриманих результатів залежить від правильності налаштування параметрів генерації.

Широке застосування також отримала система Midjourney, яка спеціалізується на створенні художніх та концептуальних зображень. Модель забезпечує високий рівень деталізації та естетичної привабливості результатів, однак менш орієнтована на точне відтворення заданих конструктивних параметрів виробу.

Для вибору інструменту візуалізації результатів генеративного проєктування доцільно порівняти основні можливості сучасних генеративних моделей ШІ (рис. 1.6).

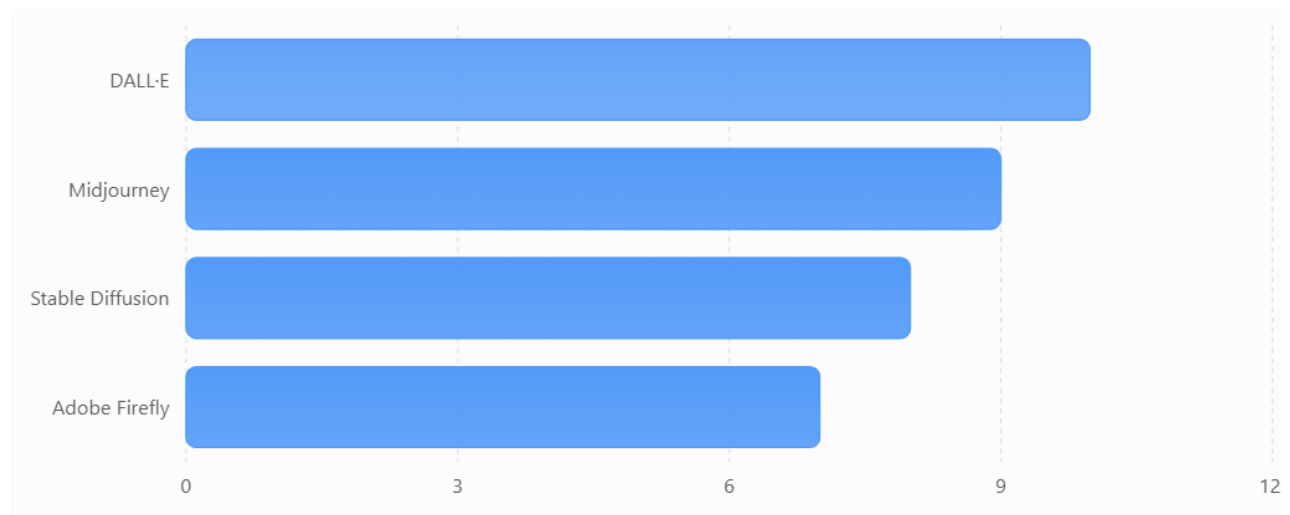


Рисунок 1.6 – Порівняння генеративних моделей

Для задачі розроблення нових форм екструдованих снекових виробів особливий інтерес становить можливість швидкого отримання фотореалістичних зображень конструкцій, сформованих генетичним алгоритмом. Після завершення процесу оптимізації параметри отриманої форми використовуються для створення реалістичних візуалізацій виробу, що дозволяє оцінити його зовнішній вигляд, сприйняття потенційними споживачами та відповідність дизайнерським вимогам ще до виготовлення дослідного зразка.

У даній роботі генеративна модель DALL·E використовується як інструмент фотореалістичної візуалізації результатів параметричного моделювання та генетичної оптимізації. Отримані зображення нових форм снекових виробів застосовуються для аналізу перспективності конструктивних рішень, після чого виконуються проєктування формоутворюючої матриці та оцінювання можливості впровадження розроблених виробів у технологічний процес екструзійного виробництва.

Таким чином, генеративні моделі ШІ доповнюють сучасні системи автоматизованого проєктування, забезпечуючи ефективну візуалізацію результатів генеративного дизайну. Поєднання параметричного моделювання, генетичних алгоритмів, CAD-технологій та засобів ШІ створює основу для автоматизованого розроблення нових форм снекових виробів і подальшого проєктування формоутворюючих елементів екструзійного обладнання.

1.6 Аналіз предметної області та постановка задачі

Сучасний ринок снекової продукції характеризується високою конкуренцією між виробниками, що зумовлює необхідність постійного оновлення асортименту та впровадження нових конструктивних рішень. Одним із важливих факторів конкурентоспроможності продукції є форма виробу, яка впливає на його зовнішній вигляд, споживче сприйняття, впізнаваність бренду та технологічні характеристики виробництва. Оригінальна геометрія снекових виробів дозволяє підвищити привабливість продукції для споживачів і створити додаткові переваги на ринку.

Традиційний процес розроблення нових форм екструдованих виробів базується на досвіді конструктора та потребує значних витрат часу на створення ескізів, проєктування формоутворюючих елементів, виготовлення дослідних матриць і проведення експериментальних випробувань. При цьому кількість можливих варіантів конструкцій, які можуть бути розглянуті під час

проектування, є обмеженою, а пошук оптимального рішення часто здійснюється методом багаторазових спроб та помилок.

Використання сучасних методів ІІІ, генеративного проектування та систем автоматизованого проектування відкриває можливість автоматизувати процес створення нових геометричних форм виробів. Генетичні алгоритми забезпечують генерацію та оптимізацію конструктивних рішень у просторі параметрів, а CAD-системи дозволяють швидко виконувати параметричне моделювання виробів і формоутворюючих елементів для їх подальшого виготовлення.

Аналіз існуючих досліджень показав, що більшість робіт у сфері генеративного дизайну присвячена задачам машинобудування, архітектури та промислового проектування. Водночас питання автоматизованого створення нових форм екструдованих снєкових виробів із подальшим проектуванням формоутворюючих матриць та оцінюванням технологічних характеристик виробництва досліджено недостатньо. Це обумовлює актуальність розроблення спеціалізованих методів генерації та оптимізації конструкцій, які враховують особливості екструзійного виробництва.

У даній роботі для створення нових конструктивних рішень використовується набір базових форм екструдованих снєкових виробів, сформований на основі аналізу продукції, представленої на сучасному ринку. На базі цих форм виконується побудова параметричних моделей, після чого за допомогою генетичного алгоритму здійснюється генерація та оптимізація нових геометричних конфігурацій виробів. Отримані результати використовуються для проектування формоутворюючої матриці та визначення її основних конструктивних параметрів.

Особливістю проектування снєкової продукції є необхідність одночасного врахування вимог до зовнішнього вигляду виробу та технологічних обмежень процесу екструзії. Кінцева форма повинна забезпечувати можливість виготовлення за допомогою формоутворюючої матриці, достатню механічну

міцність виробу, стабільність процесу екструзії та відповідність вимогам до якості готової продукції. Крім того, під час впровадження нових конструкцій необхідно враховувати основні технологічні показники виробництва, зокрема продуктивність екструдера, геометричні параметри формоутворюючого каналу, тиск у зоні матриці та характеристики сировини.

Загалом, проведений аналіз предметної області підтвердив доцільність використання методів генеративного проєктування, еволюційної оптимізації та систем автоматизованого проєктування для створення нових форм екструдованих снекових виробів. Встановлено, що традиційні підходи мають обмежені можливості щодо пошуку перспективних конструктивних рішень, тоді як застосування методів ШІ дозволяє автоматизувати цей процес, розширити простір можливих варіантів та забезпечити інтеграцію результатів проєктування з реальним технологічним процесом виробництва.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету та завдання роботи, виконання яких спрямоване на розроблення системи автоматизованого генерування нових форм снекових виробів із використанням генетичного алгоритму та параметричного моделювання. У межах роботи передбачається генерація нових геометричних форм виробів, проєктування формоутворюючої матриці для виготовлення оптимізованого виробу, визначення її основних геометричних і технологічних параметрів, а також оцінювання можливості практичного впровадження отриманих результатів у технологічний процес виробництва екструдованої снекової продукції.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз та формування набору базових форм снекових виробів

Ефективність роботи системи генерації нових конструктивних рішень значною мірою залежить від якості та різноманітності вихідного набору даних. Оскільки генетичний алгоритм формує нові варіанти виробів на основі існуючих геометричних конфігурацій, початковий набір форм повинен максимально повно відображати різноманіття конструктивних рішень, які використовуються у виробництві екструдованої снекової продукції.

Для формування набору даних було виконано аналіз продукції провідних виробників снекових виробів, представленої на сучасному ринку харчової промисловості. Джерелом інформації стали відкриті каталоги виробників, рекламні матеріали, фотографії продукції та зображення снеків різної геометричної форми.

На початковому етапі було зібрано 37 зображень виробів, які містили різні варіанти геометричних профілів. Після попереднього аналізу та усунення дублікатів для подальшої роботи було відібрано 17 базових форм, що найбільш повно характеризують існуючі конструктивні рішення екструдованих снеків.

До набору базових форм увійшли вироби із суцільним профілем, кільцеві конструкції, трикутні форми, трубчасті елементи, конічні вироби, решітчасті структури, хвилясті профілі та інші геометричні конфігурації, які можуть бути реалізовані засобами екструзійного виробництва. Представлені форми відрізняються геометричною складністю, кількістю внутрішніх порожнин, типом контуру та просторовою структурою, що забезпечує достатню різноманітність початкової популяції для роботи генетичного алгоритму.

Для демонстрації характерних представників сформованого набору даних на рисунку 2.1 наведено приклади базових форм снекових виробів, які використовуються під час подальшого моделювання.

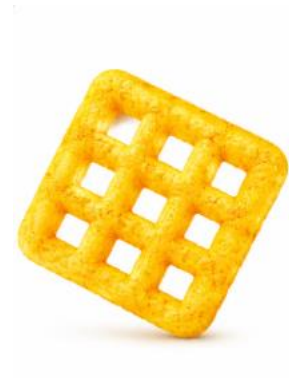


Рисунок 2.1 – Приклади базових форм снекових виробів, використаних для формування набору даних

Перед використанням у системі всі зображення були приведені до єдиного формату та масштабу. Для усунення впливу різних умов зйомки було виконано нормалізацію розмірів зображень та видалення зайвих елементів фону. Це дозволило забезпечити коректне виділення геометричних характеристик виробів та їх подальшу параметризацію.

Аналіз сформованого набору даних показав, що більшість існуючих снекових виробів описують за допомогою обмеженої кількості базових геометричних ознак, до яких належать форма контуру, наявність внутрішніх порожнин, товщина профілю, кількість повторюваних елементів та характер кривизни поверхні. Саме ці характеристики були використані під час формування параметричного опису виробів та подальшої реалізації генетичного алгоритму генерації нових конструктивних рішень.

Отже, сформований набір базових форм забезпечує достатню різноманітність геометричних конфігурацій для проведення експериментів із генерації нових конструкцій снекових виробів та створює основу для подальшого параметричного моделювання й оптимізації дизайну продукції.

2.2 Формування параметричного опису виробів

Після формування набору базових форм наступним етапом розроблення системи є створення параметричного опису виробів. Параметричне представлення дозволяє описати геометрію снекового виробу у вигляді набору числових параметрів, які можуть автоматично змінюватися під час роботи алгоритму оптимізації. Такий підхід є основою для використання генетичних алгоритмів, оскільки операції схрещування та мутації виконуються безпосередньо над параметрами конструкції.

На відміну від традиційного представлення геометрії у вигляді графічного зображення, параметрична модель описує виріб набором керованих характеристик, що визначають його форму та розміри. Це забезпечує можливість автоматичного створення великої кількості варіантів конструкцій без необхідності ручного проєктування кожного виробу окремо.

Процес формування параметричного опису починається з аналізу базової форми снекового виробу. Для кожного зображення виконується виділення зовнішнього та внутрішнього контурів, після чого визначаються основні

геометричні характеристики виробу. Отримані параметри використовуються для побудови математичної моделі форми, яка надалі виступає основою для роботи генетичного алгоритму.

У даній роботі параметричний опис виробів реалізовано за допомогою таких основних параметрів:

- масштаб форми (Scale), що визначає загальні габаритні розміри виробу;
- товщина профілю (Thickness), яка характеризує ширину формуютьуючого каналу та безпосередньо впливає на механічну міцність виробу;
- хвилястість поверхні (Waviness), яка задає ступінь відхилення контуру від базової геометрії;
- коефіцієнт скручування (Twist), що визначає просторову трансформацію профілю;
- кількість повторюваних елементів (Elements), яка характеризує складність геометричної структури виробу.

Зазначені параметри можуть змінюватися в межах допустимих діапазонів, визначених технологічними особливостями процесу екструзії. Встановлення таких обмежень дозволяє уникнути формування конструкцій, які неможливо виготовити за допомогою існуючого обладнання або які можуть втрачати міцність під час транспортування та пакування.

На рисунку 2.2 наведено загальну схему формування параметричного опису снєкового виробу та його подальшої оптимізації.

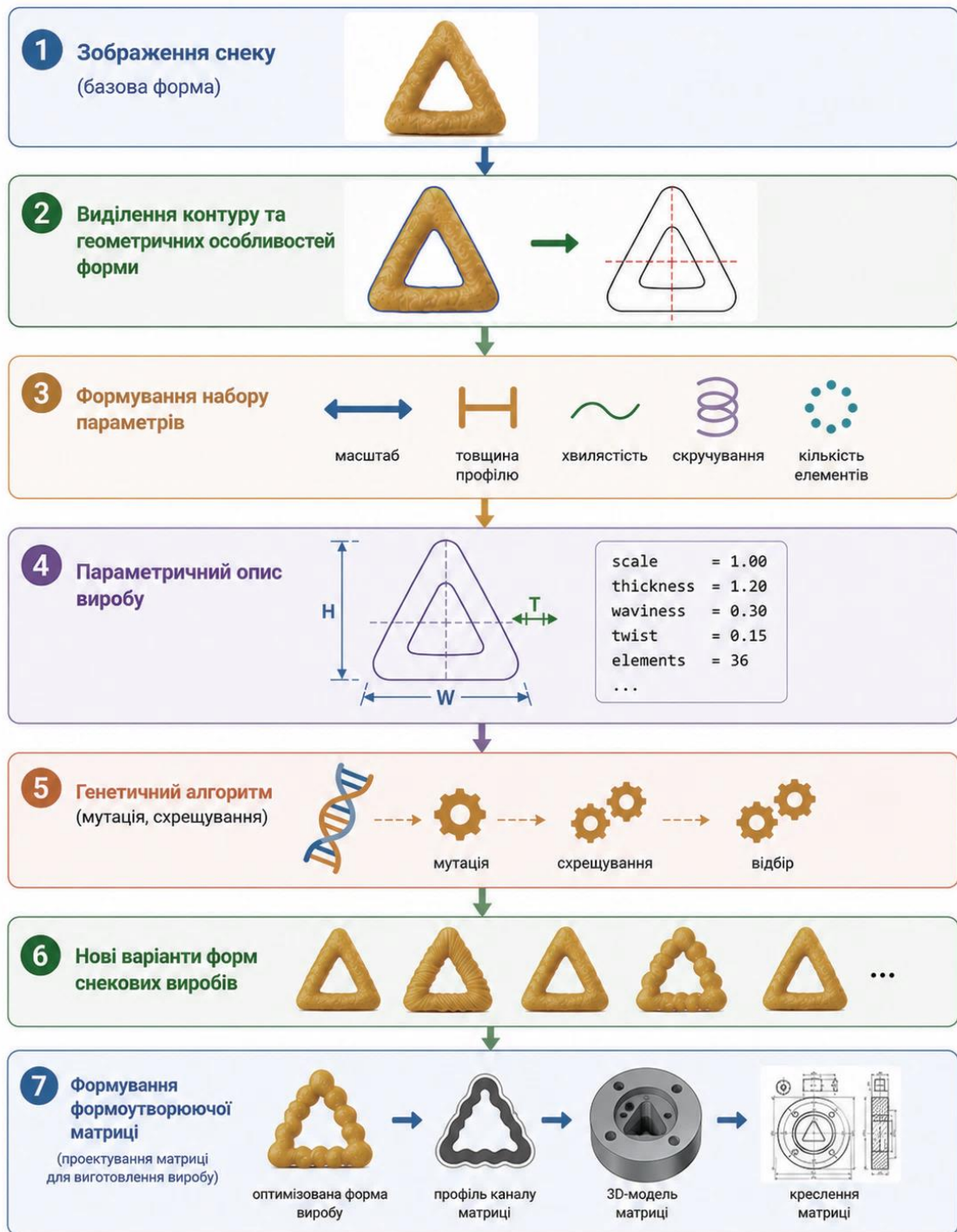


Рисунок 2.2 – Схема формування параметричного опису та генерації нових форм снекових виробів

Як показано на рисунку 2.2, вихідне зображення виробу перетворюється на параметричну модель шляхом виділення геометричних характеристик та формування набору керованих параметрів. Надалі ці параметри

використовуються генетичним алгоритмом для виконання операцій мутації, схрещування та відбору найбільш перспективних варіантів конструкцій.

