

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **О.Л.Сокольський**

« _____ » _____ 2025 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Віброшнековий живильник для дозування цементу з модернізацією шнека

Студент групи IV к. ЛУ-11
(шифр групи)

Мураль Роман Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____
(підпис)

Керівник проекту:

- доктор філософії, доцент, Швачко Денис Григорович
(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЯ _____ В.Ю. Щербина

ТЕХ.МАШ. _____ С.О. Борщик

ОХОРОНА ПРАЦІ _____ А.І. Ковтун

РЕЦЕНЗЕНТ _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент Мураль Р. С.

Київ 2025 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *131 Прикладна механіка*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **О.Л.Сокольський**

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Мураль Роману Сергійовичу

1. Тема проекту «Віброшнековий живильник для дозування цементу з модернізацією шнека», керівник проекту Швачко Денис Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «20.05» 2025 р. № 1653-С
2. Термін подання студентом проекту 16.06.2025р.
3. Вихідні дані до проекту: продуктивність живильника - 25 Пв, м3/год; частота обертання шнека 1,3 п, об/с; насипна маса матеріалу 1,6 ρ, т/м3.
4. Зміст пояснювальної записки: «Вступ», «Призначення та галузь застосування віброшнекового живильника», «Технологічна характеристика конструкції віброшнекового живильника», «Опис базової конструкції, її основних частин і принципу дії», «Літературний та патентний огляд», «Розрахунки», «Охорона праці», «Технологічний процес виготовлення дебалансного валу», «Висновки», «Перелік посилань», «Додатки».
5. Перелік графічного матеріалу: Технологічна лінія – формат А1, Віброшнековий живильник загальний вид – формат А1, Механічний вібратор – формат А2, Шнек – А2, Шнек модернізований - А2, Плакат виконання 3d моделі та розрахункова сітка модернізованого вузла – А1, Плакат розрахунка валка в середовищі ANSYS – формат А1.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЯ	Щербина В.Ю.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	Борщик С.О.		
ОХОРОНА ПРАЦІ	Ковтун А.І.		

Дата видачі завдання 28.05.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Літературно – патентний огляд	03.05.2023	
2.	Виконання параметричних розрахунків	06.05.2023	
3.	Виконання креслень загального виду	10.05.2023	
4.	Виконання креслення технологічної лінії	13.05.2023	
5.	Виконання розрахунків на міцність	15.05.2023	
7.	Виконання креслення вузла	22.05.2023	
8.	Виконання плакату результатів розрахунку	28.05.2023	
9.	Виконання розділу ТМ	02.06.2023	
10.	Виконання розділу ОП	07.06.2023	
11.	Загальні висновки. Перелік посилань.	10.06.2023	

Студент

Керівник проекту

Мураль Р. С.

Швачко Д. Г.

РЕФЕРАТ

Виконано бакалаврський дипломний проєкт на тему «Віброшнековий живильник для дозування цементу з модернізацією шнека». Головною метою дослідження стала оптимізація конструкції шнека з метою підвищення точності дозування цементу та надійності його подачі.

Проєкт включає пояснювальну записку, інженерні та технологічні розрахунки, а також графічну частину, виконану у системі AutoCAD. Розрахунки і моделювання конструкції проведено за допомогою ANSYS. Загальний обсяг роботи становить 88 сторінку, 7 креслень та посилання на 5 джерел.

У ході розробки було здійснено аналіз науково-технічної літератури, стандартів, креслень і патентів, а також виконано розрахунки, необхідні для вдосконалення конструкції. Окрема увага приділена вивченню конструкцій та технічних характеристик віброшнекових живильників, що використовуються для транспортування цементу.

Результатом дослідження стало технічно обґрунтоване рішення щодо модернізації шнека, яке дозволяє знизити рівень зносу, покращити рівномірність подачі та адаптувати обладнання до абразивних властивостей цементу.

Ключові слова: ВІБРОШНЕКОВИЙ ЖИВИЛЬНИК, ШНЕК, ЦЕМЕНТ, ДОЗУВАННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, СИПУЧІ МАТЕРІАЛИ, ІНЖЕНЕРНІ РОЗРАХУНКИ.

Abstract

A bachelor's thesis project was completed on the topic "Vibratory Screw Feeder for Cement Dosing with Screw Modernization." The main objective of the study was to optimize the screw design to improve the accuracy of cement dosing and the reliability of material feeding.

The project includes an explanatory report, engineering and technological calculations, as well as a graphic section created using AutoCAD. The design calculations and simulations were performed using ANSYS. The total volume of the project consists of 88 pages, 7 technical drawings, and references to 5 sources.

During the development process, an analysis of scientific and technical literature, standards, technical drawings, and patents was carried out, along with the necessary calculations for design improvement. Special attention was paid to the study of the structure and technical characteristics of vibratory screw feeders used for cement transportation.

As a result of the research, a technically justified solution for screw modernization was proposed, which reduces wear, enhances feed uniformity, and adapts the equipment to the abrasive properties of cement.

