

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Підвищення експлуатаційних властивостей деталі

(назва теми)

«Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну»

Виконала: студентка) 2 курсу, групи Мз-113м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ЧУМАК І.М.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТРИШИН П.Р.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Факультет Машинобудівний  
 Кафедра «Технологія машинобудування»  
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)  
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
(код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

ЧУМАК Інні Миколаївні

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Підвищення експлуатаційних властивостей деталі «Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. ТРИШИН Павло Романович,  
(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» жовтня 2024 року №443

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=5000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Основи генеративного дизайну; 2. Автоматизація проєктування за допомогою використання програмного забезпечення з функцією генеративного дизайну; 3. Підвищення експлуатаційних властивостей деталі «Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну; 4. Технологічна частина; 5. Конструкторська частина; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції.

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

Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів - \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	ТРИШИН П.Р. к.т.н., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В. к.т.н., доц.		
Нормоконтроль	ДЯДЯ С І к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2024 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Основи генеративного дизайну	22.09.2024	
2	Технологічна частина	08.10.2024	
3	Автоматизація	15.10.2024	
4	Конструкторська частина	22.10.2024	
5	Розрахунок на міцність	05.11.2024	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2024	
8	Нормоконтроль	04.12.2024	
9	Рецензія	05.12.2024	
10	Захист дипломного проекту	12.12.2024	

Студентка

\_\_\_\_\_ Інна ЧУМАК  
( підпис ) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ Павло ТРИШИН  
( підпис ) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 93 с., 51 рис., 25 табл., 2 додатки, 18 джерел.

КОРПУС ПІДШИПНИКА, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – деталь «Корпус підшипника».

Мета роботи – підвищити експлуатаційні властивості деталі «Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну.

Методи дослідження – метод генеративного дизайну та топологічного проектування; метод системного аналізу; методи інженерної механіки; розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки.

В магістерській роботі удосконалено конструкцію деталі «Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну, що призвело до підвищення експлуатаційних властивостей, проведено порівняльні розрахунки деталі базової та нової конструкції на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, розроблено технологію її виготовлення деталі, обрано сучасне обладнання з ЧПК, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, запропоновані рекомендації та програмне забезпечення для автоматизації проектування, спроектовано робоче пристосування для свердління отворів та контрольне пристосування для контролю биття, розроблено керуючу програму для операцій з ЧПК.

## ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1. Основи генеративного дизайну.....	9
1.1 Основні положення.....	9
1.2 Застосування генеративного дизайну.....	12
2 Автоматизація проектування за допомогою використання програмного забезпечення з функцією генеративного дизайну.....	19
2.1 Fusion 360.....	20
2.2 ANSYS Discovery.....	22
2.3 Creo Generative Design .....	25
2.4 nTopology.....	26
2.5 Catia.....	29
2.6 Altair .....	30
2.7 NX .....	32
2.8 Hexagon Apex .....	34
2.9 Synera .....	35
2.10 CogniCAD .....	36
3. Підвищення експлуатаційних властивостей деталі «Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну.....	38
4 Технологічна частина.....	42
4.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	42
4.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт.....	43
4.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	44
4.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	46
4.4.1 Вибір технологічних баз.....	46
4.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	47

4.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	49
4.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	52
4.6 Розрахунок режимів різання.....	55
4.7 Технічне нормування операцій.....	61
4.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	63
5 Конструкторська частина.....	67
5.1 Проектування робочого пристосування.....	67
5.1.1 Конструкція та принцип роботи пристосування.....	67
5.1.2 Розрахунок пристосування.....	67
5.2 Проектування контрольного пристосування.....	70
5.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	70
5.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....	71
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	73
7 Заходи з охорони праці.....	85
Висновки .....	87
Перелік джерел посилання.....	88
Додаток А. Специфікація робочого пристосування .....	90
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування.....	92

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

AB – адитивне виробництво

BM – лиття по витоплюваним моделям

ГД – генеративного дизайну

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МН – машинне навчання

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ПФ – лиття в піщані форми

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ЧПК – числове програмне керування

ШІ – штучний інтелек

GTO – розширення Generative Topology Optimization

GDX – розширення Generative Design Extension

SLM – селективне лазерне плавлення

## ВСТУП

Сучасне авіабудування ставить перед конструкторами все більш жорсткі вимоги щодо оптимізації ваги та підвищення ефективності деталей і вузлів. Одним з важливих елементів авіаційних двигунів є підшипники, які забезпечують надійність та безперебійну роботу механізмів при високих навантаженнях і екстремальних умовах експлуатації. Оптимізація конструкції корпусу підшипника є важливим завданням, оскільки маса цього елемента безпосередньо впливає на загальну вагу двигуна, а отже, і на його ефективність, витрату палива та аеродинамічні характеристики.

Одним з перспективних підходів до вирішення цієї задачі є використання генеративного дизайну – інноваційної методології, що дозволяє автоматизовано генерувати оптимальні конструкції на основі заданих технічних вимог. У цій роботі пропонується вдосконалена конструкція корпусу підшипника, розроблена за допомогою генеративного дизайну, яка дозволяє значно зменшити вагу деталі без втрати її запасу міцності та надійності. Таке рішення особливо актуальне для авіаційних двигунів, де мінімізація ваги є критично важливою, а забезпечення міцності та довговічності деталей – обов'язковою умовою для гарантії безпеки польотів.

Дослідження, представлене у даній дипломній роботі, спрямоване на аналіз процесу проектування корпусу підшипника з використанням генеративного дизайну та оцінку досягнутого зменшення ваги при збереженні необхідних механічних характеристик. Результати роботи можуть бути використані для подальшої оптимізації авіаційних компонентів, що дозволить покращити загальні показники ефективності авіаційних двигунів.

# 1 ОСНОВИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНУ

## 1.1 Основні положення

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (МН) мають величезний потенціал не тільки для прискорення та розширення процесу проектування, але й для відкриття його для конструкторів із меншим технічним досвідом. Хоча деякі елементи ШІ доступні в програмних продуктах для проектування та моделювання сьогодні, вони лише трохи охоплюють ті потреби, які необхідні в конструюванні [1].

Інтерес до програмного забезпечення для генеративного дизайну зростає, оскільки ці рішення стають все більш потужними, складними та доступними. Вони можуть значно прискорити час запуску у виробництво деталей та машин, використовуючи ШІ для автоматизації деяких найбільш трудомістких етапів проектування.

Параметричне проектування (створення проекту шляхом введення числових периметрів, тобто висоти, довжини, вартості, матеріалів, ваги тощо) та ШІ – це пов'язані, але різні концепції. Параметричне проектування дозволяє проектувальникам створювати гнучкі та легко модифіковані моделі, засновані на взаємопов'язаних та змінних розмірах та характеристиках. З іншого боку, ШІ має на увазі виконання завдань проектування, які зазвичай потребують людського інтелекту [2].

Генеративний дизайн, що є поєднанням двох підходів, використовує обчислювальні процеси для дослідження величезного (більшого, ніж люди можуть собі уявити) простору дизайну та створення безлічі (навіть тисяч) альтернативних варіантів дизайну.

Алгоритми, керовані ШІ, що використовуються в генеративному дизайні, можуть переміщатися по безлічі можливостей дизайну, враховуючи різні обмеження та цілі дизайну. Алгоритми, які «керуються ШІ», – це ті, що можуть коригувати внутрішні параметри для прогнозування чи прийняття рішень без

програмування. Алгоритми, керовані ШІ, можуть розпізнавати шаблони, які можуть бути відразу очевидні людям.

У контексті генеративного дизайну алгоритм на основі ШІ може використовувати методи машинного навчання для розуміння переваг у дизайні або навчання на історичних даних дизайну. Ці алгоритми можуть генерувати рішення на основі узагальнених знань з даних, а не дотримуватися конкретних наборів даних.

ШІ в генеративному дизайні не замінює інженера, але він звільняє його від повторюваних завдань і схильних до помилок множинних обчислень і усуває суперечливі обмеження дизайну, щоб зосередитися на інноваціях. Ця категорія програмного забезпечення не тільки заощаджує величезну кількість часу в життєвому циклі розробки продукту, але й надає більше альтернатив, ніж дизайнери-люди встигають створити або оцінити вручну, і, що важливіше, концепції, які ви, можливо, ніколи не вважали за можливі.

Автори дослідження [1] дійшли висновку, що якщо інженери-механіки хочуть отримати допомогу від ШІ для генерації нових ідей та конструкцій, їм доведеться спочатку переорієнтувати ці моделі зі статистичної схожості на інші пріоритети, такі як продуктивність, конструктивні обмеження та новизна.

Сьогоднішня обчислювальна потужність та унікальні проекти, доступні завдяки адитивному виробництву, відіграють велику роль у ширшому використанні цього програмного забезпечення. Для більш глибокого занурення в те, чим є або не є програмне забезпечення для генеративного дизайну.

До основних периметрів, які використовуються в генеративному дизайні для пошуку оптимальних рішень відносяться:

- 1) навантаження;
- 2) контакти;
- 3) матеріали;
- 4) обмеження щодо напруги та зміщення;
- 5) маса;
- 6) товщина стінки;

- 7) спосіб виготовлення;
- 8) доступний простір для дизайну;
- 9) витрати.

Єдиного визначення програмного забезпечення для генеративного дизайну немає. Постачальники в цій галузі використовують цей термін вільно, оскільки вони додають та удосконалюють функції у своїх програмних платформах.

Програмне забезпечення для генеративного дизайну – це мішаний пакет. Програмне забезпечення для генеративного проектування може містити вбудоване тестування та моделювання. Воно може надавати можливості для консолідації та полегшення деталей (рис. 1.1). Деякі продукти володіють кількома з цих атрибутів, але не використовують ярлик генеративний дизайн, що робить порівняння програмного забезпечення в цій категорії, що швидко розвивається складним завданням.



Рисунок 1.1 – Приклад генеративного дизайну [3]

По суті, ми ризикнемо сказати, що генеративний дизайн – це процес проектування, який використовує ШІ та обчислення для генерації результатів, настільки численних та різноманітних, що вони були б важкими, якщо не неможливими, для людини-дизайнера. Однак багато програмних продуктів, які ми представляємо нижче, відображають переконання, що генеративний дизайн – це просто використання алгоритмічних методів для перетворення вимог у геометрію та дизайн продукту. Вони не генерують десятки варіантів, а скоріше удосконалюють одну частину (що дуже схоже на параметричний дизайн).

Деякі пропозиції програмного забезпечення для генеративного проектування є автономними продуктами, а деякі є розширення в рамках більших інженерних платформ. У кожному разі, обидва вони відкривають шлях до ширшого дослідження потенційних проектних рішень; вони не обов'язково видають рішення, принаймні поки що. У деяких випадках згенерована частина може бути виготовлена безпосередньо як адитивним, так і субтрактивним способом, але частіше, залежно від надійності програмного забезпечення, ви отримаєте альтернативні варіанти дизайну, які потім надихають, які потім зможете розробити у своєму програмному забезпеченні CAD/CAE. Ви також можете отримати надійні інженерні дані, які можна використовувати для зміни та оптимізації базового проекту без необхідності його експорту в інше програмне забезпечення.

Експерти сходяться на думці, що програмне забезпечення для генеративного дизайну – це не автоматизоване проектування на основі штучного інтелекту, хоча воно може з'явитися в майбутньому. Це інструмент, що допомагає дизайнерам та інженерам економити час та розширювати можливості.

## 1.2 Застосування генеративного дизайну

NASA та Європейське космічне агентство (ESA) планують амбітний подвиг з місією з повернення зразків з Марса, щоб вперше безпечно доставити каміння і ґрунт із Марса назад на Землю – все це з метою з'ясувати, чи існувало будь-коли життя на планеті [2]. Очікуваний запуск нового марсіанського посадкового модуля NASA – 2027, а орбітального – 2028 рік. Передбачуване прибуття корабля, який відповість на наше питання про життя на Марсі, – 2033 рік. Тим часом є цілий потік нових проектів та інновацій, які зроблять подорож на Марс і назад бездоганною (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Деталі космічних апаратів NASA виготовлені з використанням генеративного проектування. Райан Макклелланд, інженер-дослідник NASA, демонструє кріплення, розроблене з використанням генеративного проектування (б) [2]

Newton Engineering and Product Development – одна з компаній, що допомагають розробляти ключові деталі для обладнання, призначеного для збирання зразків з Марсу. Вона використовує функцію генеративного проектування Fusion 360 розробки легких рішень, таких як шарнір кришки (рис. 1.3).

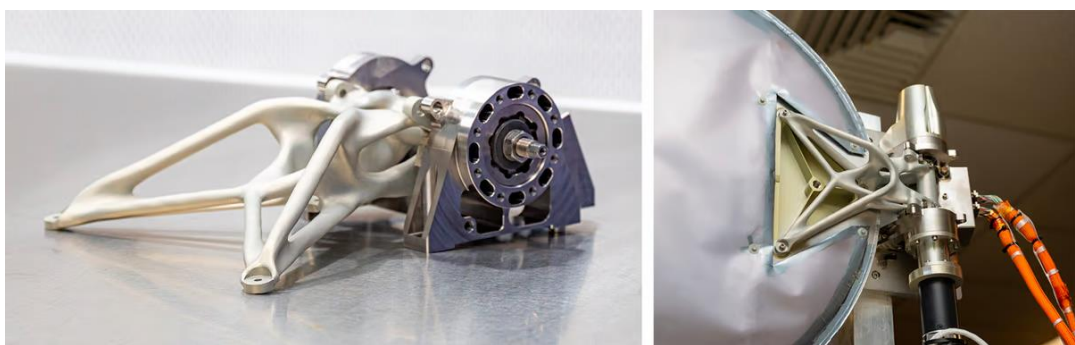


Рисунок 1.3 – Шарнір для проекту NASA Mars [4]

Techfit Digital Surgery створює імплантати, які підтримують кістки, що гояться. Потреби кожного пацієнта унікальні, незалежно від того, чи вони відновлюються після раку або серйозних травм. Компанія використовує Ansys

Discovery для вивчення різноманітних сценаріїв проектування. Інженери починають з унікальних даних сканування пацієнта (КТ, МРТ) та проектують для нього опори у цифровому вигляді. Потім програмне забезпечення може перевірити, чи ці індивідуальні опори відповідають необхідним механічним стандартам.

Коли італійський глобальний розробник ортопедії Lima Corporate розпочав розробку 3D-друкованого колінного суглоба (рис. 1.4), йому знадобилося програмне забезпечення, яке могло б включати його дані про характеристики, якими повинна мати колінна частина. Lima провела дослідження ходьби, які виявили навантаження, які має витримувати частину та її ідеальне розміщення у пацієнта. NX автоматично обчислив оптимальний обсяг решітки у частині, щоб гарантувати необхідну міцність та стійкість. Проектувальникам більше не потрібно було боротися з маніпуляціями з файлами STL, оскільки вони могли редагувати більшість характеристик частини за допомогою числових значень, які математично пов'язані з геометрією.

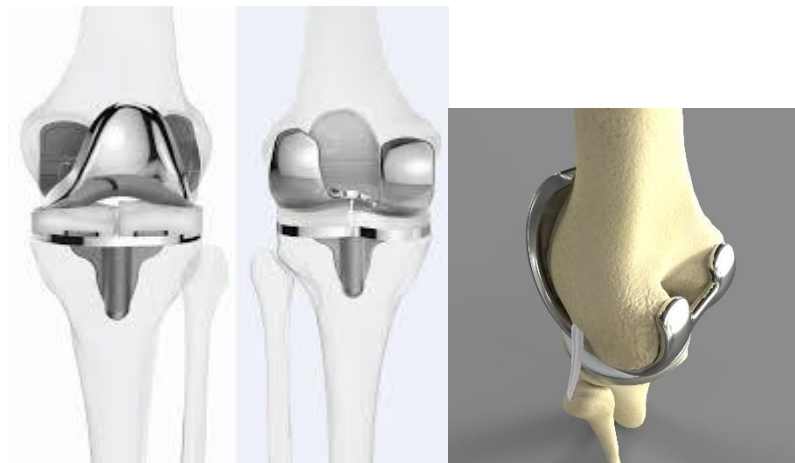


Рисунок 1.4 – 3D-друкований колінний суглоб [5]

Виробник електровелосипедів Xplorcycles розробив план оснащення наступного покоління своїх велосипедів електродвигуном. Щоб з'єднати електродвигун вагою 3,2 кг із рештою конструкції велосипеда, існувала конструкція для виробництва з використанням традиційних виробничих

процесів. Однак ця конструкція не підходила для дрібносерійного виробництва та додавала додаткову вагу. Щоб адаптувати деталь до адитивного виробництва (АВ), вони використовували Apex Generative Design для створення конструкції, готової до АВ, яка була на 55% легша. Виробник електровелосипедів Xplorcycles знайшов легке рішення для кріплення двигуна до своєї конструкції велосипеда, яке ідеально підходить для дрібносерійного виробництва (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Кріплення двигуна [6]

Силовий агрегат фургона, виготовлений IFA Group, оснащений центральним підшипником для приводного валу, розробленим за допомогою програмного забезпечення Synera. Він важить на 18 відсотків менше за свого попередника. І хоча нова деталь була розроблена на 80% швидше, вона жорсткіша і, отже, краще, ніж деталь, що використовувалася раніше.

Підшипник виготовлений компанією Henniges Automotive, яка використовувала Synera при розробці литої алюмінієвої деталі замість звичайного процесу проектування в автомобільній промисловості: зміни конструкції розраховуються, перевіряються та затверджуються у різних відділах компанії, потім результати повертаються розробнику та цикл починається заново.