Параметричне представлення забезпечує можливість автоматизованого генерування нових форм виробів без необхідності повного перепроєктування геометрії. Зміна окремих параметрів призводить до автоматичної перебудови форми виробу, що значно спрощує процес пошуку нових конструктивних рішень.

Результатом даного етапу є формування математичного опису виробів, придатного для подальшого використання у генетичному алгоритмі генерації та оптимізації нових форм снекової продукції. Отримані параметри також можуть бути використані під час проєктування формоутворюючих матриць екструзійного обладнання, що забезпечує зв'язок між етапами цифрового проєктування та реального виробництва.

2.3 Розроблення структури системи генерації та оптимізації дизайну

Після формування набору базових форм та створення параметричного опису виробів наступним етапом є розроблення структури системи генерації та оптимізації дизайну снекових виробів. Структура системи визначає взаємодію окремих функціональних модулів, які забезпечують автоматизоване створення нових геометричних форм, їх оцінювання та підготовку даних для проєктування формоутворюючих матриць.

Основною метою системи є автоматизований пошук нових конструктивних рішень для екструдованих снекових виробів із урахуванням технологічних обмежень виробництва. Для досягнення цієї мети система поєднує методи параметричного моделювання, еволюційної оптимізації та комп'ютерного проєктування.

Структура розробленої системи складається з таких основних модулів:

- модуль формування набору базових форм;
- параметричного опису виробів;
- модуль генерації нових форм на основі генетичного алгоритму;
- модуль оцінювання та відбору конструктивних рішень;
- модуль візуалізації результатів;
- модуль проєктування формоутворюючої матриці;
- модуль збереження результатів проєктування.

Модуль формування набору базових форм забезпечує зберігання та обробку вихідних геометричних моделей снєкових виробів. У даній роботі використовується набір базових форм, сформований на основі аналізу продукції, представленої на ринку екструдованих снєків. До набору входять кільцеві, трикутні, конічні, сітчасті та інші форми, що можуть бути виготовлені методом екструзії.

Модуль параметричного опису виробів виконує математичне представлення геометрії виробів за допомогою набору керованих параметрів. До основних параметрів належать масштаб форми, товщина профілю, ступінь хвилястості контуру, коефіцієнт скручування, кількість повторюваних елементів та інші геометричні характеристики, що визначають зовнішній вигляд виробу.

Модуль генерації нових форм забезпечує автоматичне створення альтернативних варіантів конструкцій шляхом зміни параметрів базових моделей. Генерація виконується з урахуванням технологічних обмежень екструзійного виробництва, що забезпечує можливість подальшого виготовлення отриманих виробів на реальному обладнанні.

Модуль генетичної оптимізації реалізує пошук найбільш перспективних конструктивних рішень за допомогою генетичного алгоритму. У процесі роботи виконуються операції формування початкової популяції, схрещування, мутації, селекції та формування нових поколінь конструкцій. Це дозволяє поступово покращувати характеристики виробів та знаходити оптимальні геометричні конфігурації.

Модуль оцінювання та відбору форм здійснює аналіз отриманих конструктивних рішень за визначеними критеріями. Для оцінювання використовуються показники технологічності виготовлення, механічної стійкості, оригінальності геометричної форми, відповідності обмеженням екструзійного виробництва та можливості реалізації виробу за допомогою формоутворюючої матриці.

Модуль візуалізації результатів забезпечує формування двовимірних і тривимірних моделей отриманих виробів. Це дозволяє виконувати порівняльний аналіз альтернативних варіантів конструкцій, оцінювати їх зовнішній вигляд та обирати найбільш перспективні рішення для подальшого проєктування.

Модуль проєктування формоутворюючої матриці забезпечує формування геометричних параметрів формоутворюючого каналу на основі оптимізованої форми виробу. Результатом роботи модуля є тривимірна CAD-модель матриці, комплект креслень та основні розрахункові параметри, необхідні для виготовлення та впровадження матриці у технологічний процес екструзії.

Результатом роботи системи є оптимізована форма снекового виробу та проєкт формоутворюючої матриці, придатної для її виготовлення в умовах промислового виробництва.

Вхідними даними системи є зображення базових форм снекових виробів, сформовані на основі аналізу існуючої продукції. Після надходження до системи кожна форма проходить етап параметризації, під час якого геометричні характеристики перетворюються на набір керованих параметрів.

Отримані параметри передаються до модуля генетичного алгоритму, де виконується генерація нових варіантів конструкцій шляхом операцій мутації, схрещування та селекції. Для кожної згенерованої форми обчислюється значення функції пристосованості, яка враховує технологічність виготовлення, механічну стійкість, оригінальність геометрії та відповідність обмеженням екструзійного виробництва.

Після завершення процесу оптимізації система формує набір перспективних конструктивних рішень, які можуть бути використані для подальшого проєктування. Найкращий варіант передається до модуля проєктування формоутворюючої матриці, де виконується побудова геометрії формоутворюючого каналу, створення тривимірної моделі матриці та підготовка конструкторської документації.

Структурну схему такої системи показано на рисунку 2.3.

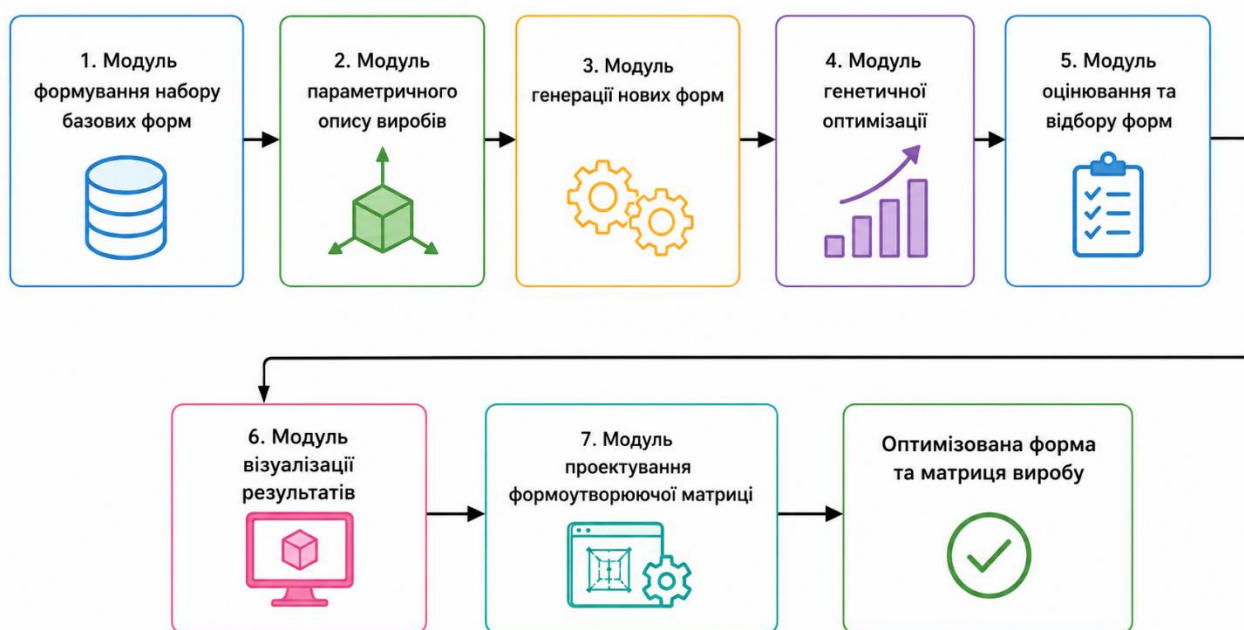


Рисунок 2.3 – Структура системи генерації та оптимізації дизайну снекових виробів

Як показано на рисунку 2.3, робота системи починається з формування набору базових форм снекових виробів, отриманих на основі аналізу існуючої продукції. Після цього виконується параметричний опис геометрії виробів, що дозволяє представити форму у вигляді набору керованих параметрів. На основі параметричних моделей модуль генерації нових форм створює альтернативні варіанти конструкцій, які надалі підлягають генетичній оптимізації. Оцінювання та відбір форм здійснюється за критеріями технологічності виготовлення, механічної стійкості, оригінальності геометрії та відповідності обмеженням екструзійного виробництва. Отримані результати візуалізуються та передаються

до модуля проєктування формоутворюючої матриці, де формується геометрія формоутворюючого каналу, тривимірна модель матриці та комплект конструкторської документації.

Результатом роботи системи є оптимізована форма снекового виробу та проєкт формоутворюючої матриці для її виготовлення.

2.4 Інтеграція результатів генеративного проєктування у технологічний процес екструзійного виробництва

Результатом роботи розробленої системи є оптимізовані геометричні форми снекових виробів, придатні для виготовлення методом екструзії. Однак практичне впровадження нових конструкцій потребує не лише генерації форми виробу, але й забезпечення можливості її реалізації в умовах реального виробництва.

Після завершення етапу генерації та оптимізації здійснюється проєктування формоутворюючої матриці, яка встановлюється в екструзійну головку та визначає поперечний переріз майбутнього виробу. Геометрія матриці формується на основі параметричного опису оптимізованої форми та враховує технологічні особливості процесу екструзії, зокрема товщину профілю, безперервність контуру, допустимі радіуси заокруглення та міцність конструкції.

Для забезпечення стабільної якості продукції важливу роль відіграють засоби автоматизації технологічного процесу. Сучасні екструзійні лінії оснащуються системами автоматичного контролю та регулювання, які забезпечують підтримання необхідних режимів роботи обладнання та контроль показників якості продукції.

Контроль температурного режиму здійснюється за допомогою термопар або терморезистивних датчиків типу Pt100, встановлених у зонах нагріву екструдера (рис.2.5). Отримані сигнали надходять до програмованого логічного контролера (ПЛК), який реалізує алгоритми автоматичного регулювання

температури на основі PID-контролю. Підтримання стабільної температури є необхідною умовою формування виробів із заданими геометричними параметрами та забезпечення стабільності процесу екструзії.

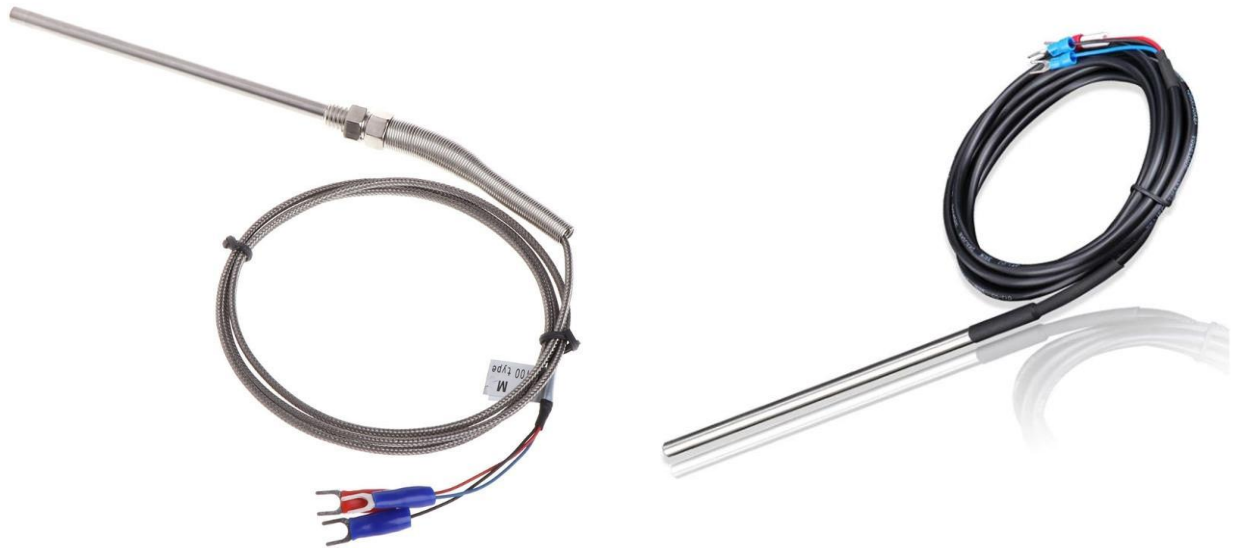


Рисунок 2.5 – Датчик температури Pt100 для контролю температурного режиму екструзійного обладнання

Для вимірювання температури в промислових умовах широко використовуються терморезистивні датчики Pt100, принцип дії таких датчиків ґрунтується на залежності електричного опору платинового чутливого елемента від температури контрольованого середовища. Висока точність вимірювання, стабільність характеристик та широкий діапазон робочих температур забезпечують ефективне використання таких датчиків у системах автоматичного керування екструзійним обладнанням.

Система автоматичного керування температурним режимом екструдера функціонує за принципом замкненого контуру регулювання (рис.2.6). Оператор задає необхідне значення температури (Setpoint), яке надходить до програмованого логічного контролера. У ПЛК реалізовано PID-регулятор, що порівнює задану температуру з поточним значенням, отриманим від датчика Pt100 через вимірювальний перетворювач сигналу.

На основі величини відхилення PID-регулятор формує керуючий сигнал для нагрівальних елементів екструдера. Зміна потужності нагріву забезпечує підтримання температури технологічного процесу на заданому рівні. Поточне значення температури безперервно вимірюється датчиком Pt100 та передається до контролера каналом зворотного зв'язку.

Застосування автоматизованої системи регулювання дозволяє зменшити коливання температури у робочих зонах екструдера, забезпечити стабільність процесу екструзії та підвищити якість готової продукції. Зокрема, це важливо під час виготовлення виробів нової геометричної форми, оскільки навіть незначні відхилення температурного режиму можуть впливати на процес розширення продукту, його структуру та кінцеві геометричні параметри.

Таким чином, інтеграція систем автоматичного керування температурою є необхідною складовою впровадження результатів генеративного проєктування у реальний технологічний процес виробництва екструдованих снекових виробів.