Keywords: VIBRATORY SCREW FEEDER, SCREW, CEMENT, DOSING, MODERNIZATION, BULK MATERIALS, ENGINEERING CALCULATIONS.

Перелік умовних позначень

Умовні позначення:

D, d – діаметр, м;

L, l – довжина, м;

F – площа поверхні, м²;

M – момент, Н·м;

P – тиск, Па;

η – коефіцієнт корисної дії;

n – запас міцності;

T – температура, К;

m – маса, кг;

δ – товщина, м;

ρ – густина, кг/м³;

W – момент опору, м³;

f – площа поперечного перерізу, м²;

Зміст

ВСТУП.....	8
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА	9
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКЦІЇ ВІБРОШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА	Помилка! Закладку не визначено.
3. ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ	Помилка! Закладку не визначено.
4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД	Помилка! Закладку не визначено.
4.1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	Помилка! Закладку не визначено.
4.2 ОБГРУНТУВАННЯ	19
5. РОЗРАХУНКИ	Помилка! Закладку не визначено.
5.1 Параметричні розрахунки	Помилка! Закладку не визначено.
5.2 Кінематичні розрахунки	Помилка! Закладку не визначено.
5.3 Розрахунки на міцність та жорсткість.....	Помилка! Закладку не визначено.
5.4 ЧИСЛОВІ РОЗРАХУНКИ.....	Помилка! Закладку не визначено.
5.4.1 Побудова базової моделі	Помилка! Закладку не визначено.
5.4.2 Результати побудови базової моделі	Помилка! Закладку не визначено.
5.4.3 Побудова модернізованої моделі.....	32
5.4.4 Числове моделювання базової моделі.....	36
5.4.5 Результати числових розрахунків базової конструкції.....	40
5.4.6 Числове моделювання модернізованої моделі	41
5.4.7 Результати числових розрахунків модернізованої конструкції.....	44
6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	47
6.1 Повітря робочої зони	47
6.2 Промислове освітлення	48
6.3 Шум у виробничому середовищі	48
6.4 Електробезпека.....	49
6.5 Пожежна безпека.....	50
7 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛУ	53
7.1 Опис та призначення деталі	53
7.2 Технологічний процес виготовлення деталі	54
7.3 Вибір пристосування для обробки.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	65
ДОДАТКИ	66

						ЛУ11.075183.001-90 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб.		Мураль Р.С.			Віброшнековий живильник для дозування цементу з модернізацією шнека	Літ	Арк	Аркушів
Перевір.		Швачко Д.Г.					7	90
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ		
Н. Контр.								
Затверд.		Сокольський О.Л.						

ВСТУП

Віброшнековий живильник — це спеціалізований пристрій, призначений для транспортування, подачі або дозування сипучих матеріалів, таких як порошки, гранули чи інші дрібні частинки. Такі системи широко використовуються в різних галузях промисловості, включаючи харчову, фармацевтичну, хімічну та машинобудівну, де необхідна точна й рівномірна подача матеріалу до наступного етапу технологічного процесу.

Основний принцип роботи віброшнекового живильника полягає у поєднанні вібраційного впливу та обертального руху шнека (гвинтового елемента), який забезпечує ефективне транспортування сипучих матеріалів по напрямній. Завдяки вібрації значно зменшується тертя матеріалу з поверхнею живильника та запобігається його злежуванню, а шнек забезпечує механічну подачу матеріалу на необхідну відстань або висоту.

Такі живильники дозволяють регулювати продуктивність (об'єм подачі) за рахунок зміни частоти вібрації або швидкості обертання шнека, що забезпечує їхню універсальність і адаптацію до різних виробничих умов. Крім того, конструкція живильника може бути налаштована для роботи з різними матеріалами, включаючи ті, що мають абразивний або крихкий характер [1].

1 – ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

Технологічна лінія виробництва цементної сировини призначена для видобутку, обробки, випалу, охолодження, сортування та підготовки сировини до подальшого використання або продажу. Загальну схему такого виробничого процесу наведено на рисунку 1.1.