Toyota стверджує, що інструменти генеративного дизайну Fusion 360 дозволили їй розробити більш тонку раму сидіння, звільнивши простір для ніг (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Рама сидіння [7]

Компанія Danco прагнула полегшити свої титанові рибальські кліщі, тому застосувала генеративний дизайн і вибрала варіант, який найкраще приємний на дотик і привабливий для очей (рис. 1.7)



Рисунок 1.7 – Рибальські кліщі [8]

MAN, німецький виробник автобусів та вантажівок, минулого року запустив проект під назвою «Disruptive Bus Concepts», в якому він прагнув переосмислити конструкцію деталей автобуса, включаючи задню вісь. Для дослідження конструкції задньої осі інженер MAN Амелі Жакмар-Пурсон використала програмне забезпечення для генеративного проектування від стартапу Elise. Ціль полягала в тому, щоб оптимізувати існуючу конструкцію задньої осі з точки зору продуктивності, вимог до полегшеної конструкції та виробництва. Концептуальна конструкція задньої осі автобуса MAN, створена за допомогою програмного забезпечення Elise, на 36% легша за поточну конструкцію (рис. 1.8)

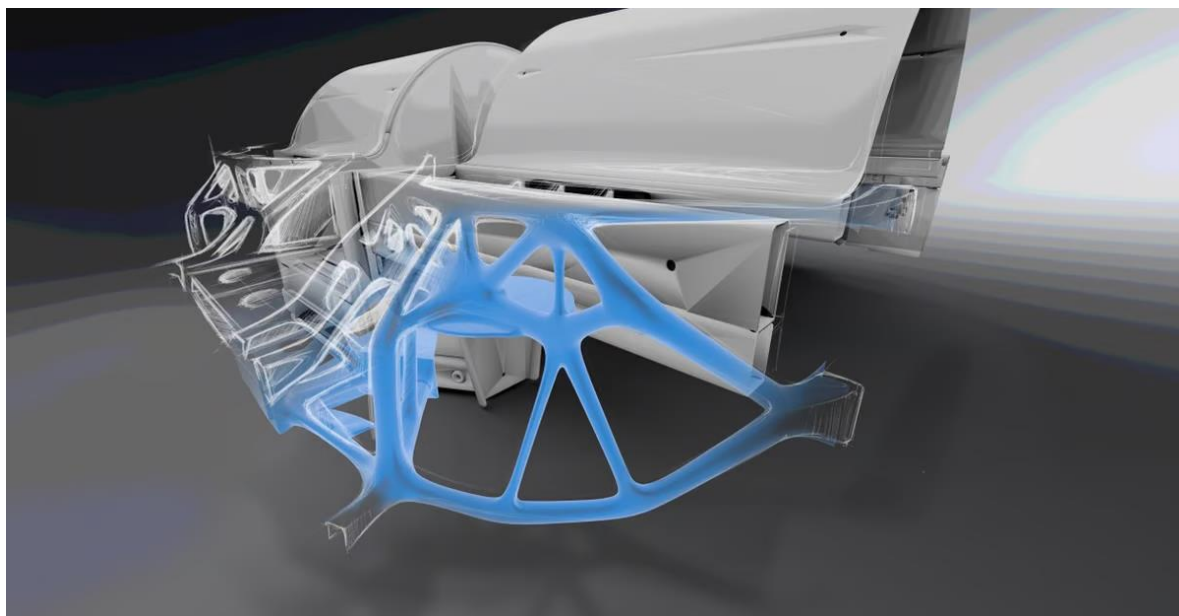


Рисунок 1.8 – Конструкція задньої осі [9]

Імпортувавши набір технічних параметрів для осі, що містить обмеження конструкції та виробництва, Elise створила задню вісь на 36% легше поточної конструкції, а також з покращеними механічними характеристиками. Результат виявився настільки переконливим, що MAN вирішила дослідити цей шлях. Вони заявили, що автоматична генерація різних концепцій, а також точніша оцінка варіантів з точки зору міцності та ваги, радикально скоротили час розробки. «У майбутньому ми розраховуємо скоротити час розробки готового компонента за

допомогою цього програмного забезпечення до 50%», – каже Мішель Тройцш, інженер-концептуаліст проекту Disruptive Bus Concepts у MAN pre-development.

## **2 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ФУНКЦІЄЮ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНУ**

За останні кілька років генеративний дизайн справив революцію в машинобудуванні та архітектурі. За своєю суттю генеративний дизайн надає набір можливих результатів із визначених параметрів. При використанні інструменту генеративного дизайну конструкторам потрібно лише провести вибір матеріалів, обмеження по вазі, міцності та інші параметри, що не підлягають обговоренню, які заплановані для певного проекту. Потім замість того, щоб надати тільки один можливий дизайн програмне забезпечення на основі заданих параметрів, інструменти генеративного дизайну пропонує широкий спектр дизайнерських рішень, оптимізованих під необхідні параметри. Завдяки використанню штучного інтелекту та інших передових технологій генеративний дизайн дозволив конструкторам значно оптимізувати процес, що дозволило їм набагато швидше конструювати нові деталі.

На сьогоднішній день основними програмами для моделювання, що використовують генеративний дизайн, є:

- 1) Fusion 360;
- 2) ANSYS Discovery;
- 3) Creo Generative Design;
- 4) nTopology;
- 5) Catia;
- 6) Altair;
- 7) NX;
- 8) Hexagon Apex;
- 9) Synera;
- 10) CogniCAD.

## 2.1 Fusion 360

Fusion 360 від Autodesk – один із найпопулярніших інструментів генеративного проектування, що працюють сьогодні (рис. 1.9). Платформа 3D, CAE, CAD та CAM завоювала велику популярність серед архітекторів, незважаючи на те, що спочатку вона була розроблена для машинобудування. Хмарний додаток відомий своїми комплексними інструментами для спільної роботи, що робить його ідеальним для великих команд, яким необхідний доступ до тих самих проектів. На додаток до всього, Fusion 360 надає інтегровані симуляції, які дозволяють тестувати проекти. Таким чином, інженери можуть уявити своїм замовникам реалістичний план дизайну, а не просто статичні креслення, які важко уявити в реальному світі.

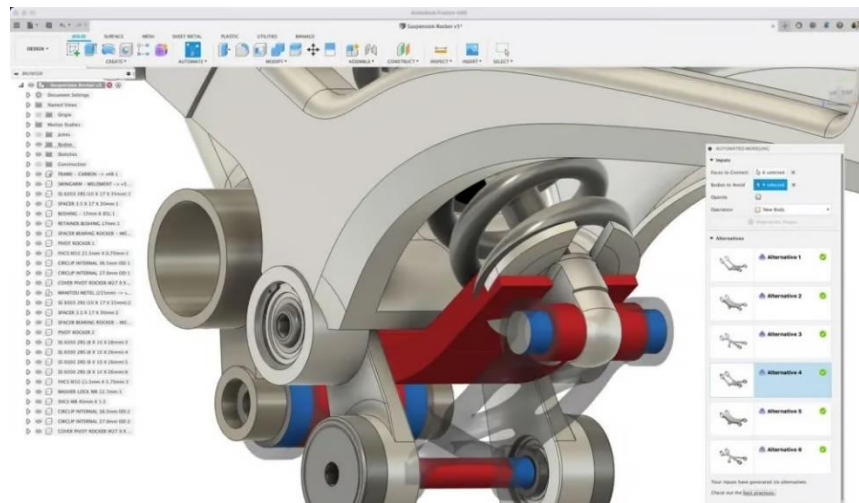


Рисунок 1.9 – Інтерфейс Fusion 360 [2]

У листопаді 2023 року Autodesk, видавець кількох платформ програмного забезпечення для проектування та виробництва, запусив «Autodesk AI». Це не конкретний продукт, а скоріше фокус на ШІ. Autodesk AI відноситься до можливостей, які вже представлені в його платформах, і обіцянки, що їх буде більше. З іншого боку, інструменти генеративного проектування у система автоматизованого проектування і розрахунку (САПР) Fusion 360 від Autodesk

швидко стають основним рішенням проєктувальників та інженерів продуктів. Технологія генеративного проєктування Autodesk, яка раніше була розширенням приблизно за 1600 доларів, а тепер є робочим простором, вбудованим у програмне забезпечення, дозволяє швидко досліджувати проєкт, одночасно генеруючи кілька рішень на основі виробничих обмежень, вартості та вимог до продуктивності продукту.

В останньому оновленні Fusion 360 компанія Autodesk додала новий рівень надійності до свого вирішувача у дослідженні структурних компонентів, щоб допомогти впоратися з геометричними поділами. Це оновлення зберігає простір проєктування пов'язаним і дозволяє вирішувачу виконувати подальші ітерації, зрештою даючи вам найкращий результат. Також є помітне поліпшення функції проєктування під назвою «Конфігурації», яка дозволяє повторно використовувати параметричну логіку для створення варіацій дизайну. Ви можете використовувати конфігурації для створення сімейства деталей у лінійці продуктів, визначення різних варіантів матеріалів та зовнішнього вигляду, створення складних варіантів складання або подання етапів у вашому виробничому робочому процесі.

Fusion 360 дозволяє досліджувати більше ідей за допомогою одного робочого процесу, який використовує «штучний інтелект, що враховує виробничий процес», щоб розширити можливості дизайну далеко за межі людської уяви без необхідності моделювати і перевіряти кожен з них окремо. Це допоможе розкрити можливості консолідації деталей, скорочення матеріалів, стійких конструкцій та порівняння виробничих витрат, щоб зіставити комерційні виробничі витрати з проєктними рішеннями.

Інструмент автоматизованого моделювання у Fusion 360 дозволяє швидко створювати та розглядати кілька варіантів дизайну для з'єднання двох або більше граней у проєкті. Цей інструмент призначений для підвищення креативності та продуктивності на ранніх етапах процесу проєктування.

Розширення Fusion 360 Generative Design від Autodesk створює альтернативні варіанти дизайну, які відповідають заданим критеріям (рис. 1.10).

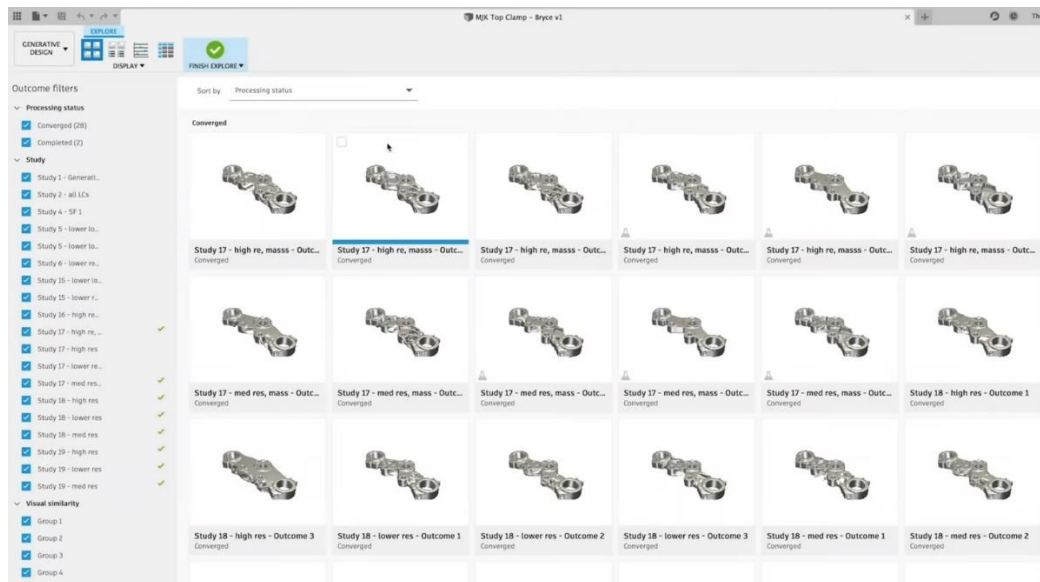


Рисунок 1.10 – Альтернативні варіанти дизайну [2]

## 2.2 ANSYS Discovery

ANSYS Discovery – це програмне забезпечення для 3D-моделювання, яке є вкрай корисним для інженерів, яким необхідно оцінювати конструкцію виробів, таких як двигуни, обладнання та механічні деталі (1.11).

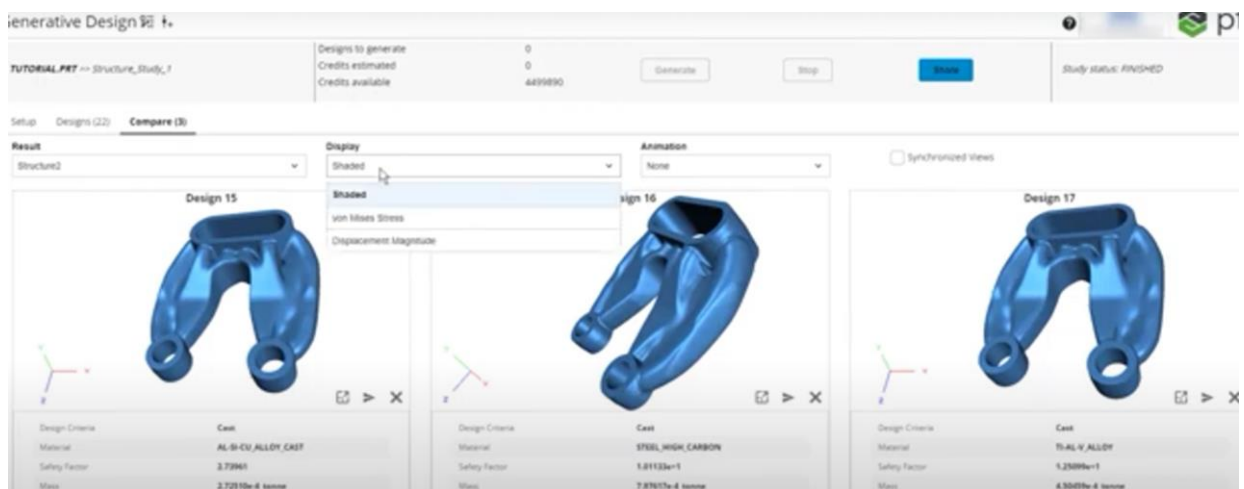


Рисунок 1.11 – Програмне забезпечення для генеративного дизайну Ansys Discovery [2]

Хоча можливості Ansys Discovery обмежені у порівнянні з іншими програмами, він знаходить широке застосування за інтерактивне геометричне моделювання, яке може виявитися дуже корисним для складних проектів.

Discovery – це надійне програмне забезпечення від Ansys, яке включає те, що компанія називає «проектуванням на основі моделювання». Ідеально підходить для генеративного проектування деталей та продуктів, таких як двигуни, обладнання та механічні деталі, яким необхідно мати функції, такі як потік повітря, потік рідини або керування теплом, на додаток до проектування. Discovery поєднує миттєве фізичне моделювання та інтерактивне геометричне моделювання на одній платформі (рис. 1.12).

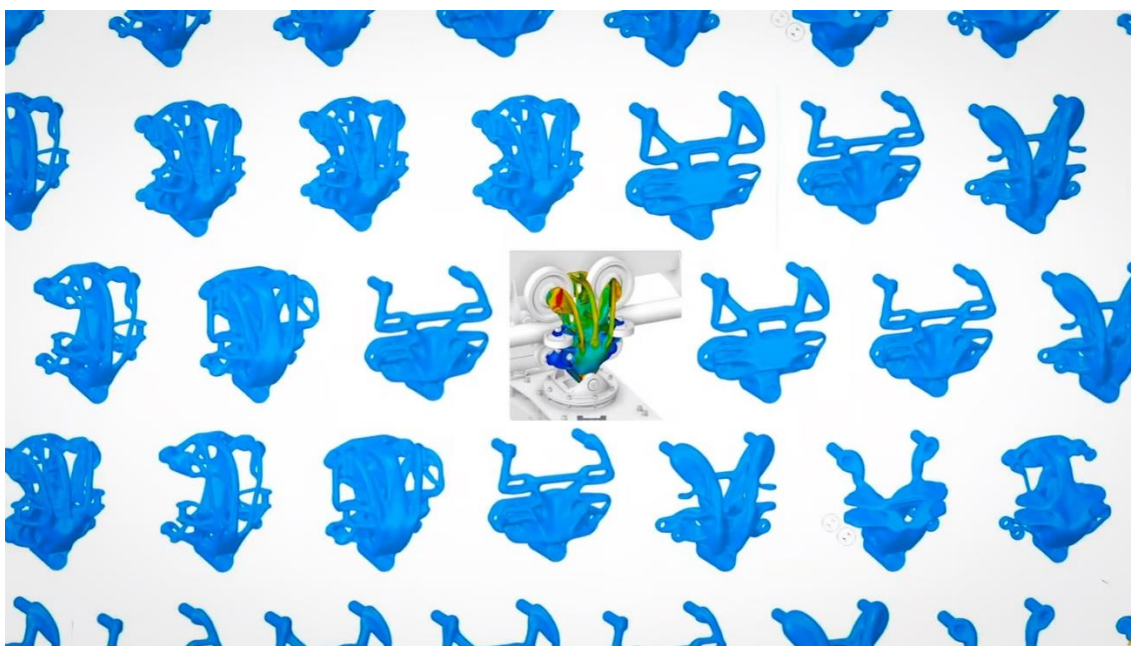


Рисунок 1.12 – Інтерфейс Ansys Discovery [2]

Ansys Discovery дозволяє інженерам швидко оцінювати сотні потенційних форм компонента за допомогою оптимізації топології та безлічі інших шляхів оптимізації на основі критеріїв. Ansys стверджує, що Discovery – це програмне забезпечення для 3D-моделювання з оптимізацією топології, тому ви не побачите слів "генеративний дизайн", але кінцевий результат той самий, стверджує компанія.

Компанія заявляє, що Ansys Discovery 2023 R2, випущений у липні 2023 року, включає нові функції, які допоможуть вам швидше та точніше впроваджувати інновації та досліджувати нові концепції продуктів. Є нова функція для автоматичного виявлення поширених проблем геометрії, які раніше заважали процесу моделювання, та угруповання їх у зручні для роботи категорії. Є також новий «механізм виправлення», який автоматично виправляє проблеми, у результаті виходить чиста, готова до моделювання геометрія з першого разу.

Ansys стверджує, що використовує методи штучного інтелекту та машинного навчання для автоматичного пошуку параметрів моделювання, щоб одночасно підвищити швидкість і точність, а також спрямовувати зусилля на оптимізацію продукту на ранніх етапах, допомагаючи інженерам швидко знаходити найкращу конструкцію на основі тисяч параметрів.

Змінюючи обмеження конструкції, умови навантаження та допустимі області, Discovery може створювати конструкції, які перетворюються на готові до використання в САПР моделі для адитивного виробництва. Інженери можуть досліджувати різні геометрії, матеріали та фізичні вхідні дані в рекордно короткий термін, щоб прийти до оптимальної топології для свого продукту.

Discovery дозволяє відповідати на питання дизайну на ранніх етапах процесу проектування. Цей початковий підхід до моделювання заощаджує час та зусилля на прототипування, оскільки ви досліджуєте кілька концепцій дизайну в режимі реального часу без необхідності чекати на результати моделювання.

У липні 2023 року компанія Ansys запустила Ansys GPT - віртуального помічника, навченого обробці природної мови. На відміну від звичайних віртуальних помічників на основі ШІ, таких як ChatGPT, які використовують непідтримувану інформацію, AnsysGPT навчається з використанням даних Ansys для генерації адаптованих, відповідних відповідей, взятих з надійних ресурсів Ansys, включаючи, крім іншого, курси інновацій Ansys, технічну документацію, статті у блогах та навчальні відео.

## 2.3 Creo Generative Design

Creo Generative Design від PTC - це розумна технологія, яка не просто представляє ідеальні варіанти дизайну для встановлених параметрів (рис. 1.13).