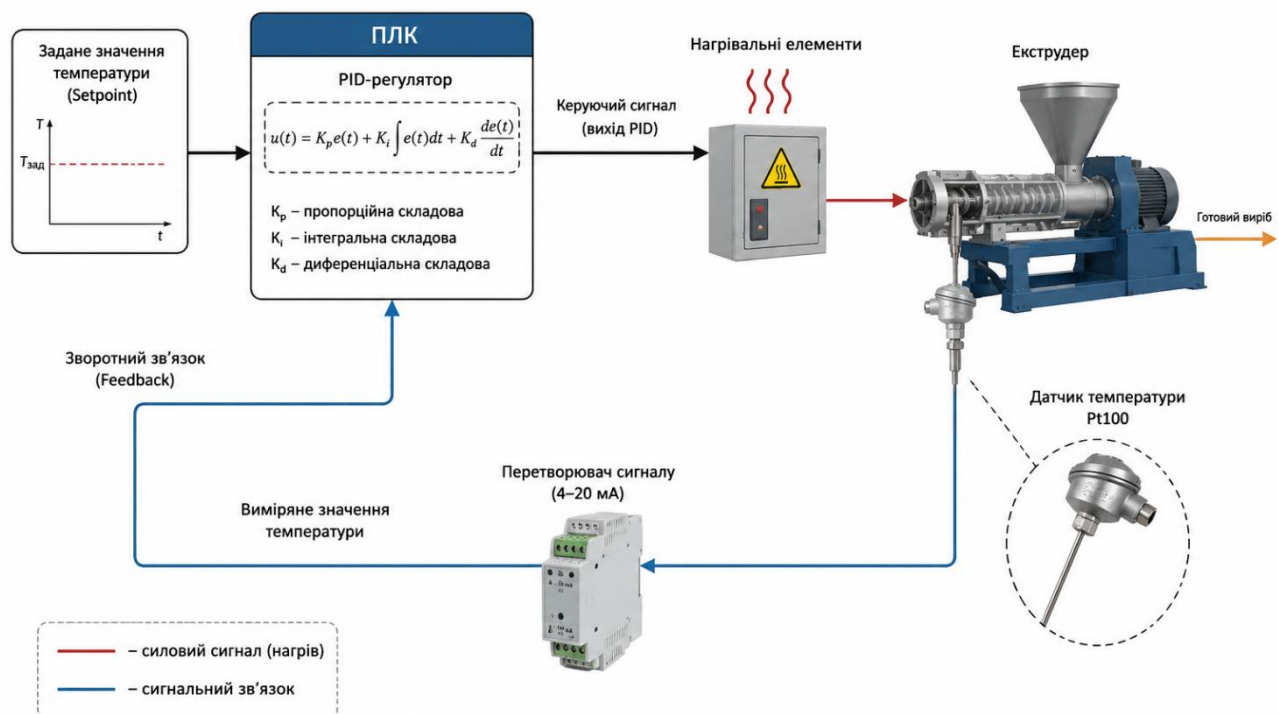


Рисунок 2.6 – Структурна схема автоматизованого регулювання температури екструдера на основі ПЛК, PID-регулятора та датчика Pt100

Важливим параметром також є вологість сировини. Перед подачею компонентів у приймальний бункер здійснюється контроль вологості за допомогою вологомірів. За результатами вимірювань може виконуватися коригування кількості води в рецептурі, що дозволяє підтримувати стабільні умови формування виробів та зменшувати ймовірність виникнення дефектів.

Для забезпечення безпечності продукції на виробничій лінії застосовуються металодетектори, які здійснюють контроль наявності сторонніх металевих включень (рис.2.7).



Рисунок 2.8 – Металодетектор конвеєрного типу для автоматизованого контролю сторонніх металевих включень у харчовій продукції

Металодетектори конвеєрного типу використовуються на завершальних етапах виробництва для автоматизованого контролю готової продукції. Продукт проходить через зону контролю, де здійснюється перевірка на наявність металевих включень. У разі виявлення сторонніх домішок система формує сигнал тривоги та активує механізм автоматичного відбракування продукції.

Після виготовлення продукції проводяться технологічні випробування та контроль якості. До основних показників належать геометричні розміри виробу,

ступінь експандованості, об'ємна густина, зовнішній вигляд, колір, хрусткість та відсутність дефектів поверхні. Отримані результати можуть використовуватися для коригування параметрів екструзійного процесу та подальшого вдосконалення конструкції виробу.

Центральним елементом системи автоматизації є ПЛК, котрий забезпечує збір інформації від датчиків, обробку сигналів та формування керуючих впливів на виконавчі механізми екструзійної лінії. До основних контрольованих параметрів належать температура зон екструзії, вологість сировини, швидкість обертання шнека та продуктивність лінії. Для візуалізації параметрів процесу та налаштування режимів роботи може використовуватися операторська НМІ-панель (рис.2.8).

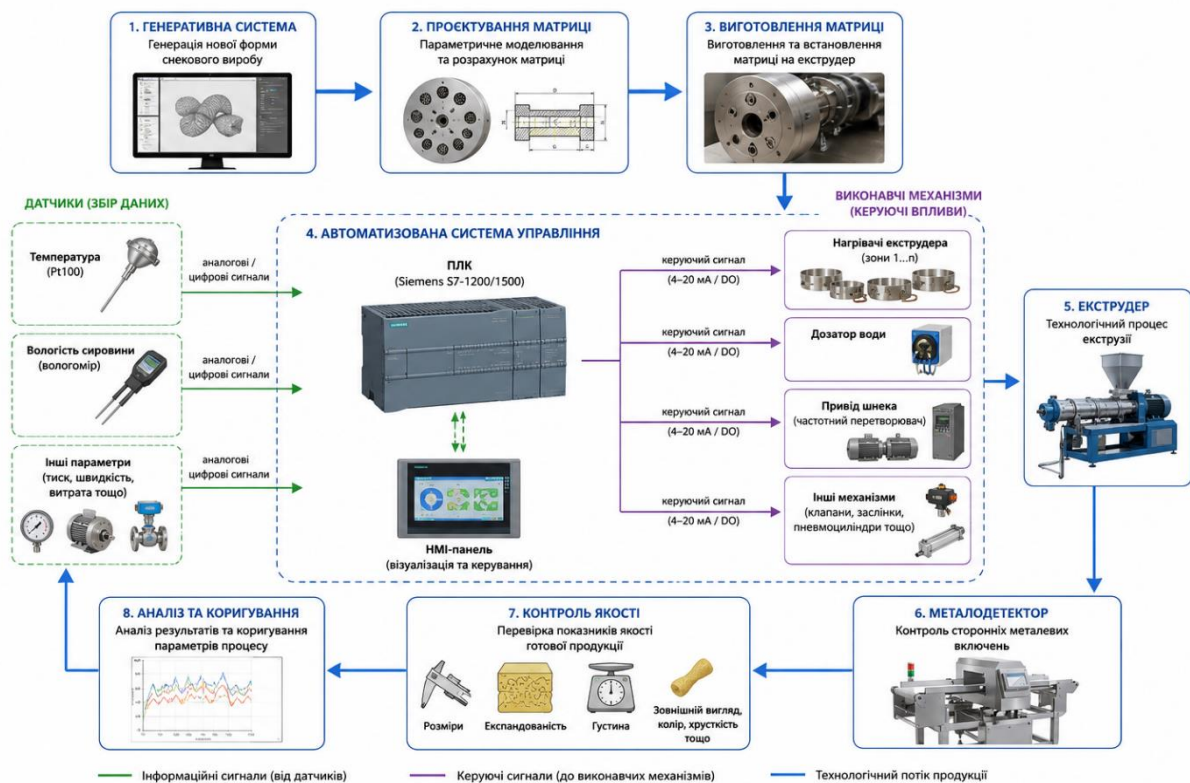


Рисунок 2.8 – Узагальнена структура автоматизованої системи виробництва екструдованих снекових виробів

Таким чином, інтеграція результатів генеративного проєктування у технологічний процес передбачає не лише створення нових форм снекових виробів, але й проєктування відповідних формоутворюючих матриць,

впровадження засобів автоматичного контролю технологічних параметрів та забезпечення стабільної якості готової продукції. Запропонований підхід дозволяє поєднати сучасні методи ШІ, параметричного моделювання та автоматизації виробництва в єдину систему розроблення нових снекових виробів.

2.5 Вибір ПЗ реалізації системи

У процесі розроблення системи генерації та оптимізації дизайну снекових виробів використовується комплекс програмних засобів, котрі забезпечують виконання етапів аналізу даних, параметричного моделювання, генерації нових конструктивних рішень, проєктування формоутворюючих елементів та візуалізації результатів.

Для реалізації алгоритмів генерації та оптимізації форм обрано мову програмування Python. Даний програмний засіб має розвинену екосистему бібліотек для обробки даних, математичного моделювання, реалізації генетичних алгоритмів та побудови графічних візуалізацій. Крім того, Python забезпечує можливість інтеграції із системами комп'ютерного проєктування та інструментами ШІ.

Для обробки геометричних даних та виконання параметричного моделювання використовувалися бібліотеки NumPy, SciPy, OpenCV та Matplotlib. Бібліотека NumPy забезпечує ефективну роботу з масивами числових даних, SciPy використовується для математичних обчислень та оптимізації, OpenCV — для аналізу контурів базових форм виробів, а Matplotlib — для побудови графіків та візуалізації результатів роботи генетичного алгоритму.

Для створення тривимірних моделей виробів та проєктування формоутворюючих матриць використовується система автоматизованого проєктування SolidWorks. Застосування SolidWorks дозволяє виконувати

параметричне моделювання виробів, автоматично формувати конструкторську документацію та створювати креслення елементів екструзійного обладнання.

Для фотореалістичної візуалізації отриманих результатів використовується генеративна модель DALL·E. Її застосування дозволяє створювати реалістичні зображення снєкових виробів на основі геометричних параметрів, отриманих у результаті роботи генетичного алгоритму.

З метою забезпечення можливості інтеграції результатів проєктування у технологічний процес виробництва передбачено використання програмованих логічних контролерів класу Siemens S7 та операторських панелей HMI для реалізації функцій автоматичного контролю та керування параметрами екструзійного процесу. Хоча безпосереднє програмування контролерів не входить до завдань цієї роботи, врахування можливостей їх використання дозволяє оцінити перспективи практичного впровадження розробленої системи на сучасних виробничих підприємствах. Основні програмні засоби, використані при реалізації системи генерації та оптимізації дизайну снєкових виробів, показано на рисунку 2.9.

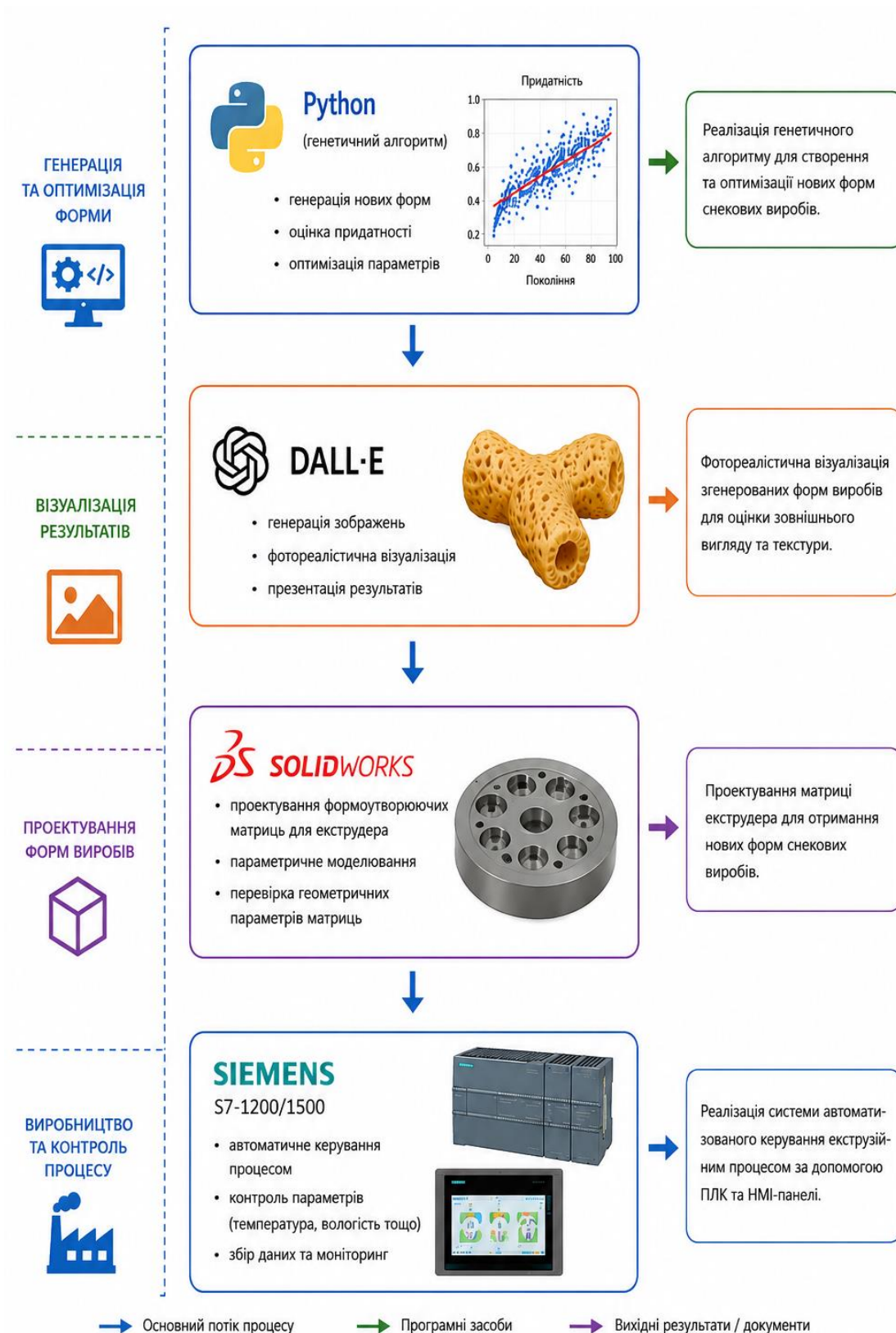


Рисунок 2.9 – Взаємодія програмних засобів під час генерації, візуалізації, проектування та впровадження нових форм снікових виробів

Таким чином, для реалізації системи генерації та оптимізації дизайну снекових виробів використано комплекс сучасних програмних засобів, кожен з яких виконує окремий етап розроблення. Генетичний алгоритм, реалізований мовою Python, забезпечує автоматизований пошук нових геометричних форм виробів. Для візуального оцінювання отриманих результатів застосовується генеративна модель DALL·E, яка формує фотореалістичні зображення розроблених конструкцій. Проектування формоутворюючих матриць та підготовка конструкторської документації здійснюються в середовищі SolidWorks. Перспективи практичного впровадження розроблених рішень у виробництво пов'язані з використанням засобів промислової автоматизації на базі програмованих логічних контролерів, що забезпечують контроль і регулювання технологічних параметрів процесу екструзії. Застосування такого комплексу програмних та технічних засобів дозволяє поєднати методи ІІІ, комп'ютерного проектування та автоматизації виробництва в єдиній системі розроблення нових снекових виробів.

РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Реалізація генетичного алгоритму генерації та оптимізації форм снекових виробів

Практична реалізація запропонованої системи генерації та оптимізації дизайну снекових виробів виконана мовою програмування Python [12]. Основою розробленої системи є генетичний алгоритм, який забезпечує автоматизований пошук нових геометричних форм на основі набору базових зразків та їх параметричного опису.

Використання генетичного алгоритму дозволяє імітувати процес природного відбору, внаслідок якого з кожним новим поколінням формуються більш перспективні конструктивні рішення. Кожна особина популяції представляє окремий варіант форми снекового виробу та описується набором параметрів, що характеризують її геометричні особливості. У процесі роботи алгоритму виконуються операції мутації, схрещування та відбору, а оцінювання отриманих рішень здійснюється за допомогою функції пристосованості.