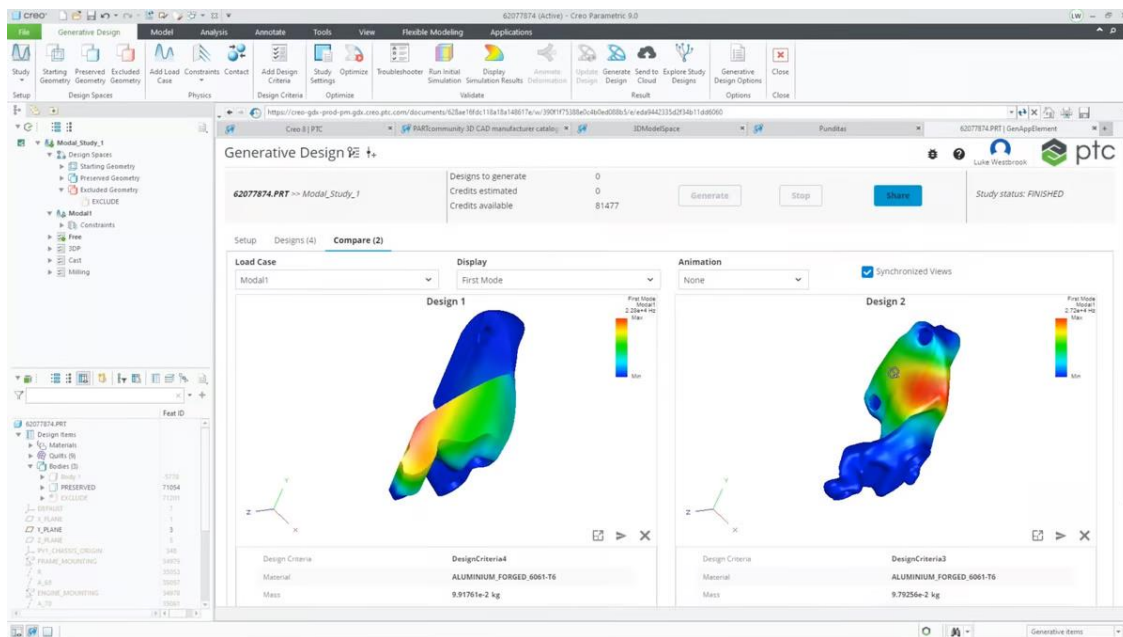


Рисунок 1.13 – Проектування в Creo [1]

Creo Generative Design створює оптимізовані проекти продуктів для одночасного вивчення безлічі варіантів (рис. 1.14)

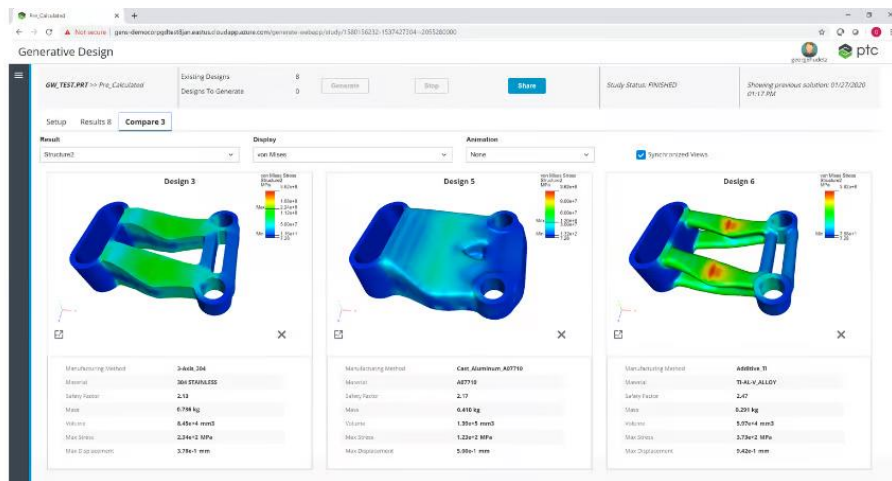


Рисунок 1.14 – Варіанти проекту [2]

Creo визначає генеративний дизайн як "можливість 3D CAD, яка використовує ШІ для автономного створення оптимальних проектів на основі набору вимог до проектування системи".

Розширення Generative Design Extension (GDX) компанії для її популярної програми CAD створює оптимізовані проекти продуктів для одночасного вивчення численних інноваційних варіантів дизайну з автоматичним виділенням кращих варіантів. Generative Design автоматично надає високоякісні, недорогі, виробничі проекти, і все це серед проектування Creo. У середовищі проектування Creo це програмне забезпечення обіцяє створювати високоякісні, недорогі та технологічні проекти за менший час, ніж у провідних конкурентів.

Розширення генеративного проектування Creo повністю інтегровані у середовище CAD/PLM/симуляції. Інші програмні рішення вимагають імпорту та експорту варіантів навантаження та геометрії. Рішення PTC повністю інтегроване в Creo і є невід'ємною частиною будь-якого робочого процесу проектування, від концепції до моделювання та виробництва.

Нове розширення Generative Topology Optimization (GTO) та хмарне Generative Design Extension допомагають оптимізувати проекти продуктів на основі обмежень та вимог, включаючи матеріали та виробничі процеси. З GTO можна швидко досліджувати інноваційні варіанти дизайну, щоб скоротити час розробки та витрати, все в середовищі Creo. А хмарний GDX дозволяє вам одночасно створювати кілька проектів із використанням різних матеріалів та виробничих сценаріїв, з виділенням найкращих варіантів для вашого огляду.

## 2.4 nTopology

nTopology – це більше, ніж просто оптимізація топології. Тим не менш, він пропонує інший бренд генеративного дизайну, ніж інші перераховані вище програми (рис. 1.15).

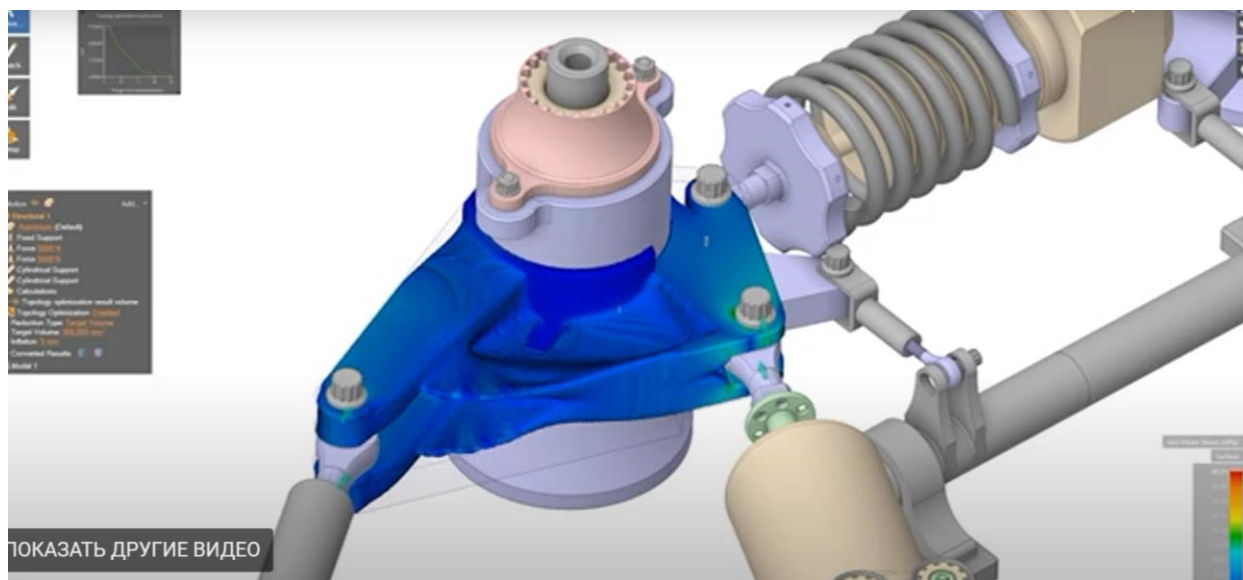


Рисунок 1.15 – Програмне забезпечення для генеративного дизайну nTopology [2]

nTopology – це платформа оптимізації, яка дозволяє створювати власні генеративні алгоритми на основі ваших конкретних вимог. Компанія прагне надати вам інструменти з необхідним рівнем контролю, щоб ви могли виконувати ітерації швидше та ефективніше, йдеться у ній. Ні, вона не видає десятки варіантів на вибір, але nTopology інтегрується з інструментами для написання скриптів, які це роблять. За даними nTopology, генеративний дизайн складається з трьох основних компонентів: генерація геометрії, оптимізація дизайну на основі обмежень та вимог та автоматизовані цикли проектування. nTopology побудований на унікальному движку неявного моделювання. У неявному моделюванні 3D-геометрія визначається як математична функція, а не як зовнішні поверхні та ребра. Ця функція дозволяє інженерам швидко створювати складні структури, такі як решітки або оболонки змінної товщини, забезпечуючи надійність, необхідну для живлення автоматизованих циклів проектування.

nTopology дозволяє інженерам накладати поля створення оптимізованих структур у методології проектування, яку компанія називає Field-Driven Design (рис. 1.16). Наприклад, результати моделювання можуть бути використані для

локального потовщення гратчастої структури або збільшення товщини оболонки в областях з більш високими напругами.

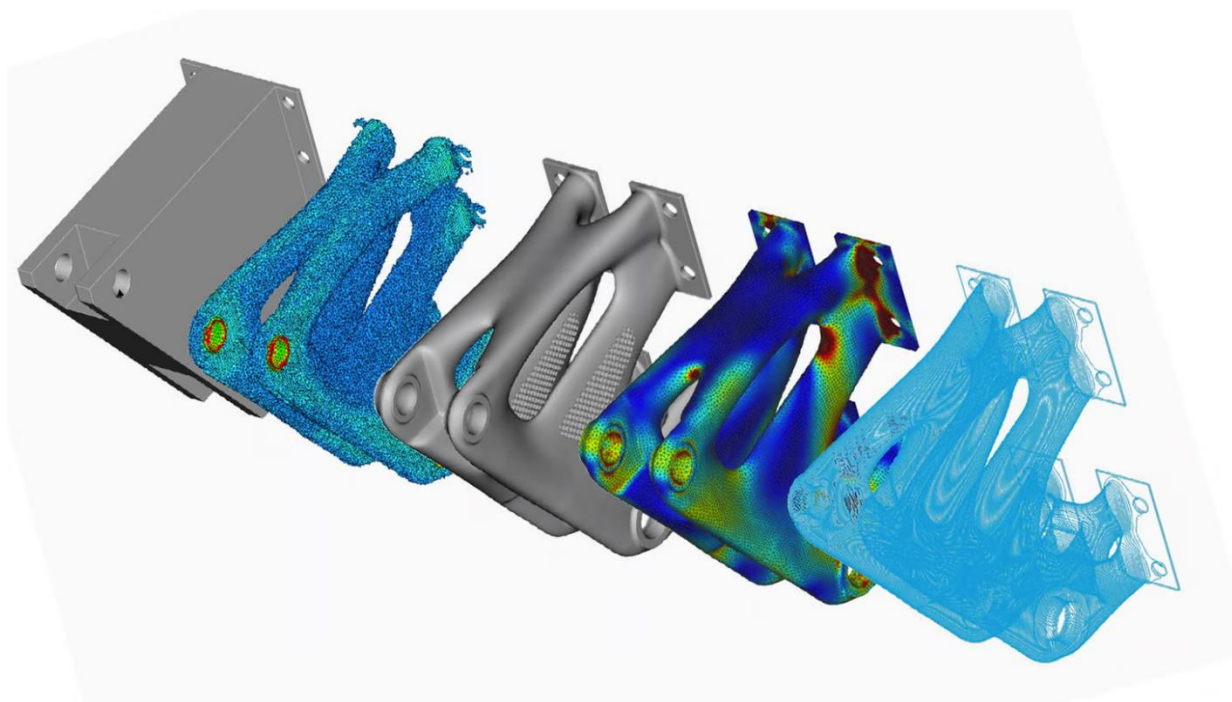


Рисунок 1.16 – Оптимізація структур в nTopology [2]

nTopology дає повний контроль більш ефективної ітерації параметрів. Замість того, щоб давати необмежений набір варіантів дизайну, програма може створювати власні алгоритми на основі вимог конкретного проекту. Наприклад, nTopology може допомогти знайти оптимальну товщину оболонки для області, щоб вона мала найменшу можливу вагу, а також показати максимальний прогин нижче певного граничного значення.

Наприклад, якщо ви хочете знайти найкраще значення товщини, щоб деталь мала мінімально можливу вагу, але також максимальний прогин нижче за певний поріг. У nTopology можна автоматично генерувати варіанти конструкції з 10 різними товщинами і вибирати той, який найкраще.

Зрештою, можливості автоматизації проектування програмного забезпечення дозволяють інженерам створювати повторно використовувані процеси, які автоматично перезапускаються при зміні вхідних змінних. Таким чином, ви можете швидко ітерувати та автоматично генерувати кілька

кандидатів на проектування та оцінювати їх відповідно до ваших інженерних вимог.

## 2.5 Catia

Catia – це багатоплатформний програмний пакет для автоматизованого проектування, виробництва, інжинірингу, 3D-моделювання та керування життєвим циклом продукту. Ця надійна платформа має функцію генеративного дизайну (ГД).

Функція генеративного проектування Catia дозволяє проектувальникам-нефахівцям автоматично генерувати оптимізовані концептуальні деталі з функціональних специфікацій (рис. 1.17)

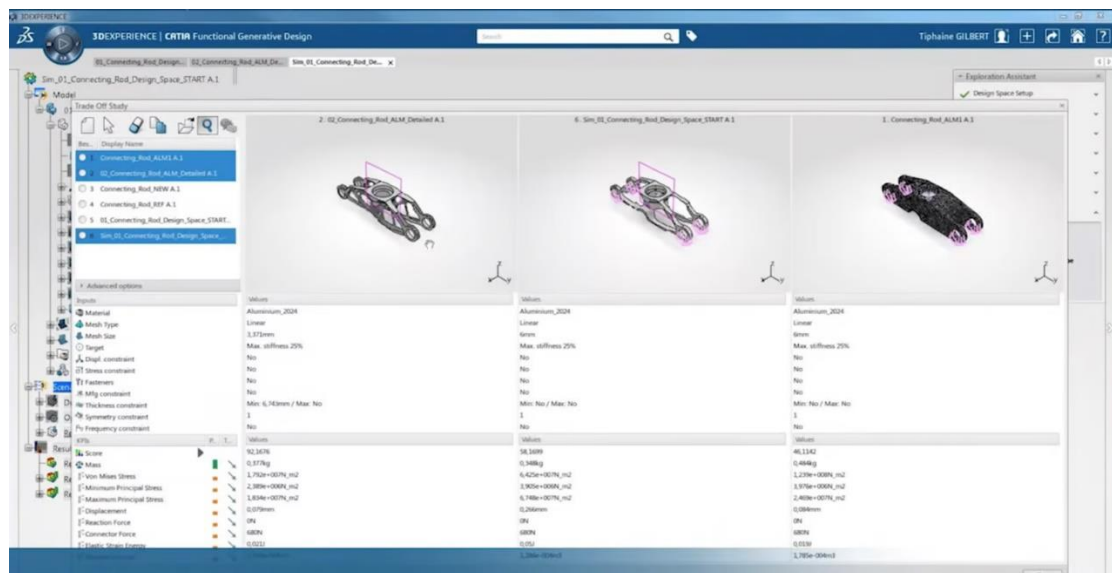


Рисунок 1.17 – Програма Catia [2]

На відміну від опцій, що автоматично генерують альтернативи дизайну, ГД пропонує багатоетапний, багатогалузевий підхід до встановлення периметрів. Він націлений на такі організації, як великі автовиробники, де проектування та

дизайн є багатопрофільним процесом, і у проектувальників може не бути досвіду у матеріалах чи методах виробництва для оптимізації компонента.

Інструмент дозволяє проектувальникам-нефахівцям автоматично генерувати оптимізовані концептуальні деталі із функціональних специфікацій. Починаючи з базової моделі форми, перевіряється її загальна функціональність, потім надаються функціональні специфікації, такі як матеріал, простір, навантаження, цілі зниження ваги та виробничий процес. ГД генерує оптимізовану деталь, яку потім можна завантажити в менеджер варіантів, який має інший набір критеріїв, які можна застосувати для створення альтернативних конструкцій.

## 2.6 Altair

Американська компанія Altair пропонує широкий спектр програмного забезпечення та хмарних рішень для проектування, моделювання та штучного інтелекту, а також інших областей, які можна застосовувати у ваших адитивних або традиційних виробничих процесах, таких як формування, лиття, екструзія металів, лиття пластмас та багато іншого (рис. 1.18)

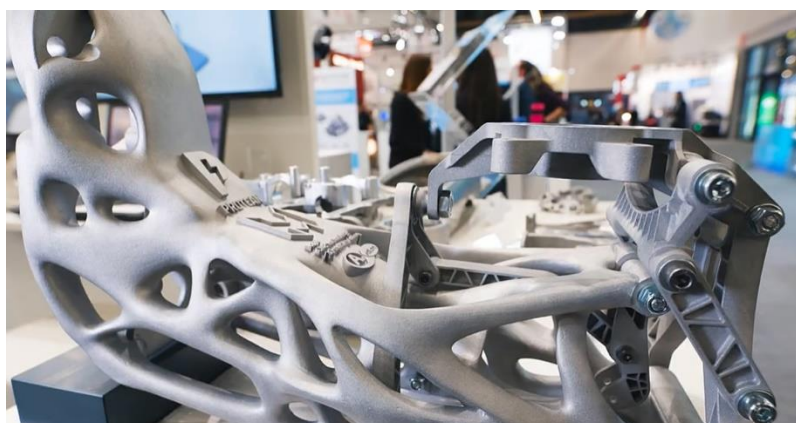


Рисунок 1.18 – Оптимізована конструкція важеля підвіски автомобіля з використанням генеративного проектування Altair [2]

Компанія DesignAI – це хмарна програма, яка об'єднує фізичне моделювання на основі проектування та машинне навчання на основі проектування на основі штучного інтелекту для створення високопотенційних проектів на ранніх етапах розробки. Ідея полягає в тому, щоб дати поштовх і розширити ваші методи розробки продуктів за допомогою технології штучного інтелекту для вивчення ширшого кола альтернативних варіантів дизайну нових продуктів. DesignAI може відхиляти низькопотенційні проекти на ранніх етапах розробки, оскільки він спирається на досвід вашої організації, спираючись на архівні дані моделювання та проекту.

HyperWorks Design Explorer від Altair дозволяє командам «поліпшити співпрацю, прискорити конвергенцію проектів та стимулювати інновації у продуктах за допомогою інструментів проектування на базі штучного

інтелекту». Автоматизуючи завдання, що повторюються за допомогою машинного навчання, Design Explorer виконує пряме моделювання для створення та редагування геометрії, вилучення серединних поверхонь, створення сіток поверхонь і серединних сіток, корекції якості сіток, а також управління збіркою та керівництва процесами.

Altair пропонує набір рішень для адитивного виробництва, включаючи Inspire, OptiStruct та Studio. Inspire – це сімейство програмних продуктів, що включає проектування на основі моделювання, генеративне проектування, оптимізацію топології та інші функції. OptiStruct більше орієнтований на оптимізацію топології для створення оптимальної пропозиції щодо проектування на основі визначеного користувачем простору проектування, цільових показників продуктивності та виробничих обмежень.

Програми Altair для технологічності продукції охоплюють програми, адаптовані для кількох галузей, включаючи автомобілебудування, аерокосмічну промисловість, електроніку, фармацевтику та важку промисловість. Фактично існує близько двох десятків програм моделювання, включаючи Inspire Print3D, яка призначена для створення структурно ефективних 3D-друкованих деталей з використанням селективного лазерного плавлення (SLM).

## 2.7 NX

Завдяки своєму бізнесу з управління життєвим циклом продукту та моделювання, Siemens тривалий час працювала з програмним забезпеченням, яке зрештою стало інструментами генеративного дизайну. Від генеративного дизайну Siemens перейшла до того, що вона називає генеративною інженерією, оскільки поєднує проектування, моделювання та виробництво на одній платформі.

Компанія заявляє, що платформа NX компанії поєднує у собі сумісність проектів, перевірку, визначення на основі моделей та багато іншого, щоб допомогти користувачам швидше та з меншими витратами проводити дослідження та розробки продуктів, одночасно підвищуючи якість продукції. Програмне забезпечення для проектування NX поєднує можливості оптимізації топології та моделювання в одному середовищі в рамках NX.

У 2022 році удосконалення у програмному забезпеченні для проектування NX поєднують можливості оптимізації топології та моделювання в одному середовищі NX (рис. 1.19)

Siemens стверджує, що генеративний дизайн - це "функція програмного забезпечення САПР для проектування, в якій проектувальник взаємодіє з алгоритмами штучного інтелекту для створення та оцінки сотень потенційних дизайнів для ідеї продукту".

Design Space Explorer в NX надає розширені можливості моделювання, які зазвичай використовуються фахівцями з моделювання, прямо у вас під рукою в NX, заявляє компанія. Ця функція дозволяє визначати завдання оптимізації з усіма параметрами, обмеженнями та цілями за допомогою програмного забезпечення Siemens Simcenter HEEDS.



Рисунок 1.19 – Моделі виконані NX [8]

Платформа включає оптимізацію топології, що працює на основі технології конвергентного моделювання з можливостями генеративного проектування, щоб по суті надати інженеру більше можливостей, ніж було можливо раніше. На додаток до дослідження простору проектування, програмне забезпечення дозволяє проводити ітерацію проектування на основі кількох цілей, надаючи користувачам можливість вивчати вплив зміни конструкції на такі атрибути, як вартість та фізичні властивості.

Враховуючи набір обмежень, визначених інженером, ця технологія автономно виробляє низку альтернативних проектів. За допомогою NX візьміть скановані дані або результати оптимізації топології та змініть їх поряд із традиційною моделлю САПР в єдиному середовищі. Немає трансляції, немає переміщення між програмами.

Siemens NX надає інженерам-конструкторам набір інструментів ефективного застосування генеративної інженерії.

У Solid Edge 2024 Siemens значно посилила свої можливості ШІ. Тепер програмне забезпечення забезпечує проектування за допомогою ШІ у кількох ключових покращеннях.

## 2.8 Hexagon Apex

У цьому модулі, який є частиною програмного забезпечення Hexagon Apex, що є середовищем автоматизованого проектування для розробки віртуальних продуктів, існуючі дані САПР можуть бути безпосередньо імпортовані в MSC Apex Generative Design або створені з нуля безпосередньо в програмному забезпеченні. Програмне забезпечення автоматично коригує грубу геометрію, вдосконалюючи її до тих пір, поки не буде досягнуто більш тонкої та детальної структури.

Компанія MSC Apex Generative Design від Hexagon розробила спеціальне рішення для створення деталізованих та дуже складних структур, які можна виготовити лише за допомогою адитивних процесів (рис. 1.20).

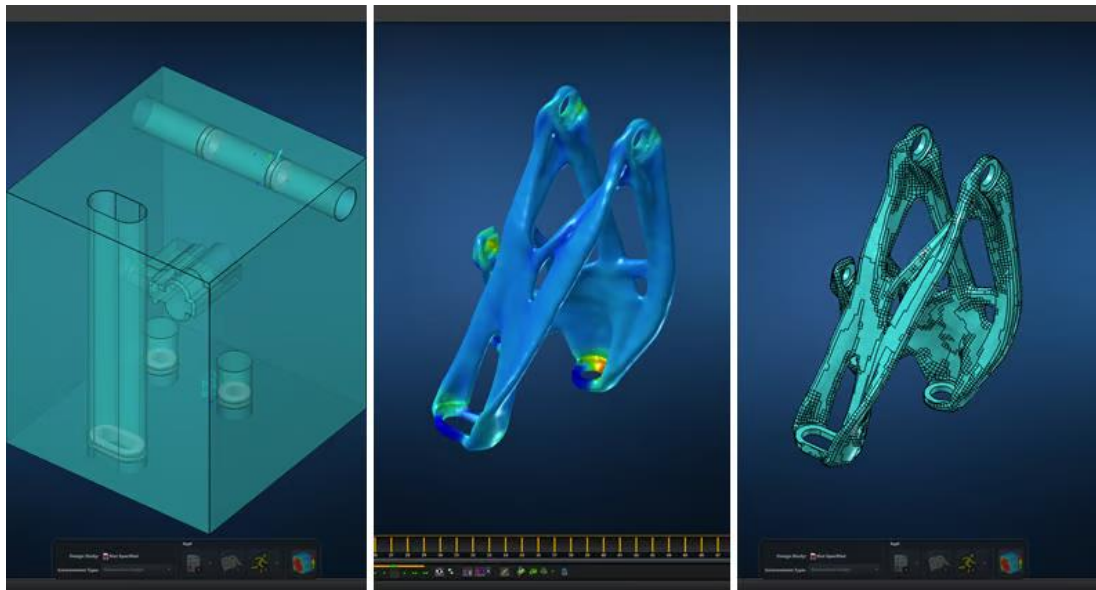


Рисунок 1.20 – Програмне забезпечення Hexagon Apex [2]

Hexagon стверджує, що для проведення оптимізації за допомогою високоорієнтованого на користувача програмного дизайну не потрібні експертні знання. Генеративний дизайн майже автоматично генерує кілька кандидатів на дизайн, які задовольняють критеріям дизайну, мінімізуючи при цьому вагу.

Проектувальники імпортують існуючі геометрії або сітки, знаходять оптимізовані кандидати на проектування та виконують перевірку проекту – все це в середовищі Arx САЕ, тому експортовану геометрію можна безпосередньо виготовити та використовувати негайно без ручного доопрацювання. Ви також можете імпортувати отримані геометрії до Simufact Additive або Digimat AM для отримання економічно ефективних деталей з першого разу, заявляє компанія.

## 2.9 Synera

Німецький стартап Synera пропонує програмне забезпечення для «пов'язаного проектування», засноване на алгоритмах, що дозволяють моделювати в цифровому вигляді, виконувати та систематично повторно використовувати етапи розробки продукту для нових варіантів чи проектів в універсальному робочому середовищі. Іншими словами, він інтегрує різні процеси, такі як вимоги, САПР, моделювання, оптимізація та оцінка вартості з різних інструментів, таких як Hexagon, Altair, Ansys та інших.

Elisse - це єдина інженерна платформа, яка поєднує всі необхідні дані та експертні знання в єдину мову програмування для інженерів (рис. 1.21)

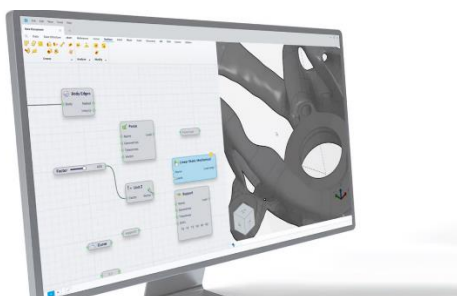


Рисунок 1.21 – Інженерна платформа Elisse [2]

Synera називає своє рішення генеративною інженерією, бо це не просто дизайн. У той час, як деякі програми генеративного дизайну зупиняються на

пропозиції вибору оптимальних проектів. З них найкращі кандидати часто мають бути фактично розроблені інженерами, піддані моделюванню, а потім підготовлені до виробництва. Платформа Synera починається не з базової моделі деталі, а з набору технічних умов, таких як обмеження дизайну, матеріальні витрати, виробничі вимоги та продуктивність у реальному світі. Потім вона визначає всі можливі варіації продукту, які задовольнятиме цим умовам.

З Synera дизайнер виконує роботу з опису завдання дизайну, а потім береться за справу комп'ютер. Відкрита програмна платформа дозволяє швидше розробляти інноваційніші продукти, стверджує компанія.

## 2.10 CogniCAD

CogniCAD – це автономне програмне рішення для генеративного проектування, оптимізації топології, консолідації деталей та полегшення ваги, що допомагає користувачам автоматично створювати готові до 3D-друку полегшені конструкції для аерокосмічної, автомобільної та інших галузей промисловості.

CogniCAD – це програмне рішення для генеративного проектування, оптимізації топології, консолідації деталей та полегшення ваги від виробника 3D-принтерів та матеріалів Carbon (рис. 1.22)

На відміну від nTopology або Catia, CogniCAD є повністю автоматизованим робочим процесом, заснованим на власній оптимізації топології, звичайно-елементному аналізі високої роздільної здатності та обчислювальної геометрії, що не потребує ручного налаштування або реконструкції. Якщо ваша деталь дуже унікальна з набором периметрів, це може бути не найкращим рішенням, але якщо ви хочете оптимізувати звичайну деталь, наприклад кронштейн, встановлені інструменти можуть виявитися саме тим, що вам потрібно.

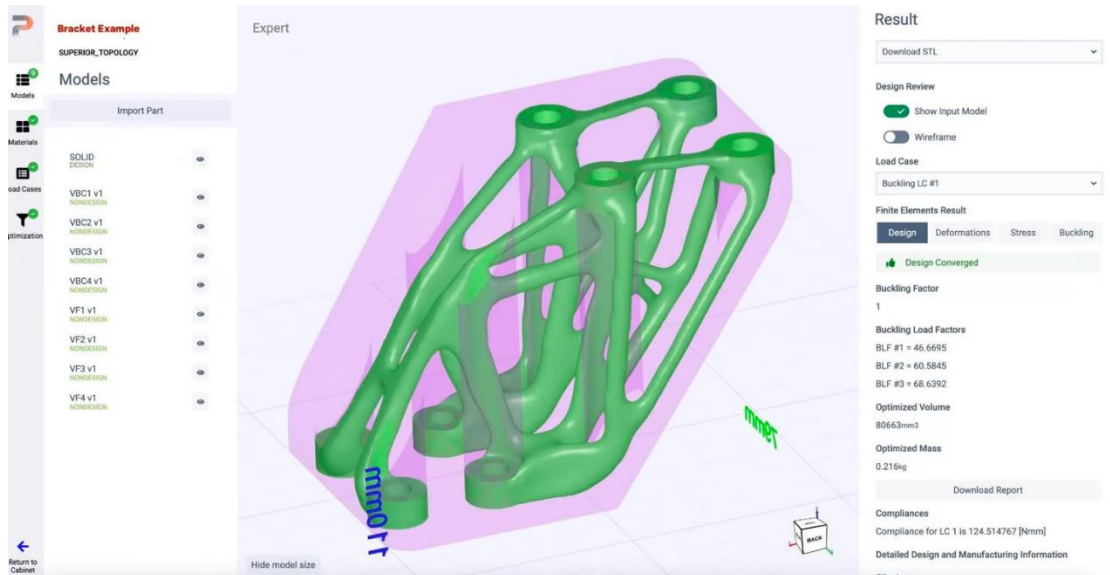


Рисунок 1.22 – Програмне рішення CogniCAD [2]

CogniCAD має функції, які дозволяють проектувати пасивні охолоджувальні пристрої та радіатори, встановлюючи периметри для теплових навантажень та теплової відповідності. Він також може створювати проекти, які використовують кілька матеріалів для зниження ваги та виробничих витрат широкого спектру геометрій деталей.



міцностних характеристик деталі (рис. 3.4). Для аналізу нової конструкції деталі була створена її 3D-модель та розрахована маса (0,93 кг).

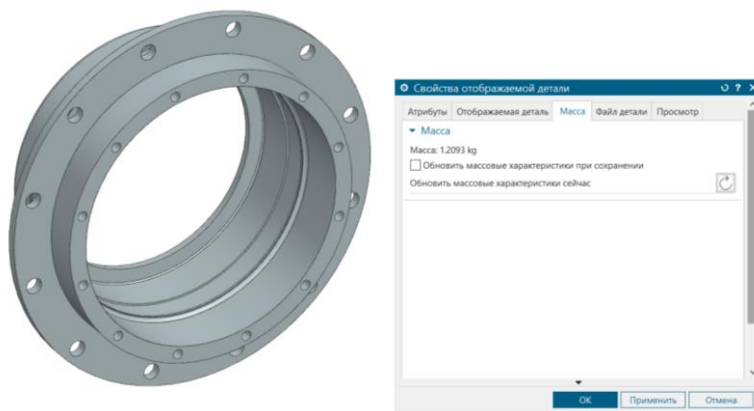


Рисунок 3.2 – 3D-модель базової конструкції деталі

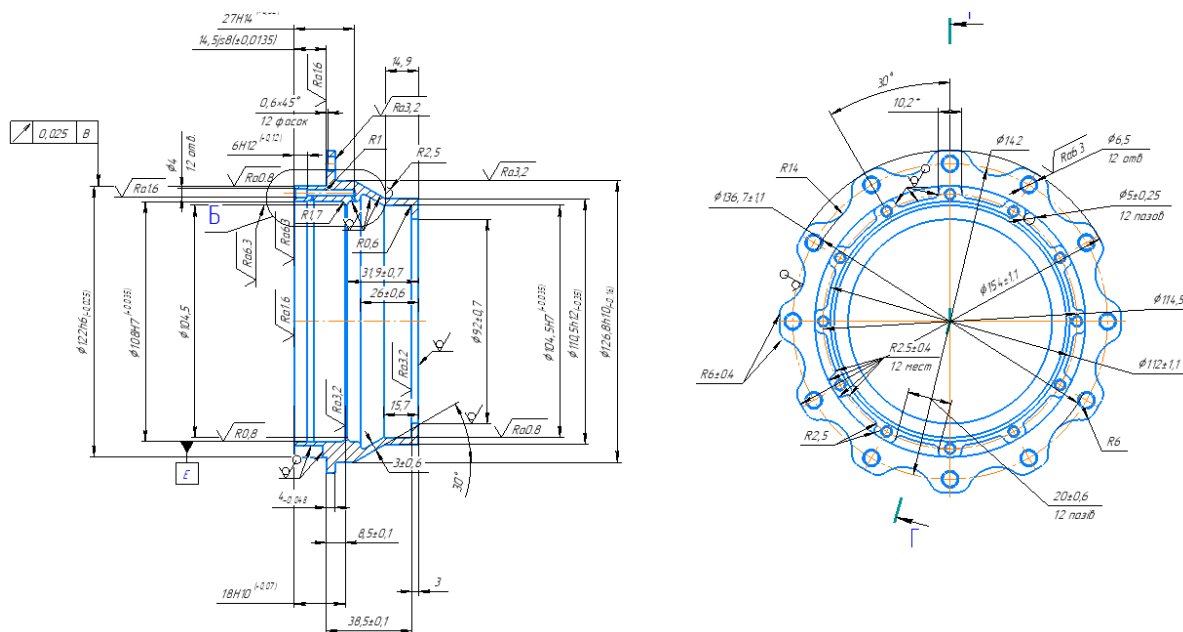


Рисунок 3.3 – Нова конструкція деталі

Для міцнісного аналізу нової конструкції деталі було проведено розбивку її на сітку кінцевих елементів та прикладені обмеження: закріплення в отворах та радіальні навантаження в місцях встановлення підшипників (рис. 3.5).

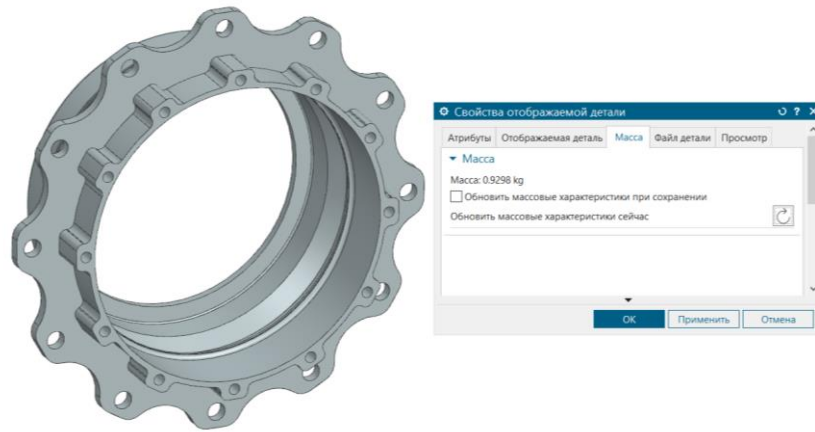


Рисунок 3.4 – 3D-модель нової конструкції деталі

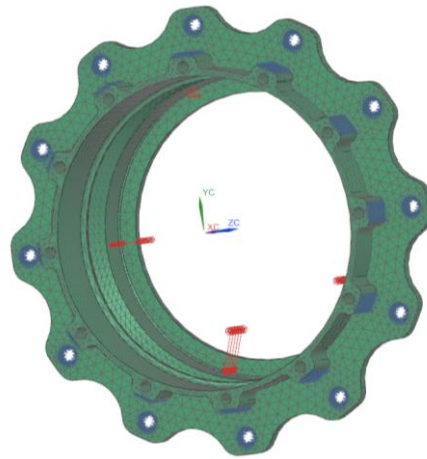


Рисунок 3.5 – Місця прикладення навантажень

Після виконання комп'ютерного розрахунку було отримано графічне зображення розподілення напружень (рис. 3.6). Максимальні напруження в деталі розміщені на переході отвору  $\text{Ø}104,5$  і торцьової поверхні. Значення максимальних напружень дорівнюють 357,68 МПа.

Розрахуємо коефіцієнт запасу міцності за формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} \quad (5.1)$$

де  $[\sigma]$  – допустиме значення границі плинності для сталі 40ХН2Л  $[\sigma]=590$  МПа [10];

$\sigma_{\max}$  – максимальне напруження.

$$k = \frac{638}{357,68} = 1,78$$

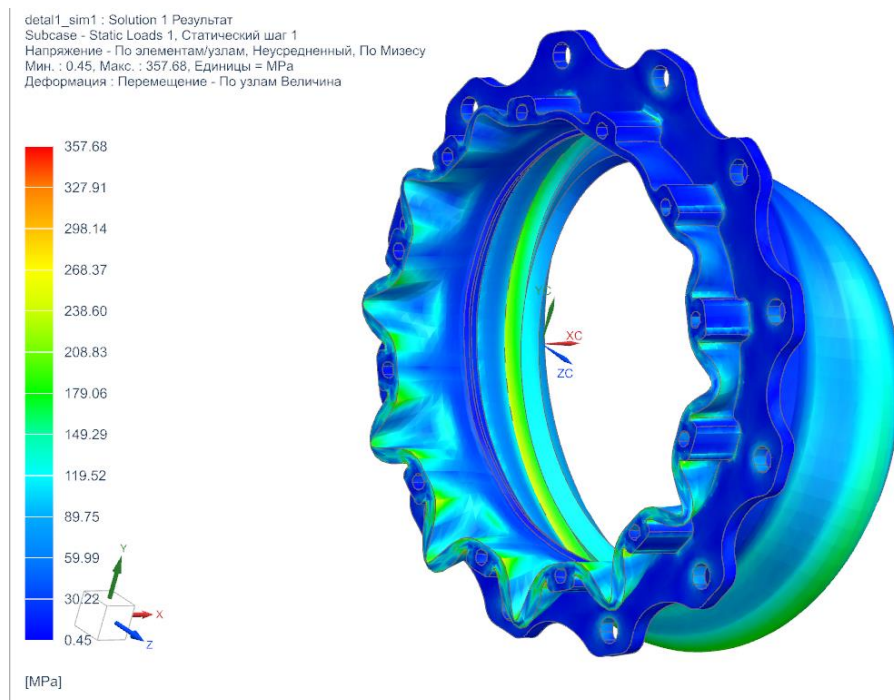


Рисунок 3.6 – Розподіл напружень

Отримане значення коефіцієнту запасу міцності більше за табличне значення  $k_{\text{таб}}=1,5$ , тому зміна конструкції задовільняє міцностним вимогам до деталі. Розрахуємо економію металу при застосуванні нової технології:

$$K = \frac{m_{\text{баз}} - m_{\text{нов}}}{m_{\text{баз}}} 100\% \quad (3.1)$$

$$K = \frac{1,2 - 0,93}{0,93} 100\% = 22,5\%$$

При зміні конструкції деталі економія ваги становить 22,5%.