Розроблена програмна система забезпечує формування початкової популяції, генерацію нових конструктивних рішень, їх оптимізацію відповідно до заданих критеріїв та збереження результатів для подальшої візуалізації і проєктування формоутворюючих матриць. Важливі етапи реалізації генетичного алгоритму наведено далі.

```

8  # =====
9  # НАЛАШТУВАННЯ
10 # =====
11
12 OUTPUT_DIR = "GA_SNACK_DESIGN_RESULTS"
13 PROFILE_DIR = os.path.join(OUTPUT_DIR, "01_profiles")
14 DATA_DIR = os.path.join(OUTPUT_DIR, "02_tables")
15 PROMPT_DIR = os.path.join(OUTPUT_DIR, "03_ai_prompts")
16
17 os.makedirs(PROFILE_DIR, exist_ok=True)
18 os.makedirs(DATA_DIR, exist_ok=True)
19 os.makedirs(PROMPT_DIR, exist_ok=True)
20
21 IMG_SIZE = 1000
22 CX, CY = IMG_SIZE // 2, IMG_SIZE // 2
23
24 POP_SIZE = 180
25 GENERATIONS = 120
26 MUTATION_RATE = 0.18
27 ELITE_COUNT = 24

```

Рисунок 3.1 – Фрагмент програмної реалізації налаштування параметрів генетичного алгоритму

На етапі реалізації генетичного алгоритму задаються основні параметри еволюційного пошуку. У програмному коді визначено розмір популяції ($POP_SIZE = 180$), кількість поколінь ($GENERATIONS = 120$), імовірність мутації ($MUTATION_RATE = 0,18$) та кількість елітних особин ($ELITE_COUNT = 24$), які без змін переходять до наступного покоління. Крім того, створюються каталоги для збереження результатів роботи алгоритму, зокрема параметричних профілів, таблиць результатів та текстових описів для подальшої візуалізації.

Вибрані значення параметрів забезпечують баланс між швидкістю збіжності алгоритму та різноманітністю отримуваних конструктивних рішень. Застосування механізму елітарного відбору дозволяє зберігати найкращі

знайдені форми протягом усього процесу оптимізації та підвищує ефективність пошуку оптимальних конфігурацій снекових виробів.

Початкова популяція генетичного алгоритму формується на основі набору базових форм снекових виробів, отриманих за результатами аналізу продукції, представленої на сучасному ринку. Кожна форма описується набором геометричних параметрів, які можуть змінюватися в процесі еволюційного пошуку (рис.3.2).

```
36 BASE_DATASET = [  
37     {"id": 1, "base": "cone", "name": "Конус", "hollow": 0.60, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 5},  
38     {"id": 2, "base": "ring", "name": "Кільце", "hollow": 0.80, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 2},  
39     {"id": 3, "base": "tube", "name": "Трубка", "hollow": 0.80, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 8},  
40     {"id": 4, "base": "triangle", "name": "Трикутник", "hollow": 0.65, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 3},  
41     {"id": 5, "base": "pentagon", "name": "Пентагон", "hollow": 0.65, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 5},  
42     {"id": 6, "base": "comb", "name": "Гребінець", "hollow": 0.20, "wave": 0.55, "spiral": 0.10, "ribs": 5},  
43     {"id": 7, "base": "circle", "name": "Круг", "hollow": 0.10, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 0},  
44     {"id": 8, "base": "hexagon", "name": "Шестикутник", "hollow": 0.55, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 6},  
45     {"id": 9, "base": "oval", "name": "Овал", "hollow": 0.35, "wave": 0.10, "spiral": 0.05, "ribs": 2},  
46     {"id": 10, "base": "tube", "name": "Рифлена трубка", "hollow": 0.85, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 12},  
47     {"id": 11, "base": "triangle", "name": "Трикутник з отвором", "hollow": 0.75, "wave": 0.10, "spiral": 0.05, "ribs": 3},  
48     {"id": 12, "base": "ring", "name": "Товсте кільце", "hollow": 0.70, "wave": 0.10, "spiral": 0.10, "ribs": 4},  
49     {"id": 13, "base": "comb", "name": "Хвиляста форма", "hollow": 0.20, "wave": 0.70, "spiral": 0.20, "ribs": 6},  
50     {"id": 14, "base": "cone", "name": "Порожнистий конус", "hollow": 0.80, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 6},  
51     {"id": 15, "base": "pentagon", "name": "Пентагональний профіль", "hollow": 0.70, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 5},  
52     {"id": 16, "base": "triangle", "name": "Трикутна трубка", "hollow": 0.80, "wave": 0.10, "spiral": 0.10, "ribs": 3},  
53     {"id": 17, "base": "ring", "name": "Кільце з отвором", "hollow": 0.85, "wave": 0.10, "spiral": 0.15, "ribs": 6},  
54 ]  
55
```

Рисунок 3.2 – Фрагмент програмної реалізації бази вихідних форм снекових виробів

Як видно з рисунка 3.2, початкова база даних містить набір базових форм снекових виробів, які використовуються для формування вихідної популяції генетичного алгоритму. Кожна форма описується набором параметрів, що характеризують її геометричні особливості та визначають можливі напрямки подальшої модифікації.

Для кожного виробу задається унікальний ідентифікатор, тип базової геометрії та назва форми. Крім того, використовується набір параметрів, які впливають на зовнішній вигляд та конструктивні особливості виробу. Параметр *hollow* визначає ступінь порожнистості профілю, параметр *wave* характеризує хвилястість зовнішнього контуру, *spiral* задає рівень закручування або спіральності форми, а параметр *ribs* визначає кількість додаткових геометричних елементів, які формують структуру виробу.

До складу базової бібліотеки включено 17 форм, що представляють найбільш поширені різновиди екструдованих снекових виробів. Серед них присутні кільця, трубки, конуси, трикутні профілі, пентагони, гребінчасті структури та комбіновані геометричні конфігурації. Використання різних типів базових форм дозволяє забезпечити достатню різноманітність початкової популяції та розширити простір пошуку нових конструктивних рішень.

Параметричний опис виробів є важливою складовою розробленої системи, оскільки дозволяє представляти складні геометричні форми у вигляді набору числових параметрів. Завдяки цьому операції мутації та схрещування можуть виконуватися безпосередньо над параметрами моделі, що значно спрощує процес генерації нових конструкцій та підвищує швидкодію алгоритму.

Сформована база вихідних форм використовується як джерело початкових рішень для генетичного алгоритму. У процесі еволюційної оптимізації параметри окремих форм змінюються, комбінуються та успадковуються новими поколіннями, що забезпечує поступове формування нових геометричних конфігурацій снекових виробів з покращеними характеристиками.

Після формування початкової популяції виконуються генетичні оператори мутації та схрещування, які забезпечують появу нових конструктивних рішень. Реалізація оператора мутації передбачає як зміну типу форми, так і модифікацію її геометричних параметрів (рис.3.3).

```

133 # ГЕНЕТИЧНІ ОПЕРАТОРИ
134 # =====
135
136 def mutate_form_type(form_type):
137     transitions = {
138         "wave_triangle": ["spiral_triangle", "pentagon"],
139         "spiral_triangle": ["wave_triangle"],
140         "spiral_ring": ["hollow_cylinder"],
141         "hollow_cylinder": ["spiral_ring"],
142         "comb_classic": ["comb_spiral"],
143         "comb_spiral": ["comb_classic"],
144         "turbine_cone": ["spiral_triangle"],
145         "pentagon": ["wave_triangle"],
146     }
147     return random.choice(transitions.get(form_type, FORM_TYPES))
148
149
150 def mutate(ind):
151     child = ind.copy()
152
153     for key in ["hollow", "wave", "spiral", "wall", "scale_x", "scale_y", "taper"]:
154         if random.random() < MUTATION_RATE:
155             child[key] += random.uniform(-0.12, 0.12)

```

Рисунок 3.3 – Фрагмент програмної реалізації оператора мутації генетичного алгоритму

Як показано на рисунку 3.3, у розробленій системі реалізовано основні генетичні оператори, які забезпечують еволюційне формування нових конструктивних рішень. Одним із ключових механізмів є оператор мутації, що виконує випадкову зміну параметрів окремих особин популяції. Такий підхід дозволяє підтримувати різноманітність рішень та запобігати передчасній збіжності алгоритму до локального оптимуму.

У програмній реалізації передбачено можливість зміни як типу форми виробу, так і її геометричних параметрів. Зокрема, можуть змінюватися ступінь порожнистості профілю, хвилястість контуру, рівень спіральності, товщина стінки та масштабні характеристики виробу. Величина змін визначається випадковим чином у межах допустимих діапазонів, що забезпечує формування нових варіантів конструкцій при збереженні їх технологічної придатності.

Оператор схрещування використовується для комбінування параметрів двох батьківських особин. У результаті формується нова особина, яка успадковує частину характеристик від кожного з батьків. Такий механізм

дозволяє поєднувати переваги різних конструктивних рішень та прискорює пошук перспективних геометричних конфігурацій.

Спільне використання операторів мутації та схрещування забезпечує поступове вдосконалення популяції виробів у процесі еволюційної оптимізації. Це дозволяє автоматизовано формувати нові форми снекових виробів, які відповідають встановленим вимогам щодо технологічності виготовлення, механічної стійкості та оригінальності дизайну.

3.2. Результати генерації та оптимізації нових форм снекових виробів

Для перевірки ефективності запропонованого підходу було проведено серію обчислювальних експериментів із використанням розробленого генетичного алгоритму. Початковими даними слугувала база з 17 базових форм снекових виробів, сформована на основі аналізу існуючих зразків продукції. Кожна форма описувалася набором геометричних параметрів, що дозволяло виконувати їх подальшу модифікацію та оптимізацію в автоматичному режимі.

У процесі роботи генетичного алгоритму здійснювалися операції відбору, схрещування та мутації параметрів окремих особин. Для оцінювання якості отриманих конструкцій використовувалася функція пристосованості (fitness), яка враховувала технологічність виготовлення виробу, цілісність геометричного контуру та можливість подальшого виробництва.

Динаміка зміни значення функції пристосованості для різних типів форм наведена на рисунку 3.4.

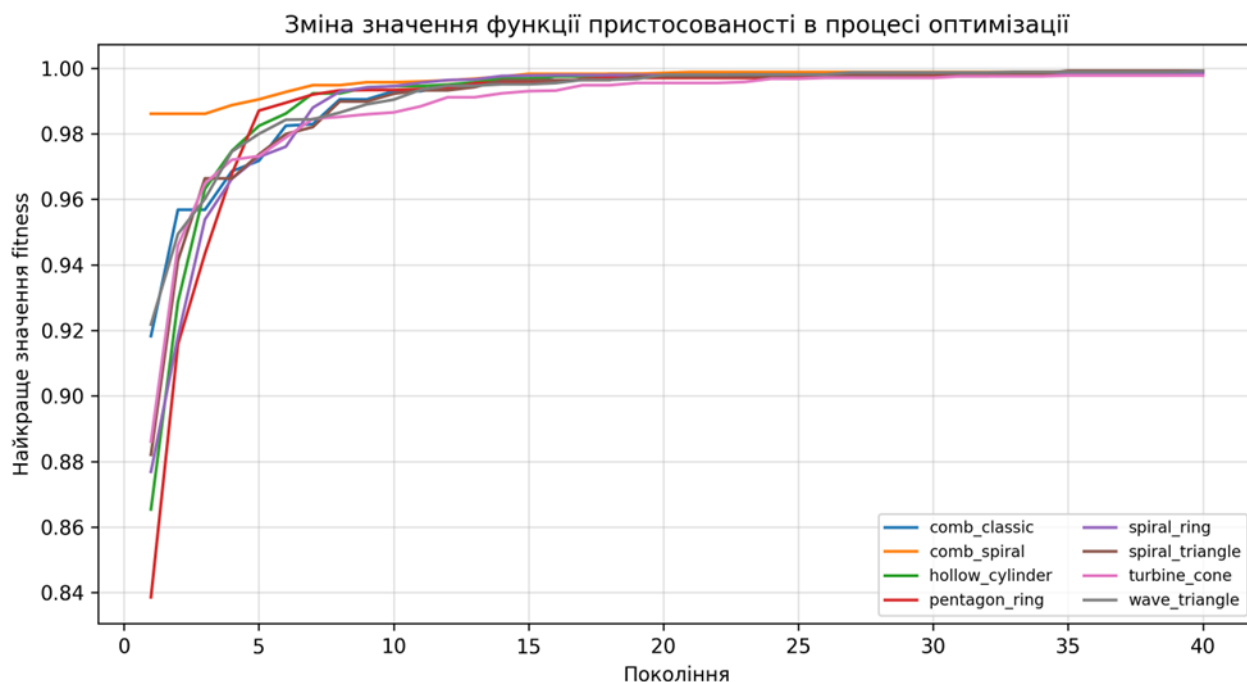


Рисунок 3.4 – Зміна значення функції пристосованості в процесі оптимізації форм снікових виробів

Як видно з рисунка 3.4, у перших поколіннях спостерігається швидке зростання значень функції пристосованості для всіх досліджуваних форм. Найбільш інтенсивне покращення відбувається протягом перших 5–10 поколінь, після чого процес оптимізації поступово стабілізується. Починаючи приблизно з 20-го покоління, значення fitness наближаються до максимальних та практично не змінюються, що свідчить про збіжність генетичного алгоритму та досягнення оптимальних або близьких до оптимальних рішень. Усі отримані конструкції характеризуються високими значеннями функції пристосованості, які перевищують 0,997. Це підтверджує ефективність використання генетичного алгоритму для автоматизованого пошуку нових форм снікових виробів та свідчить про успішне досягнення поставлених цілей оптимізації.

У результаті виконання оптимізації було сформовано множину нових варіантів конструкцій, серед яких автоматично визначалися найкращі рішення відповідно до значення функції пристосованості. Частина отриманих параметричних форм наведена на рисунку 3.5.

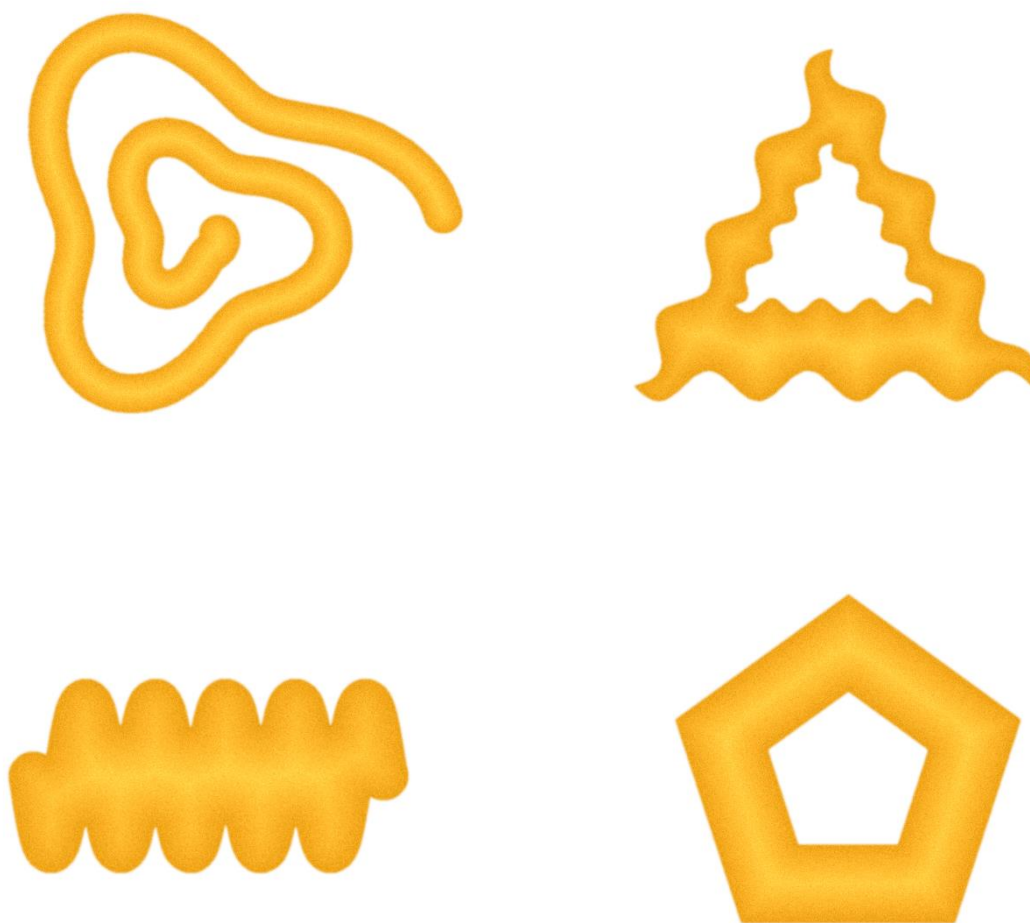


Рисунок 3.5 – Приклади параметричних форм, отриманих генетичним алгоритмом

На рисунку 3.5 наведено приклади конструкцій, сформованих безпосередньо генетичним алгоритмом на основі параметричного опису виробів. Отримані форми демонструють можливість автоматизованого створення нових геометричних конфігурацій шляхом комбінування та модифікації параметрів вихідних зразків.