## 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Корпус підшипника (рис. 4.1) – це важлива деталь у механічних системах, яка виконує функцію підтримки та фіксації підшипника. Основне призначення корпусу підшипника полягає в забезпеченні правильного положення підшипника та захисту його від зовнішніх впливів, таких як пил, волога та механічні пошкодження. Він також сприяє рівномірному розподілу навантаження на підшипник, забезпечуючи надійну та безперебійну роботу механізму.

Основні функції корпусу підшипника:

- 1) Фіксація підшипника у правильному положенні.
- 2) Захист підшипника від забруднень, пилу та вологи.
- 3) Розподіл навантаження, яке діє на підшипник під час роботи механізму.
- 4) Забезпечення стабільної роботи вузла, де використовується підшипник.
- 5) Захист від механічних пошкоджень під час експлуатації.

Корпус підшипника є важливою частиною редуктора авіадвигуна. Особливістю корпусу підшипника для авіадвигуна є складна конструкція, яка розроблена з урахуванням максимальної економії ваги. Це надзвичайно важливо для авіаційних систем, де кожен грам має значення для загальної ефективності й безпеки польотів. Тому при розробці корпусу підшипника часто застосовуються легкі, але міцні конструкційні рішення. Корпус підшипника виготовляється зі спеціальної сталі 40ХН2Л (таблиця 4.1, 4.2). Це легована конструкційна сталь, яка має високу міцність, зносостійкість і здатність витримувати важкі умови експлуатації, що робить її ідеальною для використання в авіаційних двигунах.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад сталі 40ХН2Л [10]

Fe	Mn	Si	Ni	S	P	Cr
основа	0,6...0,9%	0...0,5%	1,6...2%	<0,045%	<0,045%	0,4...0,7%

Таблиця 4.2 – Механічні властивості сталі 40ХН2Л [10]

Межа міцності	Межа плинності	Відносне подовження	Відносне звуження
785 МПа	540 МПа	12 %	20%

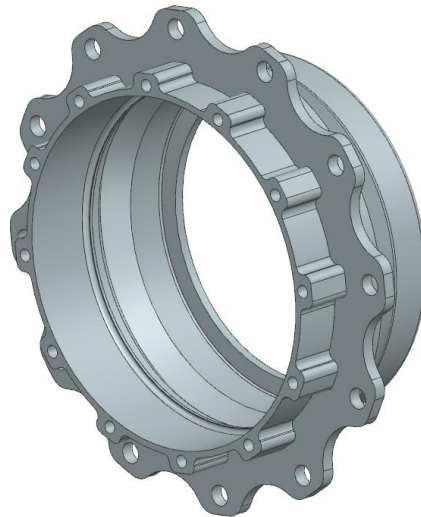


Рисунок 4.1 – Корпус підшипника

#### 4.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Запланована партія випуску корпусів підшипника складає 5000 штук на рік, масу він має 0,93 кг, тому згідно рекомендацій [11] попередньо призначаємо серійний тип виробництва. Також вибираємо потокову форму організації робіт [11]. Партія оброблюваних деталей:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (4.1)$$

де  $N$  – річна програма випуску,  $N=5000$  шт;

$\alpha$  – періодичність запуску партій деталей в виробництво,  $\alpha=3\dots5$ ;

$A$  – кількість робочих днів на рік,  $A=250$  днів.

$$n = \frac{5 \cdot 5000}{250} = 100 \text{ шт}$$

### 4.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Для визначення оптимального методу отримання заготовки розглянемо наступні методи: лиття в піщані форми (ПФ) (рис. 4.2) та лиття по витоплюваним моделям (ВМ) (рис. 4.3). Маса заготовок визначаємо за допомогою програмного забезпечення: для лиття в піщані форми – 1,8 кг, для лиття по витоплюваним моделям – 1,2 кг.



Рисунок 4.2 – Заготовка, отриманна литтям в піщані форми



Рисунок 4.3 – Заготовка, отриманна литтям по витоплюваним моделям

Собівартість виготовлення однієї заготовки [12]:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \quad (4.2)$$

де  $Q$  – вага заготовки, кг;

$q$  – вага деталі, кг;

$B_B$  – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн. [12];

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [12];

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [12];

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [12];

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [12];

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [12];

$B_{\text{відх}}$  – вартість 1 т стружки [12].

$$B_{\text{ПФ}} = \frac{250000}{1000} \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 - (1,8 - 0,93) \cdot \frac{4000}{1000} = 716,5 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ВМ}} = \frac{500000}{1000} \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 1,23 - (1,2 - 0,93) \cdot \frac{4000}{1000} = 474,8 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) [12]:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (4.3)$$

$$\eta_{\text{ПФ}} = \frac{0,93}{1,8} = 0,51$$

$$\eta_{\text{ВМ}} = \frac{0,93}{1,2} = 0,77$$

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок [12]:

$$E_B = (B_{0\text{Ф}} - B_{\text{ПФ}}) \cdot N, \quad (4.4)$$

$$E_B = (716,5 - 474,8) \cdot 5000 = 1208500 \text{ грн}$$

Показники методів отримання заготовки заносяться в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			ПФ	ВМ
Вага заготовки	Q	кг	1,8	1,2
Базова вартість 1 т заготовки	V <sub>Б</sub>	грн	250000	500000
Коефіцієнти	K <sub>Т</sub>		1	1
	K <sub>М</sub>		1,6	1,04
	K <sub>С</sub>		1	1
	K <sub>З</sub>		1	0,62
	K <sub>П</sub>		1	1,23
Вартість 1 т стружки	V <sub>відх</sub>	грн	4000	4000
Собівартість заготовки	V <sub>з</sub>	грн	716,5	474,8
КВМ	η		0,51	0,77

Заощадження на металі при виготовленні заготовки литтям по витоплюваним моделям [12]:

$$M_e = \frac{q(\eta_{ПФ} - \eta_{ВМ})}{\eta_{ПФ} \cdot \eta_{ВМ}} \cdot N \quad (4.5)$$

$$M_e = \frac{0,93 \cdot (0,77 - 0,51)}{0,51 \cdot 0,77} \cdot 5000 = 3078,7 \text{ кг}$$

Так як отримали значення  $V_{ВМ} < V_{ПФ}$ , але  $\eta_{ПФ} < \eta_{ОМ}$ , то обираємо методом отримання заготовки – лиття по витоплюваним моделям.

#### 4.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

##### 4.4.1 Вибір технологічних баз

При точінні в якості баз використовуємо зовнішні циліндричні поверхні Ø122 та Ø126,8, крайній торець. При свердлінні отворів в якості баз

використовуємо зовнішні циліндричні поверхні  $\varnothing 122$  та  $\varnothing 126,8$ , крайній торець. При шліфуванні в якості баз використовуємо зовнішню циліндричну поверхню  $\varnothing 126,8$  та крайній торець.

#### 4.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Для поверхні  $\varnothing 122h6_{-0,025}$  виконуємо проектування маршруту обробки поверхонь (МОП). Для цього спочатку розруховуємо загальні уточнення за показниками:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (4.6)$$

де  $Td_3$  – допуск на розмір заготовки,  $Td_3 = 2200$  мкм;

$Td_d$  – допуск на розмір деталі,  $Td_d = 25$  мкм;

$$\varepsilon_d = \frac{2,2}{0,025} = 88;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (4.7)$$

де  $Ra_3$  – параметр шорсткості заготовки,  $Ra_3 = 25$ ;

$Ra_d$  – параметр шорсткості деталі,  $Ra_d = 0,8$ ;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{0,8} = 31,2;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (4.8)$$

де  $\Delta_3$  – похибка форми заготовки,  $\Delta_3 = 500$  мкм;

$\Delta_d$  – похибка форми деталі,  $\Delta_d = 15$  мкм.

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,015} = 33,3;$$

Розраховуємо кількість переходів обробки за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (4.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 88 = 3,8 \rightarrow 4$$

Встановлюємо наступну послідовність показників точності та якості (ПШТЯ):

1) Для допуску – IT16 → h12 → h10 → h8 → h6;

2) Для шорсткості – Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, шліфування чорнове, шліфування чистове.

Для першого переходу уточнення ( $T_{D1}=400$  мкм;  $T_{Ra1}=6,3$  мкм [13]):

$$\varepsilon_{d1} = \frac{2200}{400} = 5,5;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 4.$$

Для другого переходу уточнення ( $T_{D2}=160$  мкм;  $T_{Ra2}=3,2$  мкм [13]):

$$\varepsilon_{d2} = \frac{400}{160} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Для третього переходу уточнення ( $T_{D3}=63$  мкм;  $T_{Ra3}=1,6$  мкм [13]):

$$\varepsilon_{d3} = \frac{160}{63} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra3} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Для четвертого переходу уточнення ( $T_{D4}=25$  мкм;  $T_{Ra4}=0,8$  мкм [13]):

$$\varepsilon_{d4} = \frac{63}{25} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{1,6}{0,8} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 5,5 \cdot 2,5 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 85,9 < \varepsilon_d = 88;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 32 < \varepsilon_{Ra} = 31,2.$$

Для решти поверхонь розрахунок проводимо аналогічним чином, отримані результати наведені в таблиці 4.4.

#### 4.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Послідовність виконання технологічних операцій при обробці деталі розробимо маршрут виготовлення деталі (МВД). МВД деталі «Корпус підшипника» призначаємо у наступній послідовності:

- 1) Отримання заготовки.
- 2) Термічна обробка (ТО).
- 3) Механічна чорнова та чистова обробка.
- 4) Мийка, контроль.
- 5) Механічна фінішна обробка (чорнова та чистова).
- 6) Мийка, контроль.

Докладний МВД наведено в графічній частині дипломної роботи.

Таблиця 4.4 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ø122h6 <sub>(-0,025)</sub>	Td	88	3,8	4	ΔIT = IT16 – h6 = 10 IT16 → h12 → h10 → h8 → h6 Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	1	Заготовка	2,2	25	-	-
	Ra	31,2				2	ТО	-	-	-	-
						3	Точіння чорнове	0,4	6,3	5,5	4
						4	Точіння чистове	0,16	3,2	2,5	2
						5	Шліфування чорнове	0,063	1,6	2,5	2
						6	Шліфування чистове	0,025	0,8	2,5	2
Ø104,5H7 <sub>(+0,035)</sub>	Td	51,4	3,4	4	ΔIT = IT16 – H7 = 9 IT16 → H12 → H10 → H8 → H7 Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	1	Заготовка	1,8	25	-	-
	Ra	31,2				2	ТО	-	-	-	-
						3	Точіння чорнове	0,35	6,3	5,1	3,9
						4	Точіння чистове	0,14	3,2	2,5	2
						5	Шліфування чорнове	0,054	1,6	2,5	2
						6	Шліфування чистове	0,035	0,8	1,5	2

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ø108H7(+0,035)	Td	51,4	3,4	4	$\Delta IT = IT16 - H7 = 9$ $IT16 \rightarrow H12 \rightarrow H10 \rightarrow$ $H8 \rightarrow H7$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow$ $Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$	1	Заготовка	1,8	25	-	-
	Ra	31,2				2	ТО	-	-	-	-
						3	Точіння чорнове	0,35	6,3	5,1	3,9
						4	Точіння чистове	0,14	3,2	2,5	2
						5	Шліфування	0,054	1,6	2,5	2
						6	чорнове Шліфування чистове	0,035	0,8	1,5	2
14,5js8(±0,0135)	Td	44,4	3,2	3	$\Delta IT = IT16 - js8 = 8$ $IT16 \rightarrow js12 \rightarrow js10 \rightarrow js8$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow$ $Ra1,6$	1	Заготовка	1,2	25	-	-
	Ra	15,6				2	ТО	-	-	-	-
						3	Точіння чорнове	0,18	6,3	6,7	3,9
						4	Точіння чистове	0,07	3,2	2,6	2
						5	Шліфування	0,027	1,6	2,6	2
18H10(+0,07)	Td	17,1	2,4	2	$\Delta IT = IT16 - H10 = 6$ $IT16 \rightarrow H12 \rightarrow H10$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2$	1	Заготовка	1,2	25	-	-
	Ra	7,8				2	ТО	-	-	-	-
						3	Точіння чорнове	0,18	6,3	6,7	3,9
						4	Точіння чистове	0,07	3,2	2,6	2

#### 4.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для поверхні  $\varnothing 122h6(-0,025)$  припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом.

Призначимо шорсткість та глибину дефектного шару за переходами [13]:

- 1) для заготовки:  $Rz_1=200$  мкм та  $h_1 = 100$  мкм;
- 2) для чорнового точіння:  $Rz_2=20$  мкм та  $h_2=20$  мкм;
- 3) для чистового точіння:  $Rz_4=10$  мкм та  $h_4=20$  мкм;
- 4) для шліфування чорнового:  $Rz_5=10$  мкм та  $h_5=10$  мкм;
- 5) для шліфування чистового:  $Rz_6=5$  мкм та  $h_6=15$  мкм;

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{\text{пар}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2}, \quad (4.10)$$

де  $\rho_{\text{кор}}$  – похибка від короблення,

$\rho_{\text{пар}}$  – похибка паралельності

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\text{кор}} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (4.11)$$

$$\rho_{\text{пар}} = \Delta_{\text{п}} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (4.12)$$

де  $\Delta_{\text{кор}}$  – похибка короблення,  $\Delta_{\text{кор}}=1,5$  мкм/мм [13];

$\Delta_{\text{п}}$  – перекіс центрального отвору,  $\Delta_{\text{п}}=5$  мкм/мм [13].

$$\rho_{\text{кор}} = 1,5 \cdot 56 = 84 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{пар}} = 5 \cdot 108 = 540 \text{ мкм}$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,084^2 + 0,54^2} = 0,546 \text{ мм}$$

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються за формулою:

$$\rho_j = K_{yT} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (4.13)$$

де  $K_{yT}$  – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [13].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 546 = 32 \text{ мкм}$$

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 32 = 1,3 \text{ мкм}$$

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 56 + 1,3 = 6,9 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 0,02 \cdot 6,9 = 0 \text{ мкм}$$

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 0 = 0 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення за переходами розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon_i = K_{yT} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (4.14)$$

де  $\varepsilon_2$  – похибка закріплення,  $\varepsilon_2=0,45$  мм [13].

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 450 = 18 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_4 = 0,03 \cdot 18 = 0,54 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 0,02 \cdot 0,54 = 0 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0 = 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної:

$$2z_i^{\min} = 2 \left( Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (4.15)$$

$$2z_2^{\min} = 2(200 + 100 + \sqrt{546^2 + 450^2}) = 2015 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{32^2 + 18^2}) = 153 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(10 + 20 + \sqrt{6,9^2 + 0,54^2}) = 74 \text{ мкм};$$

$$2z_6^{\min} = 2(5 + 15 + \sqrt{0^2 + 0^2}) = 40 \text{ мкм};$$

Максимальний розмір поверхні:

$$d_6^{\max} = d_6^{\min} + ES_{d6} \quad (4.16)$$

$$d_6^{\max} = 122 + 0 = 122 \text{ мм}$$

Максимальний розмір для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (4.17)$$

$$d_5^{\max} = 122 + 0,04 + 0,063 = 122,103 \text{ мкм};$$

$$d_3^{\max} = 122,103 + 0,074 + 0,16 = 122,337 \text{ мкм};$$

$$d_2^{\max} = 122,337 + 0,153 + 0,4 = 122,89 \text{ мкм};$$

$$d_1^{\max} = 122,89 + 2,015 + 2,2 = 127,105 \rightarrow 127,1 \text{ мкм}.$$

Мінімальний розмір поверхні:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (4.18)$$

$$d_6^{\min} = 122 - 0,025 = 121,975 \text{ мм};$$

$$d_5^{\min} = 122,103 - 0,063 = 122,04 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 122,337 - 0,16 = 122,177 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 122,89 - 0,4 = 122,49 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 127,1 - 2,2 = 124,9 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (4.19)$$

$$2z_2^{\max} = 127,1 - 122,49 = 4,61 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 122,89 - 122,177 = 0,713 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 122,337 - 122,04 = 0,297 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 122,103 - 121,975 = 0,128 \text{ мм};$$

Перевірка правильності розрахунків технологічних розмірів:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}}; \quad (4.20)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min}; \quad (4.21)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max}; \quad (4.22)$$

$$2z_0^{\max} = 127,1 - 121,177 = 5,125 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\min} = 124,9 - 122 = 2,9 \text{ мм};$$

$$TD_0 = 2,2 + 0,025 = 2,225 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 5,125 - 2,9 = 2,225 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір заготовки –  $\varnothing 126 \pm 1,1$  мм.

Для решти поверхонь розрахунок проводимо аналогічним чином та заносимо до таблиці 4.5.

#### 4.6 Розрахунок режимів різання

Для шліфувальної операції №055 (рис. 4.4) обираємо шліфувальний універсальний верстат URS 3000 N. Універсальний шліфувальний верстат URS 3000 N підходить для зовнішнього циліндричного шліфування заготовок діаметром до 320 мм, також він має устаткування для внутрішнього шліфування, що значно збільшує діапазон застосувань. Для закріплення деталі використовуємо трьохкулачковий патрон. Операція складається з трьох переходів: шліфування отвору  $\varnothing 104,5$ , отвору  $\varnothing 108$ , зовнішньої поверхні  $\varnothing 1022$ . Технічна характеристика верстата URS 3000 N наведена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.5 – Розрахунок припусків

Поверхня	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки		Td, мм	$d_i^{\max}$ , мм	$d_i^{\min}$ , мм	$2z_i^{\max}$ мкм	
Ø122 <sub>(-0,025)</sub>	17	Заготовка	2,2	127,1	124,9	-	-	Ø126±1,1
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,4	122,89	122,49	4610	2015	Ø 122,9 <sub>-0,4</sub>
	10	Точіння чистове	0,16	122,337	122,177	713	153	Ø 122,3 <sub>-0,16</sub>
	8	Шліфування чистове	0,063	122,103	122,04	297	74	Ø 122,1 <sub>-0,063</sub>
	6	Шліфування чистове	0,025	122	121,975	128	40	Ø122 <sub>-0,025</sub>
Ø104,5 <sup>(+0,035)</sup>	17	Заготовка	1,8	99,2	97,4	-	-	Ø98,3±0,9
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,35	102,606	102,256	5150	3000	Ø 102,2 <sup>+0,35</sup>
	10	Точіння чистове	0,14	103,746	103,606	1490	1000	Ø 103,6 <sup>+0,14</sup>
	8	Шліфування чистове	0,054	104,3	104,246	694	500	Ø 104,2 <sup>+0,054</sup>
	7	Шліфування чистове	0,035	104,535	104,5	289	200	Ø 104,5 <sup>+0,035</sup>

Таблиця 4.6 – Технічна характеристика верстата URS 3000 N

Вага	8000 кг
Розмір (Ш x Г x В)	7400 x 2000 x 2000 мм
Відстань між центрами	3000 мм
Подача столу	0,1...4 м/хв
Діаметр внутрішнього шліфування з упором	35...100 мм
Максимальний поздовжній хід	3100 мм
Внутрішній діаметр шліфування без залишку	30...100 мм
Висота центрів	180 мм
Діаметр зовнішнього шліфування	8...320 мм
Максимальна глибина шліфування	125 мм
Ручний шлях переміщення обертання столу/колеса	6 мм
Швидкість обертання деталі	25 - 220 об./хв
Конус шпинделя	МК4
Розмір шліфувального кола	500 x 50 x 203 мм
Швидкість обертання шліфувального шпинделя	1330 об./хв
Швидкість обертання шпинделя для внутрішнього шліфування	10000 об./хв
Переміщення шліфувальної бабки	200 мм
Швидка подача	50 мм/хв
Потужність двигуна шліфувального шпинделя	7,5 кВт

В якості інструменту обираємо: шліфувальний круг 1 500x50x203 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-83 [14]; шліфувальний круг 1 80x20x20 25А 25П СМ1 6 К5 А 50 м/с ГОСТ 2424-83 [14].

Розрахуємо режими різання для переходу шліфування зовні.

Припуск на різання:

$$h = D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}, \quad (4.23)$$

де  $D_{\text{заг}}$  – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$  – операційний розмір деталі, мм.

$$h = 122,1 - 122 = 0,1 \text{ мм}$$

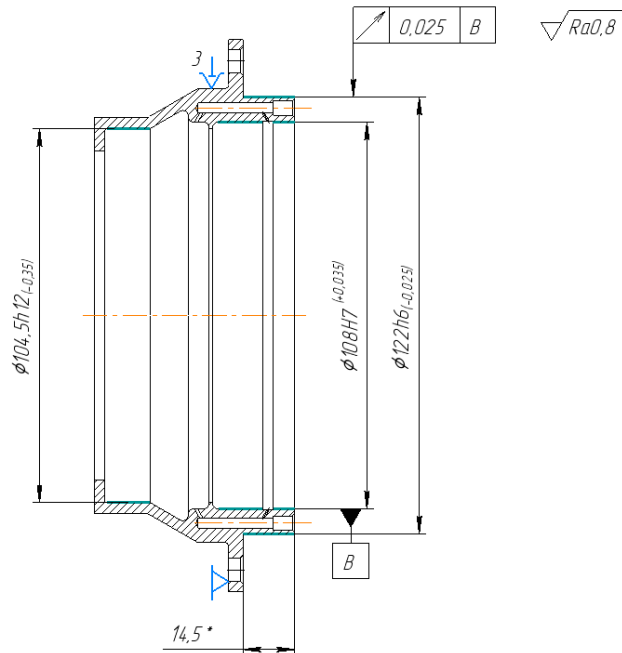


Рисунок 4.4 – Операційний ескіз

Глибина різання –  $t=14,5$ мм.

Подача розраховується за формулою:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (4.27)$$

де  $S_{0T}$  – табличне значення подачі,  $S_{0T} = 0,018$  мм/об [15];

$K_S$  – коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{SK} \cdot K_{Sy} \cdot K_{S\varphi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM} \quad (4.28)$$

де  $K_D$  – коефіцієнт, враховуючий діаметр круга,  $K_D=0,42$  [15];

$K_R$  – коефіцієнт, враховуючий радіус галтелі,  $K_R=0,85$  [15];

$K_T$  – коефіцієнт, враховуючий стійкість круга,  $K_T=1,0$  [15];

$K_h$  – коефіцієнт, враховуючий припуск на обробку,  $K_h=1,0$  [15];

$K_{IT}$  – коефіцієнт, враховуючий квалітет виконання розміру,  $K_{IT}=0,5$  [15];

$K_M$  – коефіцієнт, враховуючий матеріал деталі,  $K_M=1,0$  [15].

$$K_S = 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,178$$

$$S_{\text{поп}} = 0,018 \cdot 0,178 = 0,0032 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата  $S_0 = 0,0025 \text{ мм/об}$ .

Табличне значення швидкості обертання деталі –  $V_{\text{ш.дет.}} = 50 \text{ м/хв}$  [15]:

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (4.29)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 122} = 130,5 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату  $n_{\text{ш.кр.}} = 1330 \text{ об/хв}$ ,  $n_{\text{дет.}} = 100 \text{ об/хв}$ .

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулами:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (4.30)$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (4.31)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 122 \cdot 100}{1000} = 38 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 500 \cdot 1330}{1000 \cdot 60} = 35 \text{ м/с}$$

Визначаємо основний час:

$$T_0 = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (4.32)$$

де  $k$  – коефіцієнт уточнення,  $k=1,7$ .

$$T_0 = \frac{0,05 \cdot 1,7}{100 \cdot 0,0025} = 0,34 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання для внутрішнього шліфування виконуємо аналогічно, результат розрахунків наведено в таблиці 4.3.

Основний час на операцію:

$$t_o = \sum t_o, \text{ хв} \quad (4.32)$$

$$t_o = 0,34 + 0,45 + 0,32 = 1,11 \text{ хв}$$

Для інших операцій розрахунок режимів різання виконуємо аналогічним чином, результати цих обчислень наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок режимів різання

Номер та назва операції	Номер	Режими різання				
		глибина різання $t$ , мм	кількість проходів $i$	подача $S$ , мм/об	швидкість різання $V$ , м/хв	частота обертів шпинделя $n$ , об/хв
015 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	150	300
	02	1	2	0,2	150	450
020 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	150	300
025 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,2	150	300
	02	0,5	2	0,2	150	450
	03	0,5	1	1	150	450
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,2	150	300
035 Свердлильна	01	1	24	0,1	25	4000
	02	1,25	12	0,1	25	2000
	03	2	12	0,1	25	1000
	04	0,05	12	0,1	25	300
	05	3,25	12	0,1	25	700
	06	0,5	12	0,1	25	700
040 Свердлильна	01	0,25	12	0,05	20	4000
	02	0,3	12	0,05	20	4000
045 Свердлильна	01	0,25	12	0,05	20	4000
	02	0,4	12	0,05	20	4000
050 Шліфувальна	01	14,5	1	0,005	45	1330
	02	0,1	1	0,005	45/40	1330/100
	03	0,1	1	0,005	45/40	1330/100
	04	0,01	10	0,005	45/40	10000/100
	05	0,01	10	0,005	45/40	10000/100
055 Шліфувальна	01	14,5	1	0,0025	38/35	1330/100
	02	0,005	10	0,5	45/40	10000/100
	03	0,005	10	0,5	45/40	10000/100

#### 4.7 Технічне нормування операцій

Для шліфувальної операції №055 розраховуємо допоміжний час:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{пр.рух.}} + t_{\text{контр}} , \quad (4.33)$$

де  $t_{\text{вст}}$  – час на встановлення та зняття деталі,  $t_{\text{вст}} = 0,5$  хв [16];

$t_{\text{уп}}$  – час на управління верстатом,  $t_{\text{уп}}=0,15$  хв [16];

$t_{\text{пр.рух.}}$  – час пришвидшених рухів,  $t_{\text{пр.рух.}}= 0,2$  хв [16];

$t_{\text{контр}}$  – час на контроль деталі,  $t_{\text{контр}}=0,12$  хв [16];

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,15 + 0,2 + 0,12 = 0,97 \text{ хв}$$

Розраховуємо оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}} \quad (4.34)$$

$$t_{\text{оп}} = 1,11 + 0,97 = 2,08 \text{ хв}$$

Розраховуємо додатковий час:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (4.35)$$

де  $\alpha$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби,  $\alpha = 10\%$  [16].

$$t_{\text{дод}} = 2,08 \cdot 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучний час:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (4.36)$$

$$t_{\text{шт}} = 2,08 + 0,21 = 2,29 \text{ хв}$$

Розраховуємо підготовчо-заклучний час:

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} \quad (4.37)$$

де  $t_{пз1}$  – час, що включає наладку верстату, інструменту, пристосування,

$$t_{пз1} = 7 \text{ хв [16];}$$

$t_{пз2}$  – час на отримання інструменту, пристосування, здачу їх після роботи,

$$t_{пз2} = 8 \text{ хв [16].}$$

$$t_{пз} = 7 + 8 = 15 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (4.38)$$

$$t_{шт-к} = 2,29 + \frac{15}{100} = 2,44 \text{ хв}$$

Технічне нормування решти операцій виконуємо аналогічним чином, результати розрахунків наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	$t_o$ , хв	$t_{доп}$ , хв	$t_{дод}$ , хв	$t_{шт}$ , хв	$t_{пз}$ , хв	$t_{шт-к}$ , хв
015 Токарна з ЧПК	7	0,8	0,78	8,58	18	8,76
020 Токарна з ЧПК	2,5	0,8	0,33	3,63	18	3,81
025 Токарна з ЧПК	12,3	0,8	1,31	14,41	18	14,59
030 Токарна з ЧПК	2,2	0,8	0,30	3,30	18	3,48
035 Свердлильна	18,3	0,9	1,92	21,12	20	21,32
040 Свердлильна	8	0,9	0,89	9,79	20	9,99
045 Свердлильна	7,5	0,9	0,84	9,24	20	9,44
050 Шліфувальна	6,3	0,97	0,73	8,00	15	8,15
055 Шліфувальна	1,11	0,97	0,21	2,29	15	2,44

## 4.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Для свердлильної операції №035 була виконана розробка керуючої програми (КП) за допомогою програми NX. Спочатку була створена модель для свердлильної операції (рис. 4.5).

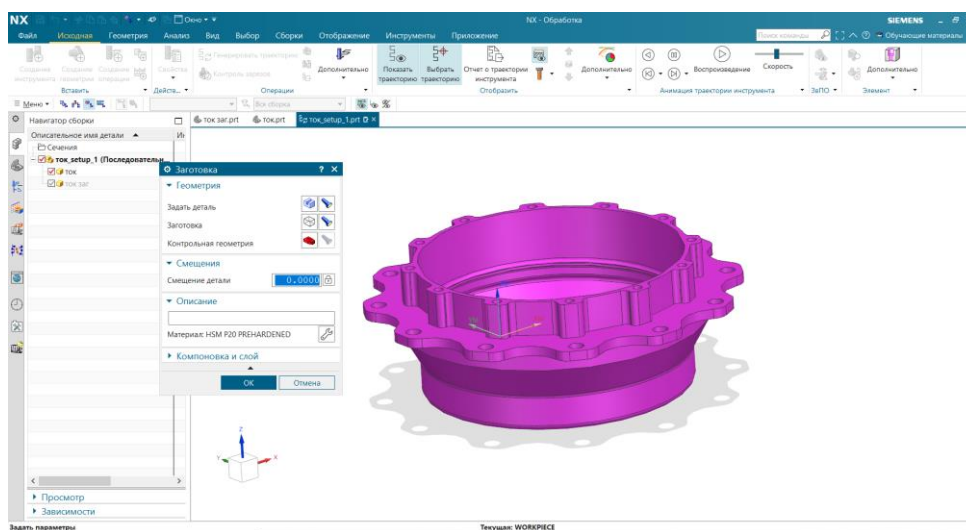


Рисунок 4.5 – 3D-модель

Було створено необхідний інструмент (рис. 4.6): центрувальне свердло, свердла  $\varnothing 2,5$ ,  $\varnothing 3,9$ ,  $\varnothing 6,5$ , розгортка  $\varnothing 4$ , зенковка  $\varnothing 12$ .

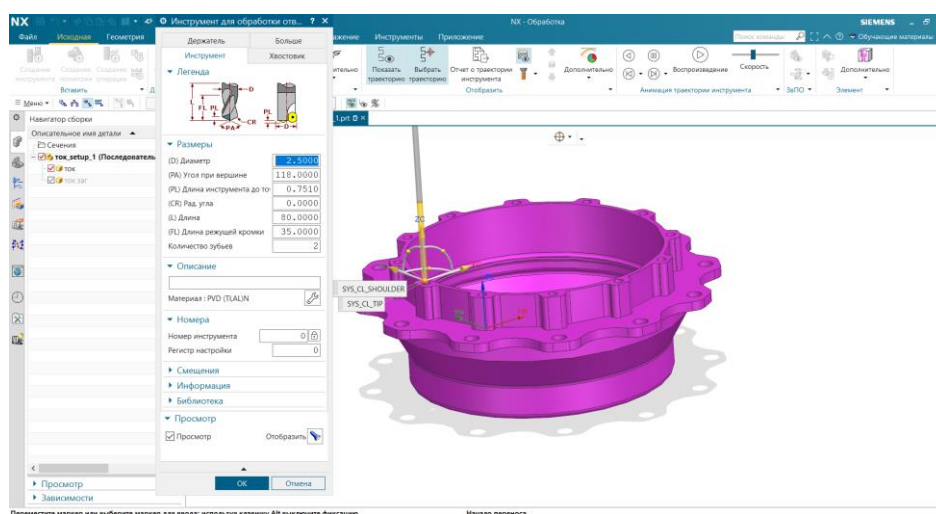


Рисунок 4.6 – Інструмент

Були розроблені переходи обробки отворів: центрування, свердління, розсвердлювання, розгортання, свердління  $\varnothing 6,5$ , зенкування фасок. Отримані траєкторії та проведена візуалізацію обробки (рис. 4.7-4.12).