За результатами роботи алгоритму було сформовано вісім перспективних конструкцій снекових виробів: турбінний конус, спіральне кільце, порожнистий циліндр, пентагон з отвором, спіральний гребінець, класичний гребінець, хвилястий трикутник та спіральний трикутник. Для кожної оптимізованої форми

було сформовано текстовий опис (prompt), який містив інформацію про геометрію виробу, його структуру, матеріал та бажаний стиль візуалізації. Під час генерації використовувались однакові умови відображення: нейтральний фон, реалістична текстура кукурудзяного снеку, природне освітлення та висока деталізація поверхні. Це забезпечило можливість коректного порівняння отриманих результатів. Отримані зображення дозволяють оцінити не лише геометричні особливості нових форм, але й їх потенційну привабливість для споживача, що є важливим етапом під час розроблення нових харчових продуктів.

Отримані результати візуалізації наведено на рисунку 3.6.





Рисунок 3.6 – Фотореалістичні зображення оптимізованих снекових виробів, сформовані за допомогою DALL·E

Аналіз отриманих результатів показав, що генеративна модель успішно відтворила усі запропоновані форми та забезпечила їх візуалізацію у вигляді реалістичних снекових виробів. Найбільш перспективними з точки зору оригінальності конструкції виявилися спіральне кільце, хвилястий трикутник та спіральний гребінець, які поєднують незвичну геометрію із можливістю промислового виготовлення методом екструзії. Отримані концепти можуть бути

використані для подальшого створення тривимірних моделей та конструкторської документації.

Таким чином, використання генетичного алгоритму забезпечило автоматизоване формування нових геометричних конфігурацій снєкових виробів, а застосування генеративної моделі DALL·E дозволило виконати їх фотореалістичну візуалізацію. Отримані результати є основою для проєктування формоутворюючих матриць у середовищі SolidWorks та оцінювання можливості практичного впровадження розроблених конструкцій у виробничий процес.

3.3. Розроблення тривимірної моделі обраної форми у SolidWorks

На завершальному етапі дослідження було виконано створення тривимірної моделі однієї з оптимізованих форм снєкових виробів. Метою даного етапу є перевірка можливості практичної реалізації отриманого концепту, оцінювання його геометричних характеристик та підготовка основи для подальшого проєктування технологічного оснащення.

Для побудови тривимірної моделі було використано програмне забезпечення SolidWorks, яке є одним із найбільш поширених CAD-засобів у галузі машинобудування та промислового проєктування. Використання SolidWorks дозволяє створювати параметричні моделі виробів, виконувати їх редагування, визначати геометричні параметри та формувати конструкторську документацію.

Для подальшого моделювання було обрано форму спірального трикутника. Дана конструкція була вибрана завдяки поєднанню оригінальної геометрії, високого значення функції пристосованості та можливості виготовлення методом екструзії.

Побудова тривимірної моделі здійснювалася шляхом створення базового ескізу профілю виробу з подальшим формуванням об'ємної геометрії за допомогою операцій витягування та згладжування контурів. На етапі

моделювання враховувалися особливості технології виробництва снекових виробів, зокрема відсутність надмірно тонких елементів, плавність переходів між поверхнями та достатня жорсткість конструкції (рис.3.7).

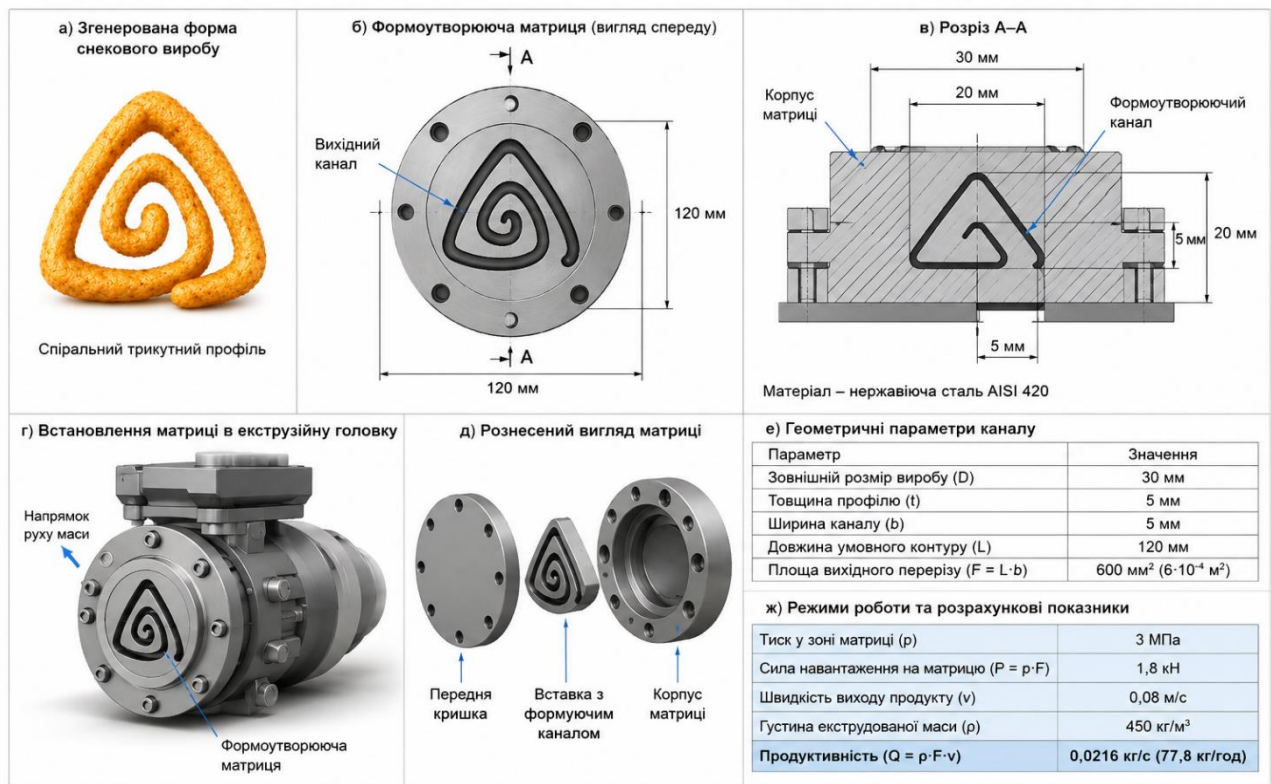


Рисунок 3.7 – Формоутворююча матриця для виготовлення спірального трикутного снекового виробу

Для практичної реалізації однієї з оптимізованих форм було розроблено конструкцію формоутворюючої матриці в середовищі SolidWorks. Як об'єкт дослідження обрано спіральний трикутний профіль, який характеризується високим значенням функції пристосованості та вираженою оригінальністю геометрії. Розроблена конструкція складається з корпусу матриці, змінної вставки з формоутворюючим каналом та кріпильних елементів. Геометрія каналу відтворює контур оптимізованого виробу та забезпечує можливість його виготовлення методом екструзії.

На рисунку 3.8 наведено комплект конструкторської документації розробленої матриці. Креслення містить основний вигляд, розріз, ізометричне

зображення, рознесений вигляд складових елементів та специфікацію деталей. Такий комплект документації може бути використаний для подальшого виготовлення дослідного зразка матриці та перевірки працездатності запропонованого конструктивного рішення.

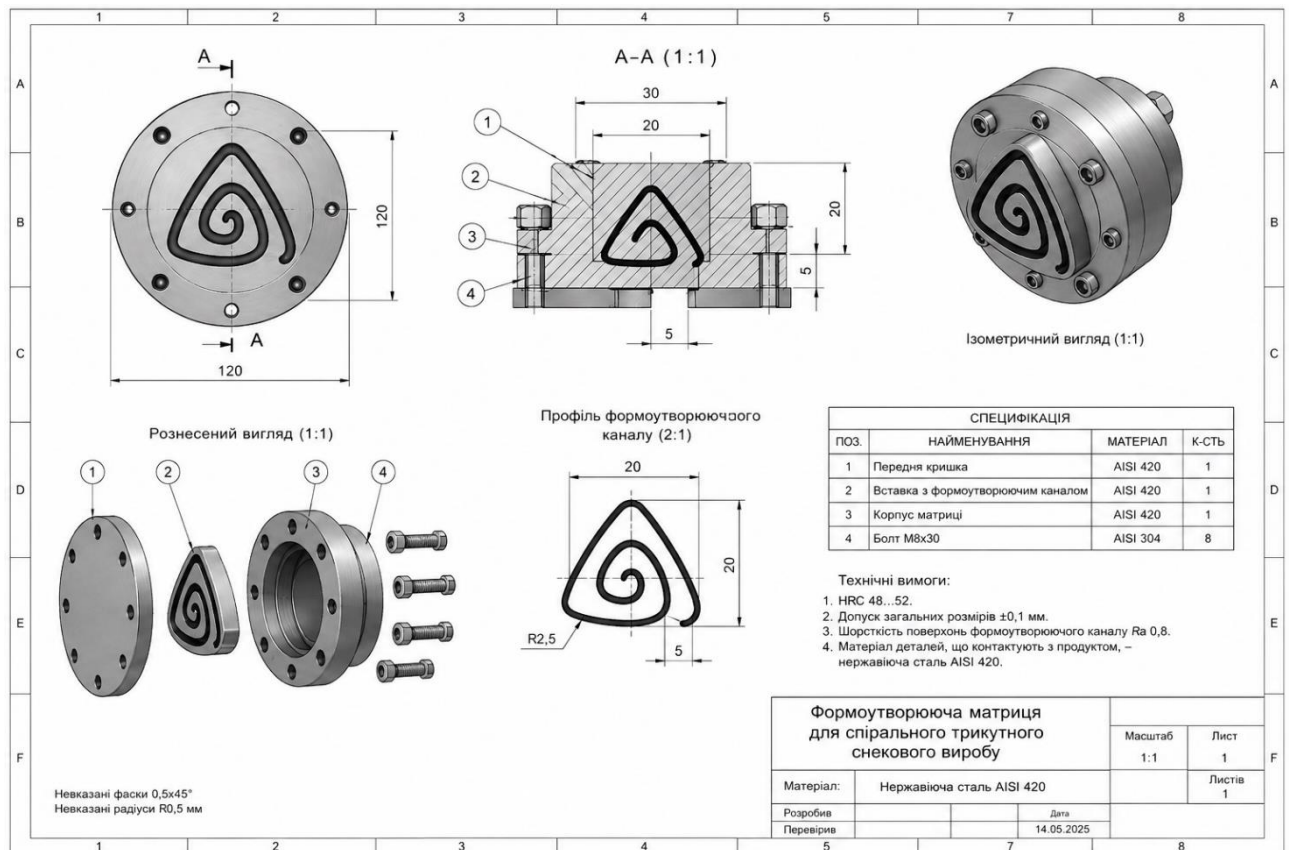


Рисунок 3.8 – Конструкторська документація формуютьної матриці для спірального трикутного виробу

Загалом, отримані результати підтверджують можливість інтеграції методів генеративного ШІ, генетичних алгоритмів та CAD-систем у єдиний цикл проєктування нових виробів. Використання SolidWorks дозволило перейти від цифрового концепту до конструкції, придатної для подальшого виготовлення та впровадження у виробництво снєкової продукції.

3.4. Аналіз результатів розробленої системи генерації та оптимізації форм снекових виробів

Для оцінювання ефективності запропонованого підходу було проведено аналіз результатів, отриманих на всіх етапах розроблення системи. Запропонована система поєднує методи параметричного опису форм, генетичні алгоритми оптимізації, генеративні моделі ІІІ та засоби тривимірного моделювання, що дозволяє реалізувати повний цикл автоматизованого проєктування нових снекових виробів.

На початковому етапі було сформовано набір із сімнадцяти базових форм, які відображають найбільш поширені геометричні конфігурації снекової продукції. Використання параметричного опису забезпечило можливість гнучкого керування геометричними характеристиками виробів та створення нових конструктивних рішень шляхом зміни окремих параметрів.

Застосування генетичного алгоритму дозволило виконати автоматизований пошук перспективних варіантів конструкцій. У процесі еволюційної оптимізації відбувалося поступове покращення значень функції пристосованості, що підтверджується отриманими графіками збіжності. Аналіз результатів показав швидке зростання значень fitness у перших поколіннях та подальшу стабілізацію процесу оптимізації після досягнення збіжності алгоритму. Для всіх досліджуваних форм значення функції пристосованості перевищили 0,997, що свідчить про високу ефективність використаних механізмів відбору, схрещування та мутації.

У результаті роботи алгоритму було сформовано вісім нових форм снекових виробів: турбінний конус, спіральне кільце, порожнистий циліндр, пентагон з отвором, гребінець спіральний, гребінець класичний, хвилястий трикутник та спіральний трикутник. Отримані конструкції характеризуються різноманітністю геометричних рішень, збереженням технологічності та відповідністю обмеженням, що висуваються до виробів, виготовлених методом екструзії.

Використання генеративної моделі DALL·E дозволило отримати фотореалістичні зображення оптимізованих виробів та оцінити їхній потенційний зовнішній вигляд ще до етапу виготовлення фізичних прототипів. Такий підхід значно скорочує час розроблення нових продуктів, спрощує процес прийняття проєктних рішень та знижує витрати на виготовлення експериментальних зразків.

Для перевірки можливості практичної реалізації отриманих результатів було розроблено тривимірну модель формоутворюючої матриці для виготовлення спірального трикутного виробу. Конструкцію матриці виконано із використанням засобів SolidWorks з урахуванням геометрії оптимізованої форми та особливостей процесу екструзії. Результати моделювання підтвердили можливість створення конструкції, придатної для подальшого виготовлення та використання в екструзійному обладнанні харчової промисловості.

Аналіз підсумкових значень функції пристосованості показав, що для всіх сформованих конструкцій fitness перевищує 0,999. Найвище значення отримано для форми «Порожнистий циліндр» (0,999779), тоді як найменше значення зафіксовано для форми «Спіральне кільце» (0,999119). Незначна різниця між отриманими результатами свідчить про стабільність роботи генетичного алгоритму та високу якість сформованих конструктивних рішень.