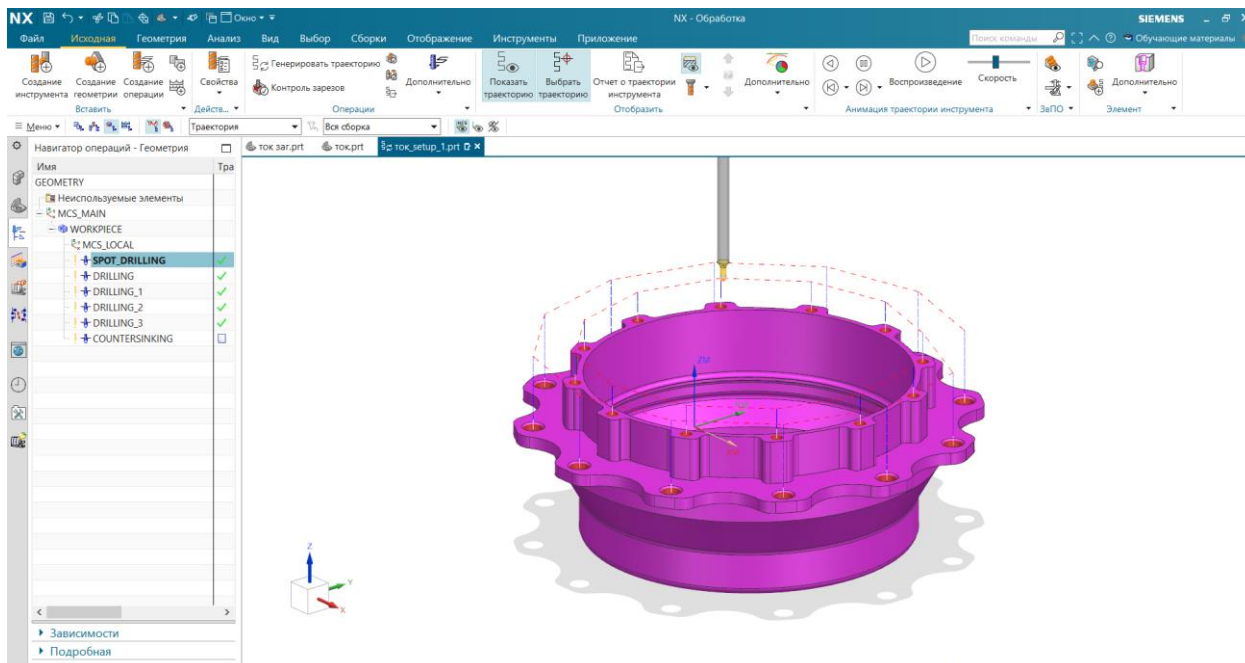


Рисунок 4.7 – Траєкторія для центрування отворів

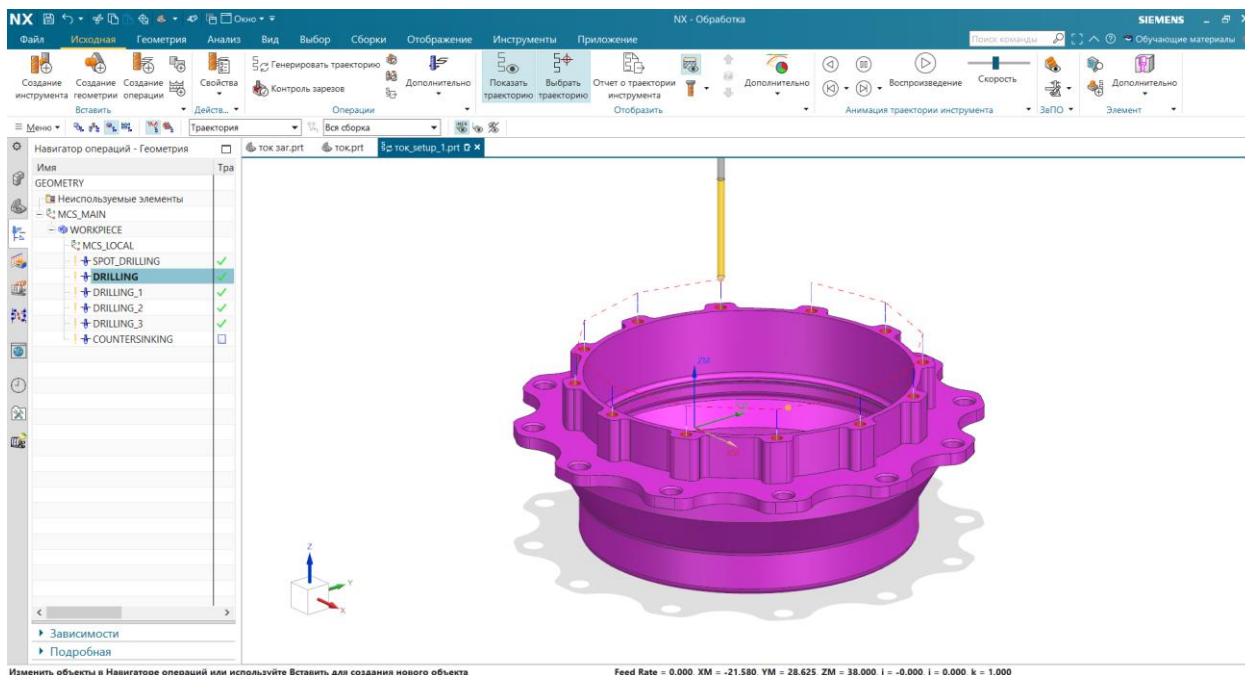


Рисунок 4.8 – Траєкторія свердління отворів

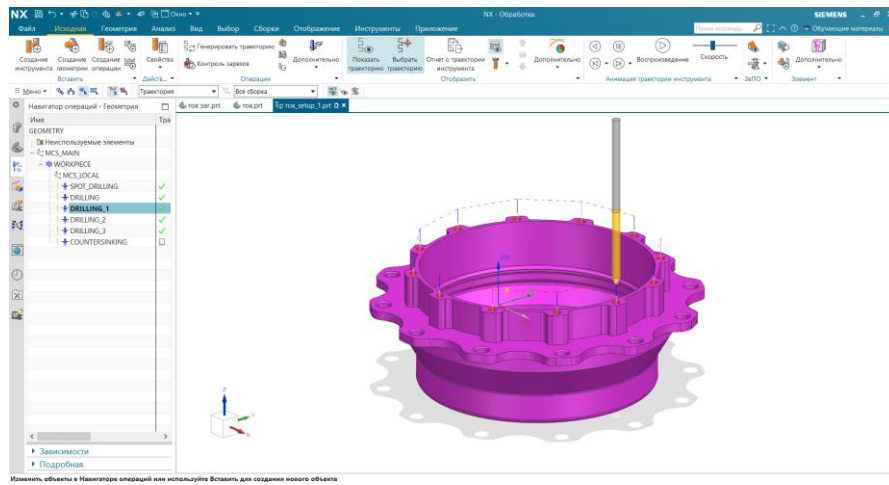


Рисунок 4.9 – Траектория для розсверлювання отворів

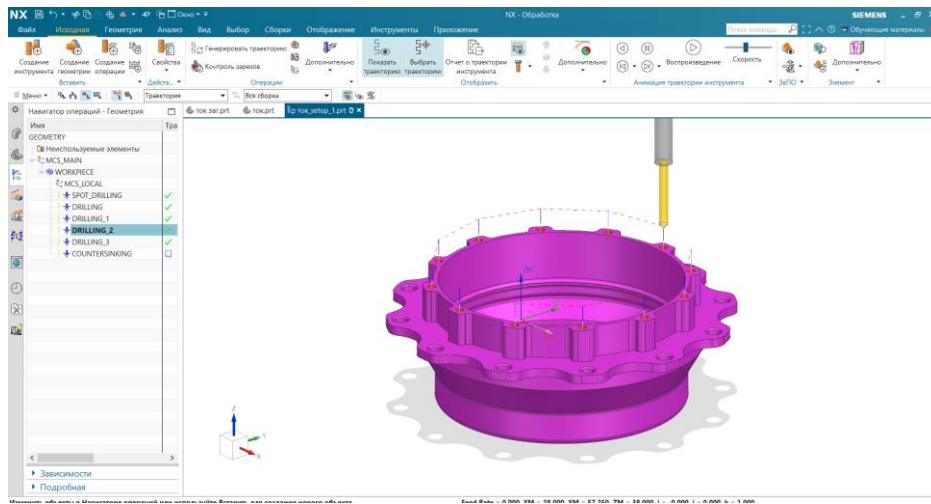


Рисунок 4.10 – Траектория для розгортання отворів

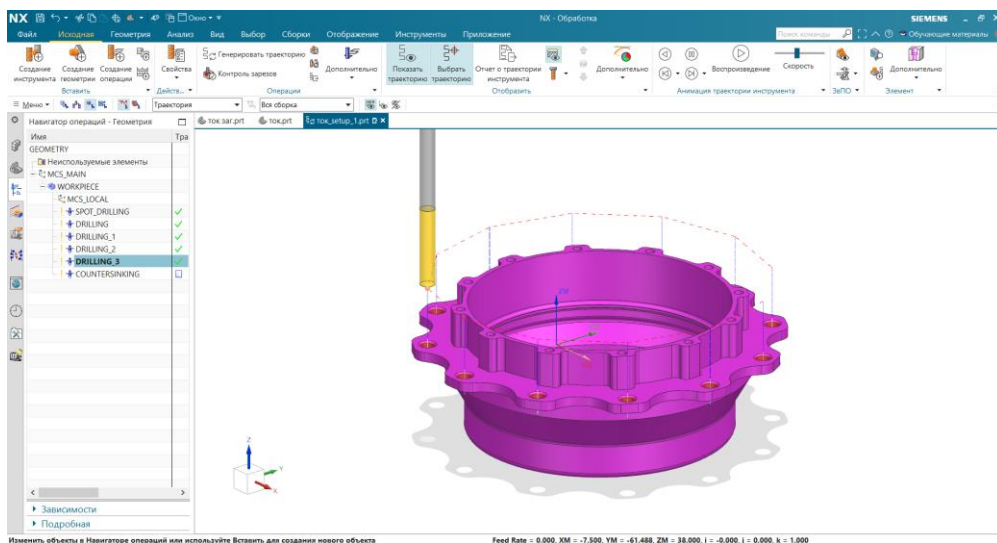


Рисунок 4.11 – Траектория для сверління отворів

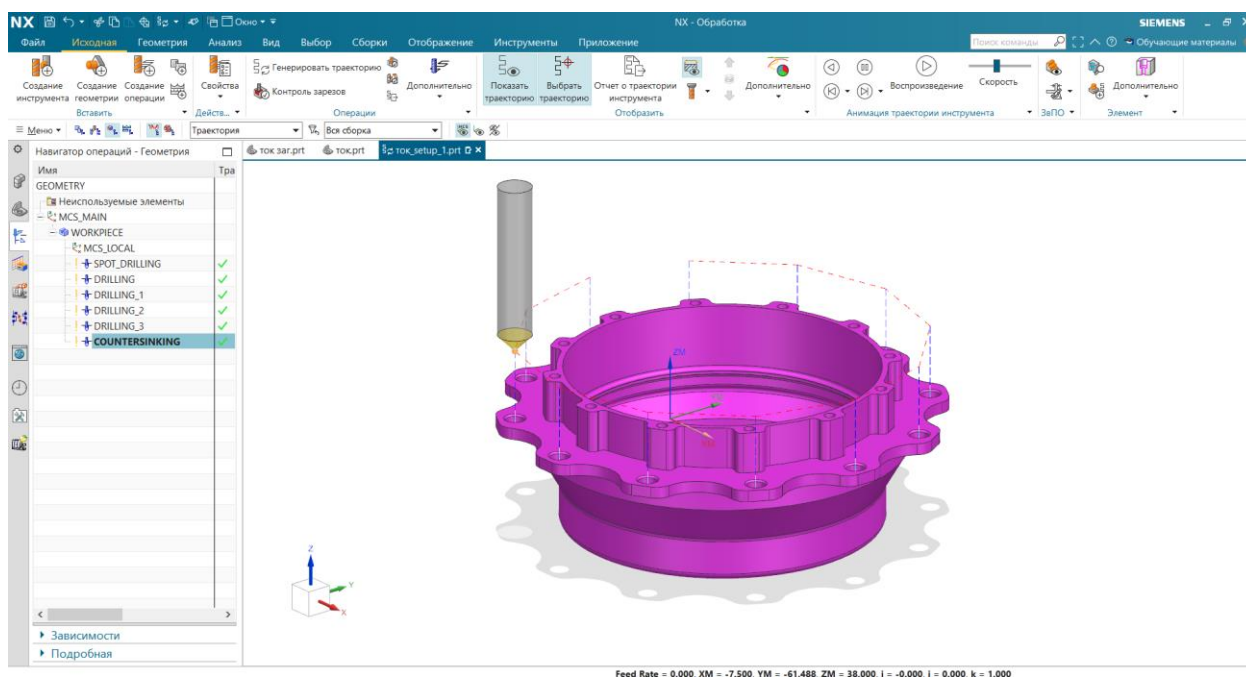


Рисунок 4.12 – Траектория для зенкування отворів

## 5 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 5.1 Проектування робочого пристосування

#### 5.1.1 Конструкція та принцип роботи пристосування

Пристосування (рис. 5.1) використовується на свердильній операції №035. Перед обробкою корпус підшипника встановлюється в отвір оправки 9 пристосування, центрується по шийці  $\varnothing 128,6$ . Зверху на деталь встановлюється диск 12. У корпусі 1 встановлений пневмоциліндр, під тиском поршень 5 рухаються донизу та закріплює деталь. Після закінчення обробки поршень 5 рухається вгору і звільняє деталь.

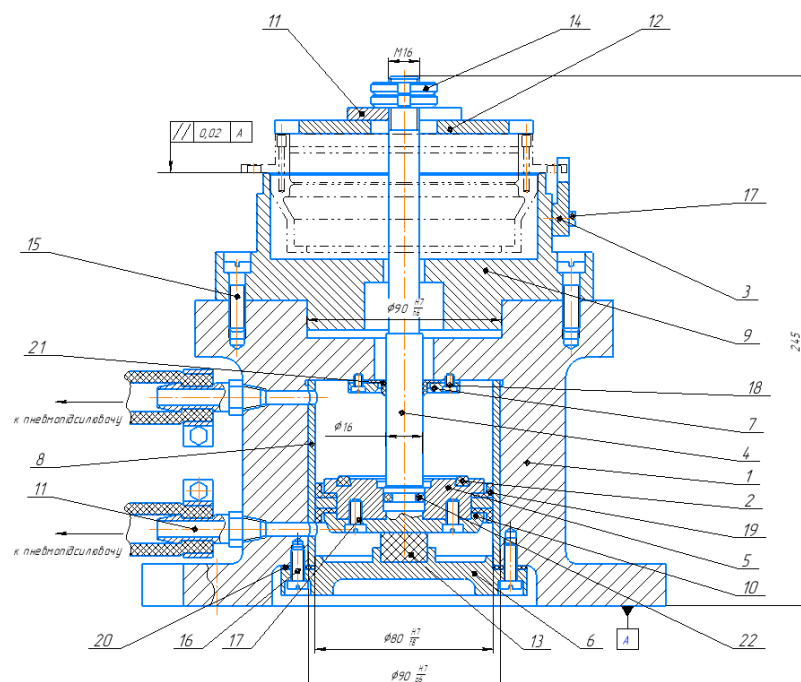


Рисунок 5.1 – Робоче пристосування

#### 5.1.2 Розрахунок пристосування

Корпус підшипника встановлюється по шийці  $\varnothing 126,8_{-0,16}$ . При такій

схемі встановлення похибка розраховується по формулі [17]:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (5.1)$$

де  $\varepsilon_{\text{баз}}$  – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$  – похибка закріплення

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = S_{\text{max}}/2 \quad (5.2)$$

де  $S_{\text{max}}$  – максимальний зазор у з'єднанні.

$$S_{\text{max}} = D_{\text{max}} - d_{\text{min}} \quad (5.3)$$

де  $D_{\text{max}}$ ,  $d_{\text{min}}$  – конструктивні розміри.

$$S_{\text{max}} = 126,825 - 126,64 = 0,185 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,185/2 = 0,092 \text{ мм}$$

При встановленні в опраку напрямом сили закріплення має перпендикулярний напрямом з розміром свердління отворів, тому похибка закріплення відсутня.

Похибка встановлення згідно формули (4.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,092^2 + 0} = 0,092 \text{ мм}$$

Отримана похибка встановлення не перевищує допуску розміру розміщення отворів (0,3мм).

Дійсна сила затиску деталі в пристосуванні [17]:

$$W_{\delta} = \frac{3 \cdot M_{\text{кр}} \cdot \kappa}{f \left[ \left( \frac{D_1^3 - D_2^3}{D_1^2 - D_2^2} \right) + \left( \frac{D_3^3 - D_4^3}{D_3^2 - D_4^2} \right) \right]} \quad (5.4)$$

де  $D_1=122$  мм,  $D_2=108$  мм, где  $D_3=134$  мм,  $D_4=126,8$  мм – конструктивні

розміри (рис. 5.2).

$f = 0,15$  – коефіцієнт тертя;

$k$  – коефіцієнта запасу, що визначається залежно від умов обробки;

$M_{кр}$  – крутний момент для свердління, Н·м;

$$M_{кр} = 10 C_m D^q S^y K_p \quad (5.5)$$

де  $C_m = 0,041$ ,  $q = 2$ ,  $y = 0,8$ ,  $K_p = 1$  – коефіцієнти [10].

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,041 \cdot 6,5^2 \cdot 0,1^{0,8} \cdot 1,03 = 2,8 \text{ Н·м}$$

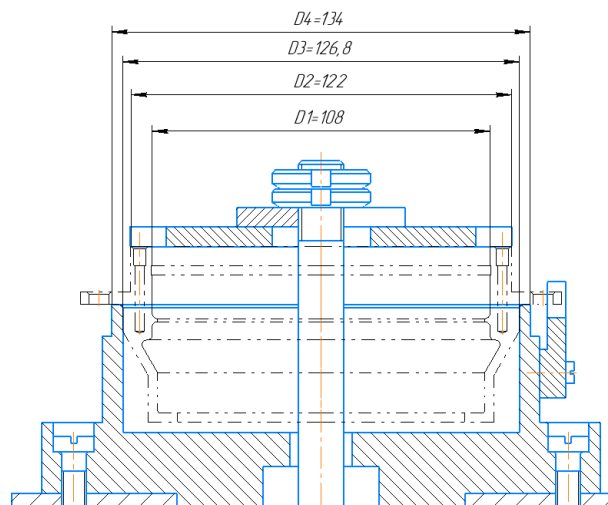


Рисунок 5.2 – Схема по визначенню сили закріплення

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (5.6)$$

де  $k_0$  – гарантований коефіцієнт запасу,  $k_0 = 1,5$  [17];

$k_1$  – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці,  $k_1 = 1$  [17];

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту,  $k_2 = 1,15$  [17].

$k_3$  – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання,  $k_3 = 1$  [17];

$k_4$  – коефіцієнт, що враховує непостійність сил затиску, що розвиваються приводами,  $k_4 = 1$  [17];

$k_5$  – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток,  $k_5 = 1$  [17];

$k_6$  – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту,  $k_6 = 1,5$  [17].

$$k = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,58.$$

$$W_{\partial} = \frac{3 \cdot 2,58 \cdot 2,8}{0,15 \left[ \left( \frac{0,122^3 - 0,108^3}{0,122^2 - 0,108^2} \right) + \left( \frac{0,134^3 - 0,1268^3}{0,134^2 - 0,1268^2} \right) \right]} = 394H$$

Мінімальний діаметр штока [17]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (5.7)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт затягування,  $\alpha=2,25$  [17];

$[\sigma]$  – допустиме напруження на розтяг,  $[\sigma]=100$  МПа [10].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 394}{3,14 \cdot 100}} = 3,3\text{мм} \rightarrow 16\text{мм} \quad (5.8)$$

Діаметр циліндра [12]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (5.9)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя,  $\eta = 0,85 \dots 0,9$  [12].

$p$  – тиск в пневмосистемі,  $p=0,4 \dots 0,6$  МПа [17];

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 394}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85} + 16^2} = 41,6\text{мм} \rightarrow 80\text{мм}$$

## 5.2 Проектування контрольного пристосування

### 5.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

При контролі похибки форми деталі корпус підшипника було сконструйоване контрольне пристосування (рис. 5.3). Дане пристосування

призначене для контролю радіального биття 0,025 мм шийки  $\text{Ø}122$  відносно отвору  $\text{Ø}108$ . Пристосування складається з корпусу 5, штанги 3, центрів 1, 2 і індикаторного годинника 9. Для контролю радіального биття деталь встановлюється на оправку, яка встановлюється разом з деталлю в пристосування. Штанга 3 з індикаторним годинником опускається до поверхні яка контролюється. На індикаторному годиннику створюється натяг 1 мм та шляхом обертання деталі знімаються показання радіального биття. Радіальне биття дорівнює максимальному значенню відхилення стрілки індикаторного годинника, при умові, що перед початком стрілка була розміщена напроти нуля.

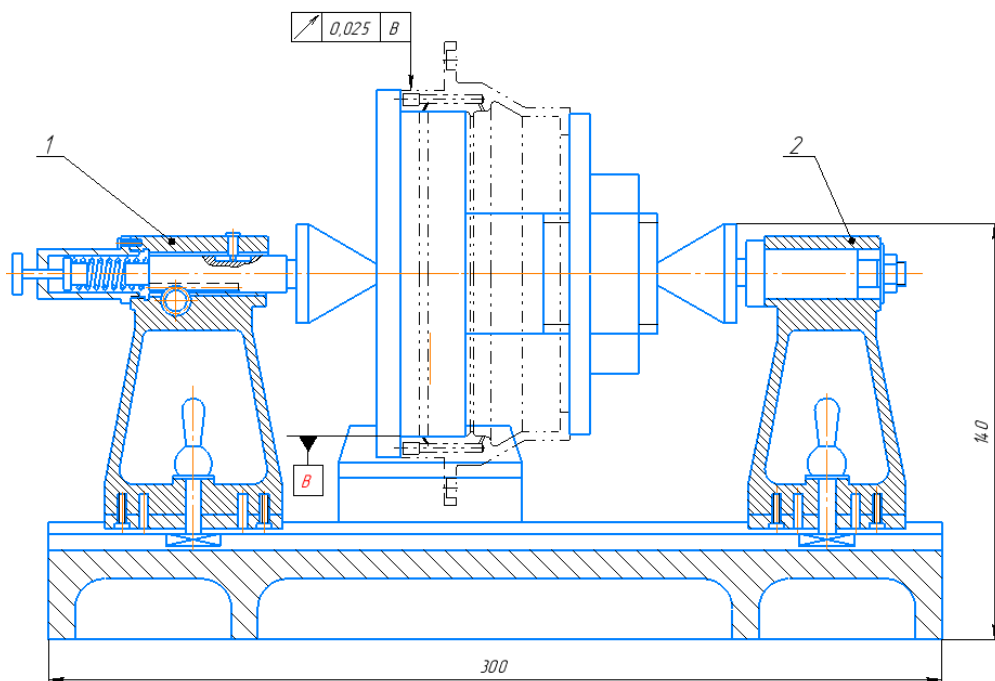


Рисунок 5.3 – Контрольне пристосування

### 5.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

При схемі встановлення деталі при контролі в центрах пристосування допустима сумарна похибка розраховується по формулі [17]:

$$\varepsilon_{вим} = \varepsilon_{uy} + \varepsilon_{уп} + \varepsilon_{ум} + \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{зак}^2 + \varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{си}^2 + \varepsilon_{др}^2} \quad (5.10)$$

де  $\varepsilon_{им}$  – похибка, спричинена неточністю еталону,  $\varepsilon_{им}=0$  [17];

$\varepsilon_{баз}$  – похибка базування,  $\varepsilon_{баз}=0$  [17];

$\varepsilon_{зак}$  – похибка закріплення,  $\varepsilon_{зак}=0$  [17];

$\varepsilon_{иу}$  – частка похибки конструкції пристосування,  $\varepsilon_{иу}=0,0015$ мм [17];

$\varepsilon_{зп}$  – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв,  $\varepsilon_{зп}=0,006$ мм [17];

$\varepsilon_{си}$  – похибка засобу вимірювання,  $\varepsilon_{си}=0,001$ мм [17];

$\varepsilon_{др}$  – похибка, викликана дією випадкових факторів,  $\varepsilon_{др}=0,0015$ мм [17].

$$\varepsilon_{ип} = \Delta_{рд} + \Delta_{ру} + \Delta_{рн} + \Delta_{рк} + \Delta_{ра} \quad (4.11)$$

$\Delta_{рд}$  – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів,  $\Delta_{рд}=0$  [17];

$\Delta_{ру}$  – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів,  $\Delta_{ру}=0$  [17];

$\Delta_{рн}$  – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів,  $\Delta_{рн}=0$  [17];

$\Delta_{рк}$  – похибка від зміщення точки контакту важелів,  $\Delta_{рк}=0$  [17];

$\Delta_{ра}$  – похибка прямої передачі [17].

$$\varepsilon_{ип} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0,0002 = 0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{вим} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,008 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{вим} = 0,008 \text{ мм} \leq [\varepsilon_{вим}] = 0,025 \text{ мм}$$

## 6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При підвищенні експлуатаційних властивостей деталі «Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну було вдосконалено базову технологію виготовлення. При цьому було змінено обробку на універсальних токарно-гвинторізних верстатах моделі 1К62 обробкою на токарних верстатах з ЧПК моделі SPINNER TC 65 MC (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія			
	1К62	1К62	1К62	1К62	1К62	1К62	SPINNER TC 65 MC	SPINNER TC 65 MC	SPINNER TC 65 MC	SPINNER TC 65 MC
Модель верстата										
Штучний час $t_{шт}$ , хв	25	25	10	10	15	15	8,58	3,63	14,41	3,3
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін $m$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата $F$ , грн	126160 (3320 USA)						1395000 (31000 EUR)			
Число верстатів, $C_p$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань $N_a$ , %	14	14	14	14	14	14	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів $N$ , кВт	10	10	10	10	10	10	3,7	3,7	3,7	3,7

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників за формулою (2.6) з джерела [18]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (6.1)$$

де  $m_{оп}$  – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{шти}$  – норма штучного часу виконання і-ой операції, год;

$C_{тар}$  – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_б$  – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатостанковому обслуговуванні,  $K_б=0,39$ ;

$k_{доп}$  – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату,  $k_{доп} = 1,2$ ;

$k_{соц}$  – коефіцієнт, що враховує страхові внески,  $k_{соц} = 1,4$ .