Отже, отримані результати підтверджують доцільність використання комплексного підходу, що поєднує генетичні алгоритми, генеративні моделі ШІ та CAD-технології. Розроблена система забезпечує автоматизоване створення нових форм виробів, дозволяє оцінювати їх технологічність і візуальні характеристики, а також формує основу для подальшого впровадження інтелектуальних методів проєктування та оптимізації продукції у харчовій промисловості.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час роботи з комп'ютерною технікою

Виконання кваліфікаційної роботи пов'язане з використанням персонального комп'ютера, спеціалізованого програмного забезпечення Python, середовища автоматизованого проєктування SolidWorks, генеративних моделей штучного інтелекту та засобів обробки графічної інформації. Робота здійснюється переважно в умовах офісного приміщення та належить до категорії розумової праці з використанням персональних електронно-обчислювальних машин. Незважаючи на відсутність безпосереднього контакту з виробничим обладнанням, під час роботи за комп'ютером на користувача впливає ряд небезпечних і шкідливих факторів, які можуть негативно позначатися на здоров'ї та працездатності [24-25].

Одним із найбільш поширених шкідливих факторів є підвищене навантаження на органи зору. У процесі розроблення програмного забезпечення, аналізу результатів роботи генетичного алгоритму, моделювання геометричних форм виробів та проєктування тривимірних моделей користувач тривалий час працює з екраном монітора. Необхідність постійного спостереження за дрібними елементами інтерфейсу, програмним кодом, графіками та кресленнями може призводити до швидкої втоми очей, сухості слизової оболонки, погіршення акомодативної здатності та виникнення синдрому комп'ютерного зору. Додатковими негативними чинниками є недостатня освітленість робочого місця, відблиски на поверхні монітора та невідповідність параметрів контрастності зображення.

Важливим фактором є статичне навантаження на опорно-руховий апарат. Під час виконання роботи користувач тривалий час перебуває у сидячому положенні, що спричиняє перенапруження м'язів ший, плечового поясу, спини та

поперекового відділу хребта. Недостатня рухова активність може призводити до порушення кровообігу, швидкої втоми, виникнення болю у спині та розвитку захворювань опорно-рухового апарату. Особливо актуальною дана проблема є під час виконання тривалих розрахунків, програмування та проєктування складних тривимірних моделей.

До шкідливих факторів також належить нервово-емоційне навантаження. Робота з алгоритмами штучного інтелекту, аналіз результатів оптимізації, пошук помилок у програмному коді та прийняття проєктних рішень потребують високої концентрації уваги, значного обсягу аналітичної роботи та відповідальності за отримані результати. Тривале розумове навантаження може викликати психоемоційне виснаження, зниження концентрації уваги, підвищену втому та погіршення працездатності.

Під час роботи з комп'ютерною технікою існує ризик впливу несприятливих параметрів мікроклімату приміщення. Відхилення температури повітря, вологості або швидкості руху повітря від нормативних значень можуть викликати дискомфорт, погіршення самопочуття та зниження продуктивності праці. Особливо негативний вплив має понижена відносна вологість повітря, що часто спостерігається у приміщеннях із працюючими системами опалення та кондиціонування. Низька вологість сприяє пересиханню слизових оболонок очей та верхніх дихальних шляхів.

Окрему увагу необхідно приділити освітленню робочого місця. Недостатня освітленість приміщення або нерівномірний розподіл світлового потоку призводять до підвищеного навантаження на органи зору та швидкої втоми користувача. Наявність прямих сонячних променів або відблисків на екрані монітора погіршує умови сприйняття інформації та змушує користувача постійно напружувати зір. Для забезпечення комфортних умов праці необхідно поєднувати природне та штучне освітлення відповідно до чинних нормативних вимог.

Потенційно небезпечним фактором є ризик ураження електричним струмом. Персональний комп'ютер, монітор, принтер, мережеве обладнання та інші технічні засоби працюють від електричної мережі напругою 220 В. Пошкодження ізоляції кабелів, несправність блоків живлення, порушення правил експлуатації електрообладнання або відсутність заземлення можуть створювати загрозу для життя та здоров'я користувача.

До небезпечних факторів належить також пожежна безпека. У приміщеннях із комп'ютерною технікою використовуються значна кількість електронних пристроїв та мережевого обладнання, що може стати причиною перегріву проводки, короткого замикання або займання електрообладнання. Додаткову небезпеку становить накопичення пилу всередині системних блоків та вентиляційних каналів обладнання, що погіршує тепловідведення та підвищує ймовірність перегріву.

Отже, під час виконання кваліфікаційної роботи основними небезпечними та шкідливими факторами є підвищене зорове навантаження, статичне навантаження на опорно-руховий апарат, нервово-емоційне напруження, несприятливі параметри мікроклімату, недостатнє освітлення, ризик ураження електричним струмом та пожежна безпека. Аналіз зазначених факторів є основою для розроблення заходів щодо забезпечення безпечних та комфортних умов праці під час роботи з комп'ютерною технікою.

4.2 Забезпечення безпеки життєдіяльності під час роботи з комп'ютерною технікою

Забезпечення безпечних умов праці під час роботи з комп'ютерною технікою є важливою складовою організації трудової діяльності користувача. Під час виконання кваліфікаційної роботи використовувалися персональний комп'ютер, спеціалізоване програмне забезпечення для програмування та моделювання, а також системи штучного інтелекту для генерації та аналізу

даних. Тривала робота з електронно-обчислювальною технікою потребує створення комфортних та безпечних умов праці, які забезпечують збереження здоров'я працівника, підтримання високої працездатності та запобігання професійним захворюванням.

Однією з основних вимог є правильна організація робочого місця користувача персонального комп'ютера. Робоче місце повинно бути обладнане таким чином, щоб забезпечувати зручне розташування монітора, клавіатури, маніпулятора «миша» та інших технічних засобів. Монітор рекомендується встановлювати безпосередньо перед користувачем на відстані 50–70 см від очей. Верхня межа екрана повинна знаходитися на рівні очей або дещо нижче, що дозволяє зменшити навантаження на шийний відділ хребта та органи зору.

Важливим елементом безпечної роботи є дотримання ергономічних вимог до меблів. Робочий стіл повинен забезпечувати достатню площу для розміщення обладнання та документів. Висота столу повинна відповідати зросту користувача та забезпечувати комфортне положення рук під час роботи. Робоче крісло має бути регульованим за висотою, кутом нахилу спинки та положенням сидіння. Це дозволяє підтримувати фізіологічно правильне положення тіла та зменшує навантаження на хребет і суглоби.

Під час роботи за комп'ютером особливу увагу необхідно приділяти профілактиці зорової втоми. Тривале спостереження за екраном монітора призводить до зменшення частоти моргання, пересихання слизової оболонки очей та погіршення акомодатції. Для зниження негативного впливу рекомендується використовувати монітори з високою роздільною здатністю, правильно налаштовувати яскравість і контрастність зображення та уникати відблисків на екрані. Крім того, доцільно періодично виконувати спеціальні вправи для очей, які сприяють розслабленню очних м'язів та відновленню працездатності.

Не менш важливим заходом є організація раціонального режиму праці та відпочинку. Тривала безперервна робота за комп'ютером призводить до

накопичення фізичної та психоемоційної втоми. Для запобігання негативним наслідкам рекомендується через кожні 50–60 хвилин роботи робити короткі перерви тривалістю 5–10 хвилин. Під час таких перерв доцільно виконувати розминку для м'язів ший, плечового поясу та спини, а також вправи для очей. Регулярна зміна виду діяльності сприяє зниженню навантаження на організм та підвищує ефективність праці.

Для створення комфортних умов роботи необхідно забезпечити належні параметри мікроклімату приміщення. Температура повітря повинна підтримуватися на рівні, що забезпечує комфортне самопочуття працівника, а відносна вологість має запобігати пересиханню слизових оболонок. Особливо важливим є забезпечення достатньої вентиляції приміщення, оскільки тривале перебування у замкнутому просторі з недостатнім повітрообміном може призводити до швидкої втоми, зниження концентрації уваги та погіршення загального самопочуття.

Одним із ключових факторів забезпечення безпечних умов праці є правильна організація освітлення. Робоче місце повинно мати достатній рівень природного та штучного освітлення. Джерела світла необхідно розміщувати таким чином, щоб уникнути утворення відблисків на екрані монітора та забезпечити рівномірне освітлення робочої поверхні. Недостатнє або надмірне освітлення негативно впливає на органи зору та може призводити до швидкої втоми користувача.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграє дотримання вимог електробезпеки. Усе обладнання повинно експлуатуватися відповідно до технічної документації виробника та бути підключеним до справної електромережі. Не допускається використання пошкоджених кабелів живлення, несправних розеток або несертифікованих подовжувачів. Для захисту користувачів від аварійних ситуацій рекомендується застосовувати автоматичні вимикачі та пристрої захисного відключення.

Сучасні умови роботи з інформаційними технологіями також вимагають врахування психофізіологічних аспектів безпеки. Робота з програмним кодом, математичними моделями, системами штучного інтелекту та тривимірними моделями потребує високого рівня концентрації уваги та тривалого інтелектуального навантаження. Для запобігання психоемоційному перевантаженню доцільно планувати робочий час, чергувати різні види діяльності та забезпечувати достатній рівень відпочинку.

Під час виконання даної кваліфікаційної роботи особливого значення набуває використання ресурсомістких програмних засобів, таких як Python для реалізації генетичного алгоритму та SolidWorks для створення тривимірних моделей. Тому важливо контролювати технічний стан комп'ютерного обладнання, своєчасно очищати системні блоки від пилу, забезпечувати належне охолодження процесора та інших компонентів, а також не допускати перегріву обладнання під час виконання складних обчислювальних задач.

Отже, забезпечення безпечних умов праці під час роботи з комп'ютерною технікою ґрунтується на комплексному врахуванні ергономічних, санітарно-гігієнічних, технічних та психофізіологічних вимог. Дотримання зазначених заходів дозволяє мінімізувати вплив шкідливих факторів, підтримувати високу працездатність користувача та створювати комфортні умови для виконання робіт, пов'язаних із розробленням інтелектуальних систем генерації та оптимізації дизайну виробів.

4.3 Заходи пожежної безпеки в приміщенні з комп'ютерною технікою

Під час виконання робіт, пов'язаних із використанням комп'ютерної техніки, важливим аспектом забезпечення безпечних умов праці є дотримання вимог пожежної безпеки. Незважаючи на відсутність відкритих джерел вогню, у приміщеннях із персональними комп'ютерами та периферійним обладнанням існує ризик виникнення пожежі внаслідок несправності електрообладнання або порушення правил його експлуатації.

Основними причинами виникнення пожеж у приміщеннях із комп'ютерною технікою можуть бути короткі замикання електричних мереж, перевантаження електропроводки, пошкодження ізоляції кабелів, несправність електрообладнання, використання несертифікованих подовжувачів або блоків живлення, а також недотримання правил експлуатації електротехнічних засобів.

Для запобігання виникненню пожеж необхідно забезпечити справний технічний стан електрообладнання та електромережі. Персональні комп'ютери, монітори, мережеве обладнання та інші електроприлади повинні проходити періодичний огляд і технічне обслуговування. Забороняється використовувати обладнання з пошкодженими кабелями живлення або ознаками перегріву.

Особливу увагу необхідно приділяти стану електропроводки та навантаженню на електромережу. Підключення великої кількості електроприладів до однієї розетки або подовжувача може призвести до перегріву провідників та виникнення аварійної ситуації. Усі електричні кола повинні бути обладнані автоматичними вимикачами захисту від короткого замикання та перевантаження.

У приміщенні повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння. Для гасіння загорянь електрообладнання доцільно використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники, які не пошкоджують електронні пристрої та можуть застосовуватися для гасіння електроустановок, що перебувають під напругою.

Важливим елементом пожежної безпеки є організація шляхів евакуації. Евакуаційні виходи повинні бути вільними та доступними для персоналу. Працівники повинні бути ознайомлені з планом евакуації та порядком дій у разі виникнення пожежі.

У випадку виявлення ознак загоряння необхідно негайно відключити електроживлення обладнання, повідомити пожежно-рятувальну службу, організувати евакуацію людей із небезпечної зони та за можливості розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння.

Таким чином, дотримання вимог пожежної безпеки, справний технічний стан електрообладнання, використання засобів захисту та наявність первинних засобів пожежогасіння дозволяють мінімізувати ризик виникнення пожежі та забезпечити безпечні умови праці під час роботи з комп'ютерною технікою.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне завдання розроблення системи генерації та оптимізації дизайну виробів на основі генеративних моделей ШІ та еволюційних алгоритмів. Проведені дослідження були спрямовані на автоматизацію процесу створення нових форм екструдованих снекових виробів із урахуванням технологічних обмежень виробництва та можливості подальшого проектування формоутворюючої оснастки.

У результаті аналізу предметної області досліджено сучасні підходи до комп'ютерного проектування виробів, методи параметричного моделювання, генеративного дизайну та застосування генеративних моделей ШІ в задачах створення нової продукції. Встановлено перспективність використання еволюційних алгоритмів для автоматизованого пошуку нових геометричних конфігурацій виробів.

Для реалізації поставленої мети сформовано базу із 17 вихідних форм екструдованих снекових виробів та розроблено їх параметричний опис. Запропонований підхід дозволив представляти геометрію виробів у вигляді набору параметрів, придатних для подальшої автоматизованої модифікації та оптимізації.

Розроблено програмну систему мовою Python, яка реалізує генетичний алгоритм генерації нових конструктивних рішень. У процесі роботи алгоритму використовувалися механізми відбору, схрещування та мутації параметрів виробів, що забезпечило формування нових варіантів геометрії на основі вихідної множини форм.

За результатами оптимізації отримано вісім нових форм снекових виробів: турбінний конус, спіральне кільце, порожнистий циліндр, пентагон з отвором, спіральний та класичний гребінці, хвилястий трикутник і спіральний трикутник. Аналіз результатів показав високу ефективність запропонованого підходу,

оскільки значення функції пристосованості для всіх отриманих конструкцій перевищили 0,999.

Для візуального оцінювання отриманих результатів використано генеративну модель DALL·E, за допомогою якої сформовано фотореалістичні зображення оптимізованих виробів. Це дозволило виконати попередню оцінку зовнішнього вигляду нових форм без необхідності виготовлення фізичних прототипів.

З метою перевірки можливості практичної реалізації розроблених конструкцій у середовищі SolidWorks виконано проектування формоутворюючої матриці для виготовлення спірального трикутного виробу. Результати моделювання підтвердили можливість використання отриманих геометричних рішень у технологічному процесі екструзійного виробництва.

У розділі охорони праці проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час роботи з комп'ютерною технікою, розглянуто вимоги до організації безпечного робочого місця користувача персонального комп'ютера, а також запропоновано заходи щодо забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки та збереження працездатності під час виконання проектних робіт.

Отримані результати підтверджують доцільність використання методів ІШ, генетичних алгоритмів та сучасних CAD-систем для автоматизації процесу проектування нових виробів. Запропонований підхід може бути використаний для створення нових видів снєкової продукції та адаптований для розв'язання аналогічних задач генеративного проектування в інших галузях промисловості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Altinkaynak A. Three dimensional finite element simulation of polymer melting and flow in a single-screw extruder: optimization of screw channel geometry. Izmir Institute of Technology, 2010.
2. Riaz, M. N. (2000). Extruders in Food Applications. CRC Press.
3. Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (Eds.). (2020). Extrusion Processing Technology: Food and Non-Food Biomaterials. Wiley.
4. Nielsen, S. S. (2010). Food Processing: Principles and Applications. Wiley-Blackwell.
5. Rauwendaal C. Polymer Extrusion. 5th ed. Munich : Hanser Publishers, 2014. 950 p.
6. Guy R. Extrusion Cooking: Technologies and Applications. Cambridge : Woodhead Publishing, 2001. 288 p.
7. Fellows P. J. Food Processing Technology: Principles and Practice. 5th ed. Oxford : Woodhead Publishing, 2022. 1128 p.
8. Singh R. P. Introduction to Food Engineering. 6th ed. London : Academic Press, 2022. 922 p.
9. Groover M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 5th ed. New York : Pearson, 2020. 816 p.
10. Dassault Systèmes. SOLIDWORKS 2025 User Guide. Waltham : Dassault Systèmes, 2025.
11. Planchard D. SOLIDWORKS 2025 Tutorial. Mission : SDC Publications, 2025. 784 p.
12. Matthes E. Python Crash Course. 3rd ed. San Francisco : No Starch Press, 2023. 552 p.
13. Sarkar D., Bali R., Sharma T. Practical Machine Learning with Python. Apress, 2018. 545 p. URL: www.apress.com/978-1-4842-3206-4.
14. Zaki M. J., Meira W. Jr. Data mining and analysis : Fundamental Concepts and Algorithms. New York : Cambridge University Press, 2014. 604 p.

15. Didych I. S., Tymoshchuk D., Karpinski M. P., Mykytyshyn A., Stanko A. AI-driven intelligent system for bottle cap design generation // CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol. 4159. P. 188–197.
16. Yasniy O. P., Menou A., Mykytyshyn A., Kubashok V., Didych I. S. Application of neural network platforms for text-based image generation // CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3842. P. 232–240.
17. Штучний інтелект. Нейромережева обробка інформації: архітектури, навчання, застосування : навчальний посібник у 2-х ч. : Ч. 1 / О. Г. Руденко, О. О. Безсонов, С. П. Євсєєв, О. Б. Ахієзер, Ю. І. Зайцев ; за заг. ред. С. П. Євсєєва. – Харків : НТУ «ХПІ», – Львів : «Новий Світ-2000», 2025. – 426 с. – (Серія «Кібербезпека та штучний інтелект»).
18. Штучний інтелект. Нейромережева обробка інформації : архітектури, навчання, застосування : навчальний посібник у 2-х ч. : Ч. 2 / О. Г. Руденко, О. О. Безсонов, С. П. Євсєєв, О. Б. Ахієзер, Ю. І. Зайцев ; за заг. ред. С. П. Євсєєва. – Харків : НТУ «ХПІ», – Львів : «Новий Світ-2000», 2025. – 376 с. – (Серія «Кібербезпека та штучний інтелект»)
19. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge : MIT Press, 2016. 775 p.
20. Aggarwal C. C. Generative AI and Large Language Models: Fundamentals, Models, Applications, and Challenges. Cham : Springer, 2024. 641 p.
21. Foster D. Generative Deep Learning. 2nd ed. Sebastopol : O'Reilly Media, 2023. 504 p.
22. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Boston : Addison-Wesley, 1989. 432 p.
23. Eiben A. E., Smith J. E. Introduction to Evolutionary Computing. 2nd ed. Berlin : Springer, 2015. 311 p.
24. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів

- освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі: Гурик О.Я., Окіпний І.Б., Сенчишин В.С., Мариненко С.Ю., Король О.І. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с.
25. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт бакалаврів спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньої програми «Комп'ютеризовані системи управління та прикладне програмування» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, О.С. Голотенко – Тернопіль: ТНТУ, 2025. – 86 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Фрагменти програмного коду

```
import os
import cv2
import math
import random
import numpy as np
import pandas as pd

# =====
# НАЛАШТУВАННЯ
# =====

OUTPUT_DIR = "GA_SNACK_DESIGN_RESULTS"
PROFILE_DIR = os.path.join(OUTPUT_DIR, "01_profiles")
DATA_DIR = os.path.join(OUTPUT_DIR, "02_tables")
PROMPT_DIR = os.path.join(OUTPUT_DIR, "03_ai_prompts")

os.makedirs(PROFILE_DIR, exist_ok=True)
os.makedirs(DATA_DIR, exist_ok=True)
os.makedirs(PROMPT_DIR, exist_ok=True)

IMG_SIZE = 1000
CX, CY = IMG_SIZE // 2, IMG_SIZE // 2

POP_SIZE = 180
GENERATIONS = 120
MUTATION_RATE = 0.18
ELITE_COUNT = 24

random.seed(42)
np.random.seed(42)

# =====
# 17 БАЗОВИХ ФОРМ
# =====

BASE_DATASET = [
    {"id": 1, "base": "cone", "name": "Конус", "hollow": 0.60, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 5},
    {"id": 2, "base": "ring", "name": "Кільце", "hollow": 0.80, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 2},
    {"id": 3, "base": "tube", "name": "Трубка", "hollow": 0.80, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 8},
    {"id": 4, "base": "triangle", "name": "Трикутник", "hollow": 0.65, "wave": 0.05, "spiral": 0.05,
"ribs": 3},
    {"id": 5, "base": "pentagon", "name": "Пентагон", "hollow": 0.65, "wave": 0.05, "spiral": 0.05,
"ribs": 5},
```

```

    {"id": 6, "base": "comb", "name": "Гребінець", "hollow": 0.20, "wave": 0.55, "spiral": 0.10, "ribs": 5},
    {"id": 7, "base": "circle", "name": "Круг", "hollow": 0.10, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 0},
    {"id": 8, "base": "hexagon", "name": "Шестикутник", "hollow": 0.55, "wave": 0.05, "spiral": 0.05, "ribs": 6},
    {"id": 9, "base": "oval", "name": "Овал", "hollow": 0.35, "wave": 0.10, "spiral": 0.05, "ribs": 2},
    {"id": 10, "base": "tube", "name": "Рифлена трубка", "hollow": 0.85, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 12},
    {"id": 11, "base": "triangle", "name": "Трикутник з отвором", "hollow": 0.75, "wave": 0.10, "spiral": 0.05, "ribs": 3},
    {"id": 12, "base": "ring", "name": "Товсте кільце", "hollow": 0.70, "wave": 0.10, "spiral": 0.10, "ribs": 4},
    {"id": 13, "base": "comb", "name": "Хвиляста форма", "hollow": 0.20, "wave": 0.70, "spiral": 0.20, "ribs": 6},
    {"id": 14, "base": "cone", "name": "Порожнистий конус", "hollow": 0.80, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 6},
    {"id": 15, "base": "pentagon", "name": "Пентагональний профіль", "hollow": 0.70, "wave": 0.05, "spiral": 0.10, "ribs": 5},
    {"id": 16, "base": "triangle", "name": "Трикутна трубка", "hollow": 0.80, "wave": 0.10, "spiral": 0.10, "ribs": 3},
    {"id": 17, "base": "ring", "name": "Кільце з отвором", "hollow": 0.85, "wave": 0.10, "spiral": 0.15, "ribs": 6},
]

```

```

FORM_TYPES = [
    "turbine_cone",
    "spiral_ring",
    "hollow_cylinder",
    "pentagon",
    "comb_spiral",
    "comb_classic",
    "wave_triangle",
    "spiral_triangle",
]

```

```

FORM_NAMES_UA = {
    "turbine_cone": "Турбінний конус",
    "spiral_ring": "Спіральне кільце",
    "hollow_cylinder": "Порожнистий циліндр",
    "pentagon": "Пентагон з отвором",
    "comb_spiral": "Гребінець спіральний",
    "comb_classic": "Гребінець класичний",
    "wave_triangle": "Хвилястий трикутник",
    "spiral_triangle": "Спіральний трикутник",
}

```

```

PROMPTS = {

```

```

    "turbine_cone": "realistic golden-orange extruded corn snack, hollow turbine cone shape, spiral
    ribs, crunchy porous texture, seasoning specks, studio product photography, white background",
    "spiral_ring": "realistic golden-orange extruded corn snack, spiral ring shape, twisted ridges,
    hollow center, crunchy porous texture, seasoning specks, studio product photography, white
    background",
    "hollow_cylinder": "realistic golden-orange hollow cylindrical corn snack, ridged tube shape,
    porous crunchy texture, seasoning specks, studio product photography, white background",
    "pentagon": "realistic golden-orange pentagon-shaped corn snack with hollow center, puffed
    crunchy texture, seasoning specks, studio product photography, white background",
    "comb_spiral": "realistic golden-orange comb-shaped corn snack, continuous wavy extruded strip,
    crunchy porous texture, seasoning specks, studio product photography, white background",
    "comb_classic": "realistic golden-orange classic comb-shaped corn snack, one continuous wave
    body, rounded ridges, crunchy porous texture, seasoning specks, studio product photography, white
    background",
    "wave_triangle": "realistic golden-orange triangular corn snack, hollow center, wavy rounded
    edges, crunchy porous texture, seasoning specks, studio product photography, white background",
    "spiral_triangle": "realistic golden-orange triangular spiral corn snack, continuous spiral triangular
    form, crunchy porous texture, seasoning specks, studio product photography, white background",
    }

```

```

# =====
# ОСОБИНА
# =====

```

```

def infer_form_type(base):
    if base == "cone":
        return "turbine_cone"
    if base == "ring":
        return "spiral_ring"
    if base == "tube":
        return "hollow_cylinder"
    if base == "pentagon":
        return "pentagon"
    if base == "comb":
        return "comb_classic"
    if base == "triangle":
        return "wave_triangle"
    if base == "circle":
        return "spiral_ring"
    if base == "hexagon":
        return "pentagon"
    if base == "oval":
        return "hollow_cylinder"
    return random.choice(FORM_TYPES)

```

```

def create_individual_from_base(base_item):

```

```

return {
    "source_id": base_item["id"],
    "source_name": base_item["name"],
    "source_base": base_item["base"],
    "form_type": infer_form_type(base_item["base"]),
    "hollow": base_item["hollow"],
    "wave": base_item["wave"],
    "spiral": base_item["spiral"],
    "ribs": base_item["ribs"],
    "wall": random.uniform(0.50, 0.78),
    "scale_x": random.uniform(0.90, 1.08),
    "scale_y": random.uniform(0.90, 1.08),
    "taper": random.uniform(0.0, 0.45),
}

# =====
# ГЕНЕТИЧНІ ОПЕРАТОРИ
# =====

def mutate_form_type(form_type):
    transitions = {
        "wave_triangle": ["spiral_triangle", "pentagon"],
        "spiral_triangle": ["wave_triangle"],
        "spiral_ring": ["hollow_cylinder"],
        "hollow_cylinder": ["spiral_ring"],
        "comb_classic": ["comb_spiral"],
        "comb_spiral": ["comb_classic"],
        "turbine_cone": ["spiral_triangle"],
        "pentagon": ["wave_triangle"],
    }
    return random.choice(transitions.get(form_type, FORM_TYPES))

def mutate(ind):
    child = ind.copy()

    for key in ["hollow", "wave", "spiral", "wall", "scale_x", "scale_y", "taper"]:
        if random.random() < MUTATION_RATE:
            child[key] += random.uniform(-0.12, 0.12)

    if random.random() < MUTATION_RATE:
        child["ribs"] += random.choice([-1, 1, 2])

    child["hollow"] = float(np.clip(child["hollow"], 0.0, 1.0))
    child["wave"] = float(np.clip(child["wave"], 0.0, 0.95))
    child["spiral"] = float(np.clip(child["spiral"], 0.0, 1.0))

```

```

child["wall"] = float(np.clip(child["wall"], 0.42, 0.90))
child["scale_x"] = float(np.clip(child["scale_x"], 0.75, 1.20))
child["scale_y"] = float(np.clip(child["scale_y"], 0.75, 1.20))
child["taper"] = float(np.clip(child["taper"], 0.0, 1.0))
child["ribs"] = int(np.clip(child["ribs"], 0, 18))

if random.random() < 0.08:
    child["form_type"] = mutate_form_type(child["form_type"])

return child

def crossover(a, b):
    child = a.copy()

    for key in ["hollow", "wave", "spiral", "ribs", "wall", "scale_x", "scale_y", "taper"]:
        child[key] = a[key] if random.random() < 0.5 else b[key]

    if random.random() < 0.30:
        child["form_type"] = b["form_type"]

    child["source_id"] = a["source_id"]
    child["source_name"] = a["source_name"]

    return child

# =====
# ГЕОМЕТРИЯ
# =====

def blank():
    return np.zeros((IMG_SIZE, IMG_SIZE), dtype=np.uint8)

def smooth(mask, k=11):
    kernel = np.ones((9, 9), np.uint8)
    mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_CLOSE, kernel, iterations=2)
    mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_OPEN, kernel, iterations=1)
    mask = cv2.GaussianBlur(mask, (k, k), 0)
    _, mask = cv2.threshold(mask, 127, 255, cv2.THRESH_BINARY)
    return mask

def draw_tube(mask, points, radius):
    for p1, p2 in zip(points[:-1], points[1:]):
        cv2.line(mask, p1, p2, 255, radius * 2, cv2.LINE_AA)

```

```

for p in points:
    cv2.circle(mask, p, radius, 255, -1, cv2.LINE_AA)

return mask

def smooth_points(points, sigma=2.5):
    pts = np.array(points, dtype=np.float32)
    xs = cv2.GaussianBlur(pts[:, 0].reshape(-1, 1), (9, 1), sigma).flatten()
    ys = cv2.GaussianBlur(pts[:, 1].reshape(-1, 1), (9, 1), sigma).flatten()
    return [(int(x), int(y)) for x, y in zip(xs, ys)]

def polygon_points(n, radius, sx=1.0, sy=1.0, rotation=-math.pi / 2):
    pts = []
    for i in range(n):
        a = rotation + 2 * math.pi * i / n
        x = int(CX + radius * sx * math.cos(a))
        y = int(CY + radius * sy * math.sin(a))
        pts.append([x, y])
    return np.array(pts, dtype=np.int32)

def build_mask(ind):
    form = ind["form_type"]

    if form == "turbine_cone":
        return build_turbine_cone(ind)
    if form == "spiral_ring":
        return build_spiral_ring(ind)
    if form == "hollow_cylinder":
        return build_hollow_cylinder(ind)
    if form == "pentagon":
        return build_pentagon(ind)
    if form == "comb_spiral":
        return build_comb(ind, spiral_style=True)
    if form == "comb_classic":
        return build_comb(ind, spiral_style=False)
    if form == "wave_triangle":
        return build_wave_triangle(ind)
    if form == "spiral_triangle":
        return build_spiral_triangle(ind)

    return blank()

```

```

def build_turbine_cone(ind):
    mask = blank()

    height = 560 * ind["scale_y"]
    width = 500 * ind["scale_x"]

    outer = np.array([
        [int(CX - width / 2), int(CY + height / 2)],
        [int(CX + width / 2), int(CY + height / 2)],
        [int(CX + width * 0.12), int(CY - height / 2)],
    ], dtype=np.int32)

    inner = np.array([
        [int(CX - width * 0.25), int(CY + height * 0.25)],
        [int(CX + width * 0.25), int(CY + height * 0.25)],
        [int(CX + width * 0.05), int(CY - height * 0.25)],
    ], dtype=np.int32)

    cv2.fillPoly(mask, [outer], 255)

    if ind["hollow"] > 0.45:
        cv2.fillPoly(mask, [inner], 0)

    ribs = max(7, min(14, ind["ribs"]))

    for k in range(ribs):
        pts = []
        phase = 2 * math.pi * k / ribs

        for i in range(120):
            t = i / 119
            y = int(CY + height * 0.42 - t * height * 0.86)
            local_width = width * 0.43 * (1 - t) + 35
            twist = 3.2 * ind["spiral"] * t
            x = int(CX + local_width * math.sin(phase + twist))
            pts.append((x, y))

        pts = smooth_points(pts, sigma=2.0)
        draw_tube(mask, pts, 9 + int(5 * ind["wall"]))

    return smooth(mask)

def build_spiral_ring(ind):
    mask = blank()

    R = int(220 * ind["scale_x"])