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.2, 6.3.

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	$C_{тар}$ , грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$Z_o$ , грн
010	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
015	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
020	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
025	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
030	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
035	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
					$\Sigma$	214.48

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	$C_{тар}$ , грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$Z_o$ , грн
015	Токарна	8,58	57,5	1,2	1,4	13,81
020	Токарна	3,63	57,5	1,2	1,4	5,84
025	Токарна	14,41	57,5	1,2	1,4	23,20
030	Токарна	3,3	57,5	1,2	1,4	5,31
					$\Sigma$	48.17

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою (2.7)

[18]:

$$Z_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар.н}} \cdot Ч_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (6.2)$$

де  $C_{\text{тар.н}}$  – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_n$  – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

$\Phi_p$  – річний фонд часу одного,  $\Phi_p = 2096$  год;

$m_{on}$  – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	$\Phi_p$ , год	$C_{\text{тар}}$ , грн	$Ч_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$Z_o$ , грн
015	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
020	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
025	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
030	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
						$\Sigma$	40,64

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою (2.9) [18]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{on}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.3)$$

де  $K_i$  – первісна вартість обладнання на  $i$ -ої операції, грн;

$H_{ai}$  – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на  $i$ -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.5, 4.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою (2.11) [18]:

$$S_{iH} = \sum_{i=1}^{m_{оп}} \sum_{j=1}^{n_{iH}} \frac{C_{инij} \cdot t_{штij} \cdot \eta_M}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.4)$$

де  $C_{инij}$  – ціна інструменту j-го виду на i-ої операції, грн/шт;

$t_{штij}$  – штучний час роботи j-го інструменту на i-ої операції, хв;

$\eta_M$  – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення  $t_{маш}/t_{шт}$ ;

$T_{ij}$  – період стійкості інструменту j-го виду на i-ої операції, хв;

$n_{iH}$  – номенклатура інструментів на i-ої операції;

$n_j$  – число переточок інструменту j-го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.7, 6.8.

Таблиця 6.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	К, грн	На, %	$F_d$	$A_{від}$ , грн
010	Токарна	25	126160	14	4015	1,83
015	Токарна	25	126160	14	4015	1,83
020	Токарна	10	126160	14	4015	0,73
025	Токарна	10	126160	14	4015	0,73
030	Токарна	15	126160	14	4015	1,10
035	Токарна	15	126160	14	4015	1,10
					$\Sigma$	7,33

Таблиця 6.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	К, грн	На, %	$F_d$	$A_{від}$ , грн
015	Токарна	8,58	1395000	12,2	4015	6,06
020	Токарна	3,63	1395000	12,2	4015	2,56
025	Токарна	14,41	1395000	12,2	4015	10,18
030	Токарна	3,3	1395000	12,2	4015	2,33
					$\Sigma$	21,14

Таблиця 6.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	t <sub>шт.</sub> , хв	Найменування інструменту	Ц <sub>i</sub> грн	n <sub>ін</sub>	T, хв	n <sub>j</sub>	η <sub>MI</sub>	S <sub>ін</sub> грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	25	Різець прохід.	250	2	60	10	0,4	1,52
			Різець розточ.	250	2	60	10	0,4	0,76
015	Токарна	25	Різець прохід.	250	2	60	10	0,4	1,52
			Різець розточ.	250	2	60	10	0,4	0,76
020	Токарна	10	Різець прохід.	250	2	60	10	0,4	0,76
			Різець розточ.	250	2	60	10	0,4	0,76
025	Токарна	10	Різець розточ.	250	2	60	10	0,4	0,76
			Різець прохід.	250	2	60	10	0,4	0,76
030	Токарна	15	Різець прохід.	250	2	60	10	0,4	0,91
			Різець канав.	250	2	60	10	0,4	0,91
035	Токарна	15	Різець прохід.	250	2	60	10	0,4	1,21
								Σ	10,61

Таблиця 6.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t <sub>шт.</sub> , хв	Найменування інструменту	Ц <sub>i</sub> грн	n <sub>ін</sub>	T, хв	n <sub>j</sub>	η <sub>MI</sub>	S <sub>ін</sub> грн
015	Токарна	8,58	Різець прохід.	250	1	120	4	0,4	0,70
			Різець розточ.	250	1	120	4	0,4	0,44
020	Токарна	3,63	Різець прохід.	250	1	120	4	0,4	1,27
025	Токарна	14,41	Різець прохід.	250	1	120	4	0,4	0,51
			Різець канав.	250	1	120	4	0,4	0,87
			Різець розточ.	250	1	120	4	0,4	0,34
030	Токарна	3,3	Різець прохід.	250	1	120	4	0,4	0,70
								Σ	5,17

Визначимо витрати на електроенергію за формулою (2.13) [18]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (6.5)$$

де  $N_B$  – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

$k_N$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

$k_q$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$  – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

$k_w$  – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії,  $k_w = 1,08$ ;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії обладнання;

$k_B$  – коефіцієнт виконання норм часу;

$C_e$  – вартість електроенергії,  $C_e = 3,45$  грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.9, 6.10.

Таблиця 6.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт, хв}$	$C_e$ грн	$N_e$ кВт	$k_N$	$k_q$	$k_{од}$	$k_w$	$\eta_e$	$k_B$	$S_e$ грн
010	Токарна	25	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	11,11
015	Токарна	25	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	11,11
020	Токарна	10	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,45
025	Токарна	10	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,45
030	Токарна	15	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	6,67
035	Токарна	15	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	6,67
										$\Sigma$	44,46

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t <sub>шт</sub> , хв	Це, грн	N <sub>e</sub> , кВт	k <sub>N</sub>	k <sub>ч</sub>	k <sub>од</sub>	k <sub>w</sub>	η <sub>e</sub>	k <sub>B</sub>	S <sub>e</sub> , грн
015	Токарна	5,58	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	0,92
020	Токарна	3,63	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	0,60
025	Токарна	14,41	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,37
030	Токарна	3,3	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	0,54
										Σ	4,43

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою (2.14) [18]:

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (6.6)$$

де  $C_{то}$  – залишкова вартість обладнання, грн

$K_p$  – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду,  $K_p = 0,02$ .

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.11, 6.12.

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	C <sub>то</sub> , грн	K <sub>p</sub>	C <sub>p</sub>	S <sub>p</sub> , грн
010	Токарна	126160	0,02	0,64	0,39
015	Токарна	126160	0,02	0,64	0,39
020	Токарна	126160	0,02	0,64	0,39
025	Токарна	126160	0,02	0,64	0,39
030	Токарна	126160	0,02	0,64	0,39
035	Токарна	126160	0,02	0,64	0,39
				Σ	2,34

Таблиця 6.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за

НОВОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

№ опер	Найменування операції	Ц <sub>то</sub> , грн	К <sub>р</sub>	С <sub>р</sub>	С <sub>р</sub> , грн
015	Токарна	1395000	0,02	0,78	4,35
020	Токарна	1395000	0,02	0,78	4,35
025	Токарна	1395000	0,02	0,78	4,35
030	Токарна	1395000	0,02	0,78	4,35
				Σ	17,4

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули (2.15) [18]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ин} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (6.7)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту,  $\varphi = 1,3$ ;

$C_{гн}$  – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{ин}$  – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ( $t_{ин} = 4$  хв – для токарних верстатів з ЧПК;  $t_{ин} = 5$  хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

$t_o$  – основний час роботи інструменту на операції, хв;

$K_m$  – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

$T_M$  – середня стійкість інструменту, хв.;

$m$  – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	$t_o$ , хв	$C_{гн}$ , грн/год	$n_i$	$t_{ін}$ , хв	$K_T$	$T_M$	$m$	$S_n$ грн
015	Токарна	Різець прохід.	8,58	50,9	6	4	0,9	120	4	0,03
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,02
020	Токарна	Різець прохід.	3,63	50,9	6	4	0,9	120	4	0,06
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,05
025	Токарна	Різець прохід.	14,41	50,9	6	4	0,9	120	4	0,03
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,04
030	Токарна	Різець прохід.	3,3	50,9	6	4	0,9	120	4	0,02
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,03
									$\Sigma$	0,26

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою (2.16) [18]:

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг} \quad (6.8)$$

де  $k_{заг}$  – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників,  $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$ .

$$I_{n1} = 214,48 \cdot 0,2 = 42,89 \text{ грн}$$

$$I_{n2} = 48,17 \cdot 0,2 = 9,63 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою (1.3) [18]:

$$C_T = Z_o + Z_n + A_{від} + S_{ін} + S_e + S_p + S_n + I_n \quad (6.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 6.14.

Таблиця 6.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	$Z_o$	214,48	48,17
Заробітна плата наладчика	$Z_n$		40,64
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	7,33	21,14
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	10,61	5,17
Витрати на електроенергію	$S_e$	44,46	4,43
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	$S_p$	2,34	17,4
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	$S_n$		0,26
Витрати інші	$I_n$	42,89	9,63
Технологічна собівартість	$C_T$	322,11	146,84

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою (1.4) [18]:

$$E_{ур} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{ур} = (322,11 - 146,84) \cdot 5000 = 805350 \text{ грн}$$

Таким чином, річна економія від впровадження нового ТП за статтею собівартість може становити 805350 грн, що свідчить про ефективність запропонованої технологічної інновації.

Здійснимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для випадку придбання технологічного обладнання та зіставимо величини капітальних витрат за варіантами.

Капітальні вкладення обладнання, віднесені до одиниці продукції, визначаються за наступним рівнянням (3.1) [18]:

$$K_o = \frac{C_{об} \cdot t_{шт.к.}}{60 \cdot F_d} \quad (6.11)$$

У таблиця 6.15-6.16 розраховані капітальні витрати за формулою (6.11).

Таблиця 6.15 - Капітальні витрати на обладнання за базовим ТП

№ опер	Найменування операції	T <sub>шт</sub> , хв	Ц, грн	F <sub>д</sub>	K <sub>о</sub> , грн
010	Токарна	25	126160	4015	13,09
015	Токарна	25	126160	4015	13,09
020	Токарна	10	126160	4015	5,24
025	Токарна	10	126160	4015	5,24
030	Токарна	15	126160	4015	7,86
035	Токарна	15	126160	4015	7,86
		Σ	630800	Σ	52,37

Таблиця 6.16 - Капітальні витрати на обладнання за новим ТП

№ опер	Найменування операції	T <sub>шт</sub> , хв	Ц, грн	F <sub>д</sub>	K <sub>о</sub> , грн
015	Токарна	8,58	1395000	4015	49,68
020	Токарна	3,63	1395000	4015	21,02
025	Токарна	14,41	1395000	4015	83,45
030	Токарна	3,3	1395000	4015	19,11
		Σ	5580000	Σ	173,26

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат за формулою (3.2) [18]:

$$B_{нав} = C + E_n K, \quad (6.12)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності, показує, яка частина капітальних вкладень має окупатися за один рік. Для застосування вибирається варіант із мінімальним значенням  $B_{нав}$ .

У таблиці 6.17 наведено результати порівняння.

Таблиця 6.17 - Порівняння варіантів ТП за наведеними витратами

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Технологічна собівартість деталі	$C_T$	322,11	146,84
Капітальні витрати на деталь	$K_o$	52,37	173,26
Наведені витрати на деталь	$W_o$	374,48	320,1
Собівартість річної програми	$C_p$	1843200	6336000
Капітальні витрати на програму	$K_{оріч}$	261850	866300
Наведені витрати на програму	$W_{річ}$	1872400	1600500
Річна економія (збиток), грн	$\Delta W$	271900	

При придбанні нових верстатів згідно запропонованої нової технології виготовлення деталі «Корпус підшипника» згідно проведених розрахунків буде отримано прибуток в розмірі 271900 грн.

## 7 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

При роботі конструктора з програмним забезпеченням для генеративного дизайну, при визначенні оптимальної форми деталі, такої як «Корпус підшипника», важливо забезпечити не лише точність і якість виконання завдання, але й створення безпечних та комфортних умов праці. Робота з високоточним програмним забезпеченням потребує тривалого перебування за комп'ютером, що може створити навантаження на зір, опорно-руховий апарат і нервову систему.

Дотримання правил охорони праці має на меті:

- 1) зменшити ризик виникнення професійних захворювань, таких як синдром зап'ястного каналу, проблеми зі спиною та перенапруга очей;
- 2) забезпечити правильну організацію робочого простору для збереження продуктивності;
- 3) уникнути технічних і фізичних небезпек, пов'язаних із використанням електронного обладнання.

Зважаючи на специфіку проектної роботи, необхідно приділяти увагу як фізичному, так і психологічному здоров'ю. Нижче наведені основні заходи, які сприятимуть безпечній і ефективній роботі.

До основних рекомендації по заходах охорони праці при роботі за комп'ютером, щоб зберегти здоров'я та запобігти професійним захворюванням належить наступне:

- 1) Організація робочого місця.
  - а) Розташування монітора: Відстань від очей до екрану має бути 50–70 см. Верхній край монітора повинен бути на рівні очей або трохи нижче.
  - б) Освітлення: Забезпечте рівномірне освітлення без відблисків на екрані. Уникайте прямого світла, що потрапляє на монітор.

в) Розташування меблів: Стіл і стілець повинні відповідати зросту користувача, щоб забезпечити правильну посадку та уникнути напруги в спині.

## 2) Ергономіка та поза.

а) Сидіть прямо, спина повинна бути притиснута до спинки стільця.

б) Ноги мають стояти на підлозі або на спеціальній підставці.

в) Зап'ястя рук повинні знаходитися на одному рівні з клавіатурою, щоб уникнути їх перенапруження.

## 3) Режим праці та відпочинку.

а) Робіть 10–15-хвилинні перерви кожен годину роботи.

б) Чергуйте роботу за комп'ютером із фізичними вправами або зміною діяльності.

в) Використовуйте вправи для очей: наприклад, кожні 20 хвилин переводьте погляд на об'єкт, що знаходиться на відстані понад 6 метрів, на 20 секунд.

## 4. Догляд за обладнанням.

а) Регулярно чистіть екран монітора, клавіатуру і мишу, щоб уникнути накопичення пилу.

б) Перевіряйте справність електричного обладнання, щоб уникнути ризику ураження електричним струмом.

## 5. Запобігання перевтомі.

а) Уникайте тривалої роботи без відпочинку.

б) Працюйте в зручному темпі, не перенавантажуючи себе.

## 6. Вимоги до мікроклімату

а) Температура в приміщенні має бути в межах 18–25°C.

б) Вологість повітря — 40–60%.

в) Приміщення слід регулярно провітрювати.

Дотримуючись цих заходів, можна мінімізувати негативний вплив роботи за комп'ютером на здоров'я.

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було підвищено експлуатаційні властивості деталі «Корпус підшипника» за рахунок застосування генеративного дизайну. Було розроблено нову технологію виготовлення деталі. Було економічно обґрунтовано отримання заготовки литтям по витоплюваним моделям, розраховано масу заготовки 1,2 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,77. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки даним методом становив 12085000 грн.

Був розроблений новий маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення.

Для свердлильної операції з ЧПК була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX.

Було спроектовано робоче пристосування для свердлильної операції. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний пневмоциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Top 5 Generative Design Tools of 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.archistar.ai/blog/top-5-generative-design-tools-of-2022/#popup-id-31813> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.
2. The Best Generative Design Software in 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/the-best-generative-design-software/> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.
3. S. Pradhan, S. Kumar, S. Srivastav Canister Satellite Light Weight Chassis Design using Bio Mimicry of Human Skeleton. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. 2023. Vol. 10(5). P. 1-9.
4. Featured: Applying cutting-edge generative design in NASA & ESA’s Mars Sample Return Mission [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.thenewtoncorp.com/news/generative-design-mars-sample-return-mission> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.
5. What to Expect from a Personalized Knee or Hip Replacement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.conformis.com/personalized-knee-and-hip-implants/> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.
6. MSC Apex Generative Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hexagon.com/fr/products/msc-apex-generative-design> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.
7. Product design and manufacturing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.autodesk.com/design-make/pdm> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.
8. Fishing Pliers Reimagined With Generative Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all3dp.com/4/fishing-pliers-reimagined-with-generative-design/> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.

9. Automated CAE for rear axle concepts [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.synera.io/focused-case-study/automated-cae-for-rear-axle-concepts> (дата звернення: 12.10.2024). – Назва з екрана.
10. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
11. Богуслаев В.О. Основы технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаев, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
12. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
15. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.
16. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.
17. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.
18. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології

машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя:  
НУ«Запорізька політехніка», 2023 - 41 с.

ДОДАТОК А  
Специфікація робочого пристосування

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Перв. примен.				<u>Документация</u>			
			НУЗП 293226.015	Складальне креслення			
	Справ. №				<u>Детали</u>		
			1		Корпус	1	
			2		Демпфер	1	
			3		Упор	1	
			4		Шток	1	
			5		Поршень	1	
			6		Кришка	1	
			7		Кришка	1	
			8		Стакан	1	
			9		Оправка	1	
			10		Кришка	1	
		11		Штуцер	2		
Подп. и дата		12		Диск	1		
		13		Демпфер	1		
Взам. инд. №				<u>Стандартные изделия</u>			
Подп. и дата		14		Гайка М16 ГОСТ 11871-88	2		
		15		Гвинт М8х30 ГОСТ 1491-80	8		
Инв. № подл.				НУЗП 293226.015			
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Чумак					
	Проб.	Тришин					
	Н.контр.	Дядя					
	Утв.	Дядя					
				Пристосування для свердління			
				Лист	Лист	Листов	
					1	2	
				НУЗП Мз-113м			



## ДОДАТОК Б

## Специфікація контрольного пристосування

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.	
								Справ. №
				<u>Документация</u>				
			НУЗП 402153.015	Складальне креслення	1			
				<u>Сборочные единицы</u>				
		1		Лівий центр	1			
		2		Правий центр	1			
		3		Штанга	1			
		4		Ручка	2			
				<u>Детали</u>				
		4		Основа	1			
		6		Плита	1			
				<u>Стандартные изделия</u>				
		7		Гвинт М10х40 ГОСТ 1491-70	4			
		8		Штифт 10х50 ГОСТ 3128-70	2			
		9		Индикаторный годинник ИЧ-10 0,01мм ГОСТ 577-68	1			
			<b>НУЗП 402153.015</b>					
			Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
			Разраб.	Чумак			Лист	Листов
			Проб.	Тришин				1
			Н.контр.	Дядя			НУЗП	
			Утв.	Дядя			гр. Мз-113м	

Копія

Формат А4