```

```

tube_radius = int(31 + 18 * ind["wall"])

pts = []
turns = 1.0 + 0.25 * ind["spiral"]

for i in range(560):
    t = i / 559
    angle = 2 * math.pi * turns * t
    r = R + 9 * math.sin(2 * math.pi * 4 * t)
    x = int(CX + r * math.cos(angle))
    y = int(CY + r * math.sin(angle))
    pts.append((x, y))

pts = smooth_points(pts, sigma=2.5)
draw_tube(mask, pts, tube_radius)

hole = int(115 + 40 * ind["hollow"])
cv2.circle(mask, (CX, CY), hole, 0, -1)

return smooth(mask)

def build_hollow_cylinder(ind):
    mask = blank()

    rx = int(310 * ind["scale_x"])
    ry = int(150 * ind["scale_y"])

    cv2.ellipse(mask, (CX, CY), (rx, ry), 0, 0, 360, 255, -1)

    hole_x = int(CX - rx * 0.60)
    cv2.ellipse(mask, (hole_x, CY), (int(rx * 0.33), int(ry * 0.58)), 0, 0, 360, 0, -1)

    ribs = max(8, min(18, ind["ribs"]))
    step = max(16, int((rx * 1.7) / ribs))

    for x in range(CX - rx + 35, CX + rx - 15, step):
        cv2.line(mask, (x, CY - ry + 12), (x, CY + ry - 12), 0, 3, cv2.LINE_AA)

    cv2.ellipse(mask, (CX, CY), (rx, ry), 0, 0, 360, 255, 8)
    cv2.ellipse(mask, (hole_x, CY), (int(rx * 0.33), int(ry * 0.58)), 0, 0, 360, 0, -1)

    return smooth(mask)

def build_pentagon(ind):
    mask = blank()

```

```

outer = polygon_points(5, 255, sx=ind["scale_x"], sy=ind["scale_y"])
inner = polygon_points(5, int(90 + 55 * ind["hollow"]), sx=ind["scale_x"], sy=ind["scale_y"])

cv2.fillPoly(mask, [outer], 255)
cv2.fillPoly(mask, [inner], 0)

return smooth(mask)

def build_comb(ind, spiral_style=False):
    mask = blank()

    length = int(520 * ind["scale_x"])
    amp = int(45 + 55 * ind["wave"])

    loops = 5 if spiral_style else 4
    if ind["ribs"] > 0:
        loops = max(3, min(5, ind["ribs"] // 3))

    pts = []

    for i in range(420):
        t = i / 419
        x = int(CX - length / 2 + t * length)

        if spiral_style:
            y = int(CY + amp * math.sin(2 * math.pi * loops * t + ind["spiral"] * 0.6 * math.pi * t))
        else:
            y = int(CY + amp * math.sin(2 * math.pi * loops * t))

        pts.append((x, y))

    pts = smooth_points(pts, sigma=2.5)
    draw_tube(mask, pts, int(32 + 15 * ind["wall"]))

    return smooth(mask)

def build_wave_triangle(ind):
    mask = blank()

    outer = [
        (CX, CY - int(280 * ind["scale_y"])),
        (CX - int(300 * ind["scale_x"]), CY + int(230 * ind["scale_y"])),
        (CX + int(300 * ind["scale_x"]), CY + int(230 * ind["scale_y"])),
    ]

```

```

inner = [
    (CX, CY - int(135 * ind["scale_y"])),
    (CX - int(145 * ind["scale_x"]), CY + int(105 * ind["scale_y"])),
    (CX + int(145 * ind["scale_x"]), CY + int(105 * ind["scale_y"])),
]

def side(p1, p2, amp, waves=5):
    x1, y1 = p1
    x2, y2 = p2

    dx = x2 - x1
    dy = y2 - y1
    length = math.hypot(dx, dy)

    nx = -dy / length
    ny = dx / length

    points = []

    for i in range(120):
        t = i / 119
        shift = amp * math.sin(2 * math.pi * waves * t)
        points.append([
            int(x1 + dx * t + nx * shift),
            int(y1 + dy * t + ny * shift),
        ])

    return points

outer_pts = []
inner_pts = []

amp_outer = 8 + 20 * ind["wave"]
amp_inner = 4 + 8 * ind["wave"]

for i in range(3):
    outer_pts += side(outer[i], outer[(i + 1) % 3], amp_outer)
    inner_pts += side(inner[i], inner[(i + 1) % 3], amp_inner)

outer_pts = np.array(smooth_points(outer_pts, sigma=2.0), dtype=np.int32)
inner_pts = np.array(smooth_points(inner_pts, sigma=2.0), dtype=np.int32)

cv2.fillPoly(mask, [outer_pts], 255)
cv2.fillPoly(mask, [inner_pts], 0)

return smooth(mask)

```

```

def build_spiral_triangle(ind):
    mask = blank()

    pts = []
    turns = 1.6 + 0.35 * ind["spiral"]

    for i in range(480):
        t = i / 479
        angle = 2 * math.pi * turns * t
        radius = 30 + 285 * t

        tri = 1 + 0.16 * math.cos(3 * angle)
        wave = 1 + 0.015 * ind["wave"] * math.sin(6 * angle)

        x = int(CX + radius * tri * wave * math.cos(angle))
        y = int(CY + radius * tri * wave * math.sin(angle))

        pts.append((x, y))

    pts = smooth_points(pts, sigma=2.8)
    draw_tube(mask, pts, int(34 + 16 * ind["wall"]))

    return smooth(mask)

# =====
# O3HAKI I FITNESS
# =====

def geometry(mask):
    contours, hierarchy = cv2.findContours(mask, cv2.RETR_CCOMP,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    area = int(np.sum(mask > 0))
    perimeter = sum(cv2.arcLength(c, True) for c in contours) if contours else 0

    holes = 0
    hole_area = 0

    if hierarchy is not None:
        for i, h in enumerate(hierarchy[0]):
            if h[3] != -1:
                holes += 1
                hole_area += cv2.contourArea(contours[i])

```

```

total = area + hole_area
porosity = hole_area / total if total > 0 else 0
compactness = 4 * math.pi * area / (perimeter ** 2) if perimeter > 0 else 0

```

```

return {
    "area": area,
    "perimeter": perimeter,
    "holes": holes,
    "hole_area": hole_area,
    "porosity": porosity,
    "compactness": compactness
}

```

```

def fitness(ind):
    mask = build_mask(ind)
    g = geometry(mask)

    manufacturability = 1.0

    if g["porosity"] > 0.65:
        manufacturability -= 0.25

    if g["perimeter"] > 7000:
        manufacturability -= 0.20

    if ind["wall"] < 0.45:
        manufacturability -= 0.15

    manufacturability = max(0.0, manufacturability)

    novelty = (
        0.35 * ind["spiral"] +
        0.35 * ind["wave"] +
        0.30 * min(ind["ribs"] / 16, 1)
    )

    structure = 1 - abs(g["porosity"] - 0.35)

    smoothness = 1.0

    if g["perimeter"] > 6500:
        smoothness -= 0.25

    if ind["wave"] > 0.90:
        smoothness -= 0.10

```

```

if ind["ribs"] > 18:
    smoothness -= 0.10

smoothness = max(0.0, smoothness)

score = (
    0.35 * manufacturability +
    0.25 * novelty +
    0.20 * structure +
    0.20 * smoothness
)

return score, g, manufacturability, novelty, structure, smoothness

# =====
# ЗБЕРЕЖЕННЯ
# =====

def save_profile(mask, filename):
    img = np.ones((IMG_SIZE, IMG_SIZE, 3), dtype=np.uint8) * 255

    snack_color = np.zeros_like(img)
    snack_color[:, :] = (25, 165, 240)

    noise = np.random.normal(0, 7, (IMG_SIZE, IMG_SIZE)).astype(np.int16)

    for c in range(3):
        snack_color[:, :, c] = np.clip(snack_color[:, :, c].astype(np.int16) + noise, 0, 255)

    dist = cv2.distanceTransform(mask, cv2.DIST_L2, 5)
    dist = cv2.normalize(dist, None, 0, 1, cv2.NORM_MINMAX)
    light = (dist * 45).astype(np.uint8)

    for c in range(3):
        snack_color[:, :, c] = np.clip(snack_color[:, :, c].astype(np.int16) + light, 0, 255)

    alpha = cv2.GaussianBlur(mask, (7, 7), 0) / 255.0
    alpha = alpha[:, :, None]

    img = (img * (1 - alpha) + snack_color * alpha).astype(np.uint8)

    cv2.imwrite(os.path.join(PROFILE_DIR, filename), img)

# =====
# ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ

```

```

# =====

def initial_population():
    population = []

    for base_item in BASE_DATASET:
        population.append(create_individual_from_base(base_item))

    while len(population) < POP_SIZE:
        base_item = random.choice(BASE_DATASET)
        ind = create_individual_from_base(base_item)
        ind = mutate(ind)
        population.append(ind)

    return population

def run_ga():
    population = initial_population()
    history = []

    for generation in range(1, GENERATIONS + 1):
        evaluated = []

        for ind in population:
            score, g, manuf, novelty, structure, smoothness = fitness(ind)
            evaluated.append((ind, score, g, manuf, novelty, structure, smoothness))

        evaluated.sort(key=lambda x: x[1], reverse=True)
        best = evaluated[0]

        history.append({
            "generation": generation,
            "best_score": best[1],
            "best_form": best[0]["form_type"],
            "best_source": best[0]["source_name"],
            "porosity": best[2]["porosity"],
            "novelty": best[4],
            "manufacturability": best[3],
            "smoothness": best[6],
        })

        elites = [x[0] for x in evaluated[:ELITE_COUNT]]
        new_population = elites.copy()

        while len(new_population) < POP_SIZE:
            p1, p2 = random.sample(elites, 2)

```

```

        child = crossover(p1, p2)
        child = mutate(child)
        new_population.append(child)

    population = new_population

    final_evaluated = []

    for ind in population:
        score, g, manuf, novelty, structure, smoothness = fitness(ind)
        final_evaluated.append((ind, score, g, manuf, novelty, structure, smoothness))

    final_evaluated.sort(key=lambda x: x[1], reverse=True)

    return final_evaluated, pd.DataFrame(history)

# =====
# БИДБИР 8 ФОРМ
# =====

def select_diverse_top(final_evaluated):
    selected = {}

    for form_type in FORM_TYPES:
        candidates = [
            item for item in final_evaluated
            if item[0]["form_type"] == form_type
        ]

        if candidates:
            candidates.sort(key=lambda x: x[1], reverse=True)
            selected[form_type] = candidates[0]

    backup = {
        "turbine_cone": create_individual_from_base(BASE_DATASET[0]),
        "spiral_ring": create_individual_from_base(BASE_DATASET[1]),
        "hollow_cylinder": create_individual_from_base(BASE_DATASET[2]),
        "pentagon": create_individual_from_base(BASE_DATASET[4]),
        "comb_spiral": create_individual_from_base(BASE_DATASET[12]),
        "comb_classic": create_individual_from_base(BASE_DATASET[5]),
        "wave_triangle": create_individual_from_base(BASE_DATASET[3]),
        "spiral_triangle": create_individual_from_base(BASE_DATASET[10]),
    }

    backup["turbine_cone"].update({"form_type": "turbine_cone", "spiral": 0.90, "ribs": 12, "hollow":
0.85, "wall": 0.62})

```

```

    backup["spiral_ring"].update({"form_type": "spiral_ring", "spiral": 0.92, "ribs": 12, "hollow":
0.88, "wall": 0.60})
    backup["hollow_cylinder"].update({"form_type": "hollow_cylinder", "ribs": 16, "hollow": 0.90,
"wall": 0.62})
    backup["pentagon"].update({"form_type": "pentagon", "hollow": 0.82, "wall": 0.60})
    backup["comb_spiral"].update({"form_type": "comb_spiral", "wave": 0.88, "spiral": 0.65, "ribs":
14, "wall": 0.58})
    backup["comb_classic"].update({"form_type": "comb_classic", "wave": 0.68, "ribs": 12, "wall":
0.62})
    backup["wave_triangle"].update({"form_type": "wave_triangle", "wave": 0.82, "hollow": 0.85,
"wall": 0.60})
    backup["spiral_triangle"].update({"form_type": "spiral_triangle", "spiral": 0.92, "wave": 0.55,
"ribs": 3, "wall": 0.60})

```

```

for form_type in FORM_TYPES:

```

```

    if form_type not in selected:

```

```

        ind = backup[form_type]

```

```

        score, g, manuf, novelty, structure, smoothness = fitness(ind)

```

```

        selected[form_type] = (ind, score, g, manuf, novelty, structure, smoothness)

```

```

return selected

```

```

# =====
# MAIN
# =====

```

```

def main():

```

```

    final_evaluated, history_df = run_ga()

```

```

    selected = select_diverse_top(final_evaluated)

```

```

    records = []

```

```

    prompt_text = ""

```

```

    for i, form_type in enumerate(FORM_TYPES, start=1):

```

```

        ind, score, g, manuf, novelty, structure, smoothness = selected[form_type]

```

```

        mask = build_mask(ind)

```

```

        filename = f"{i:02d}_{form_type}.png"

```

```

        save_profile(mask, filename)

```

```

    records.append({

```

```

        "id": i,

```

```

        "filename": filename,

```

```

        "name_ua": FORM_NAMES_UA[form_type],

```

```

        "source_id": ind["source_id"],

```

```

        "source_name": ind["source_name"],

```

```

        "source_base": ind["source_base"],
        "form_type": form_type,
        "hollow": ind["hollow"],
        "wave": ind["wave"],
        "spiral": ind["spiral"],
        "ribs": ind["ribs"],
        "wall": ind["wall"],
        "scale_x": ind["scale_x"],
        "scale_y": ind["scale_y"],
        "taper": ind["taper"],
        "area": g["area"],
        "perimeter": g["perimeter"],
        "holes": g["holes"],
        "porosity": g["porosity"],
        "compactness": g["compactness"],
        "manufacturability": manuf,
        "novelty": novelty,
        "structure": structure,
        "smoothness": smoothness,
        "fitness_score": score,
    })

    prompt_text += f"{filename}\n"
    prompt_text += PROMPTS[form_type]
    prompt_text += "\n\n"

    df = pd.DataFrame(records)

    df.to_csv(os.path.join(DATA_DIR, "final_selected_designs.csv"), index=False, encoding="utf-8-
sig")
    history_df.to_csv(os.path.join(DATA_DIR, "ga_history.csv"), index=False, encoding="utf-8-
sig")
    pd.DataFrame(BASE_DATASET).to_csv(os.path.join(DATA_DIR,
"base_dataset_17_samples.csv"), index=False, encoding="utf-8-sig")

    with open(os.path.join(PROMPT_DIR, "ai_prompts_for_realistic_rendering.txt"), "w",
encoding="utf-8") as f:
        f.write(prompt_text)

    print("Готово!")
    print("Результати збережено у папці:", OUTPUT_DIR)
    print(df[["id", "name_ua", "source_name", "fitness_score", "porosity", "novelty", "smoothness"]])

if __name__ == "__main__":
    main()

```