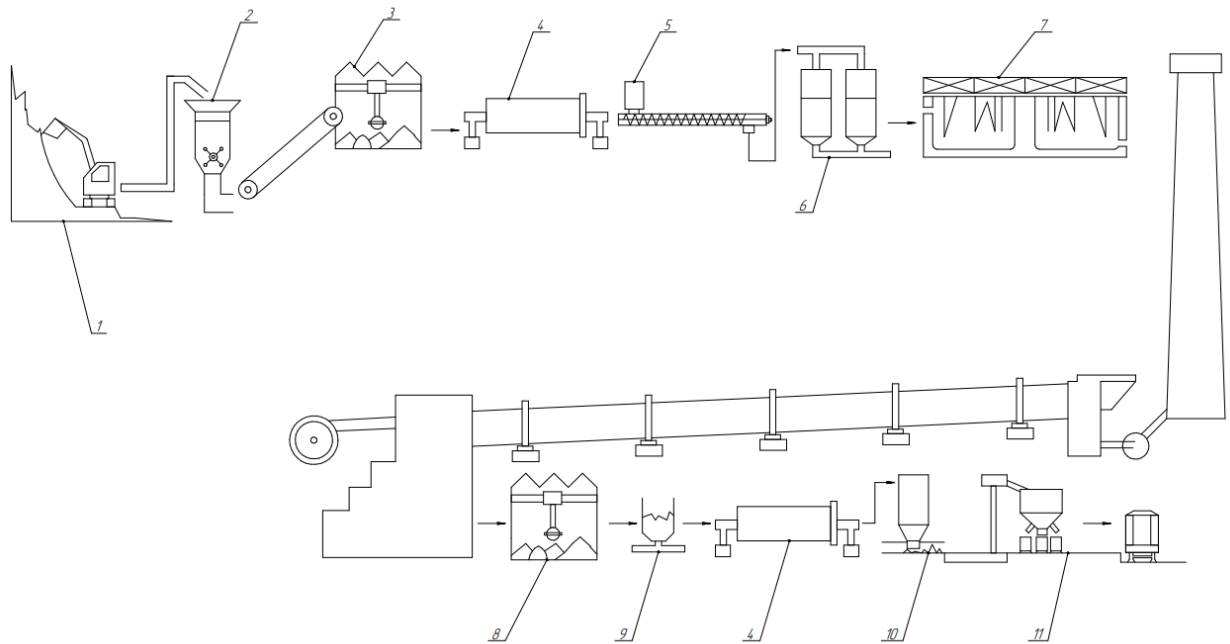


Рисунок 1.1 – Технологічна лінія виробництва цементної сировини

Процес починається з кар'єру, де здійснюється добування сировини, яка після цього надходить на подрібнення. На етапі подрібнення матеріал підготовлюється до подальшої обробки, після чого проходить через дробарку крупного дроблення для зменшення розміру великих шматків до необхідних параметрів. Далі підготовлена сировина потрапляє у піч, де відбувається її випал для надання потрібних фізико-хімічних властивостей. Випалений матеріал охолоджується в обертальному холодильнику, після чого зберігається у бункері. З бункера матеріал подається до барабана для облагородження, де проходить додаткову обробку з метою покращення якості. Після цього оброблений матеріал потрапляє у камеру для контролю стану та якості, а далі — у відсіювач, де він сортується за фракціями. Розсортований

матеріал накопичується у бункерах, звідки надходить на завершальний етап – упаковку, що забезпечує підготовку готової продукції до транспортування або реалізації.

Одним із важливих елементів, що забезпечує стабільність подачі матеріалу між окремими етапами, є віброшнековий живильник. Його основне призначення полягає в регульованій та безперервній подачі сипких або гранульованих матеріалів у зони обробки або формування. Завдяки поєднанню вібраційного впливу та шнекового транспортування, забезпечується стабільний, рівномірний потік матеріалу навіть у випадках, коли останній має схильність до злипання, мостіння або нерівномірної подачі.

Вібрація сприяє розпушенню матеріалу, зменшенню внутрішнього тертя та запобігає утворенню повітряних пустот, тоді як шнек забезпечує спрямований рух матеріального потоку. Це особливо важливо для забезпечення рівномірного завантаження екструдерів, пресів, сушарок або формувальних машин, що безпосередньо впливає на якість та стабільність виробничого процесу.

Віброшнекові живильники активно застосовуються у хімічній, харчовій, фармацевтичній, будівельній, аграрній та полімерній промисловості, а також у виробництві будівельних сумішей, пластикових гранулятів, порошків, добрив та комбікормів. У полімерній промисловості вони відіграють важливу роль у процесах дозованої подачі наповнювачів, стабілізаторів, барвників або базового полімеру до змішувачів і переробного обладнання.

Завдяки різноманітним конструктивним варіаціям, таким як змінна довжина шнека, діаметр, форма витків, частота вібрації та матеріал виконання, віброшнекові живильники можуть бути адаптовані до найрізноманітніших умов експлуатації. Це забезпечує гнучкість інтеграції в різні технологічні лінії, знижує ймовірність збоїв та підвищує загальну ефективність виробництва [2].

2 – ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКЦІЇ

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика конструкції

Назва технічної характеристики	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
Насипна маса матеріалу	ρ	1,6	т/м ³
Продуктивність живильника	Q	25	м ³ /год
Частота обертання шнека	n	13	об/с
Довжина шнека	L	1,278	м
Крок гвинта	S	0,213	м
Діаметр шнека	D	0,213	м
Коефіцієнт запасу міцності	K	2	—

3 - ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ВІБРОШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

Робота віброшнекового живильника базується на поєднанні обертального і коливального рухів. Матеріал із бункера подається до патрубку, який закріплений на спеціальних амортизаторах. Для запобігання злежуванню матеріалу та покращення його плинності в конструкції передбачено встановлення дебалансного вібратора. Вібраційні коливання, створені вібратором, забезпечують безперервну подачу матеріалу до шнека. Шнек переміщує матеріал через вихідний лоток до наступної стадії технологічного процесу.

Загальна конструкція живильника (рис. 3.1).

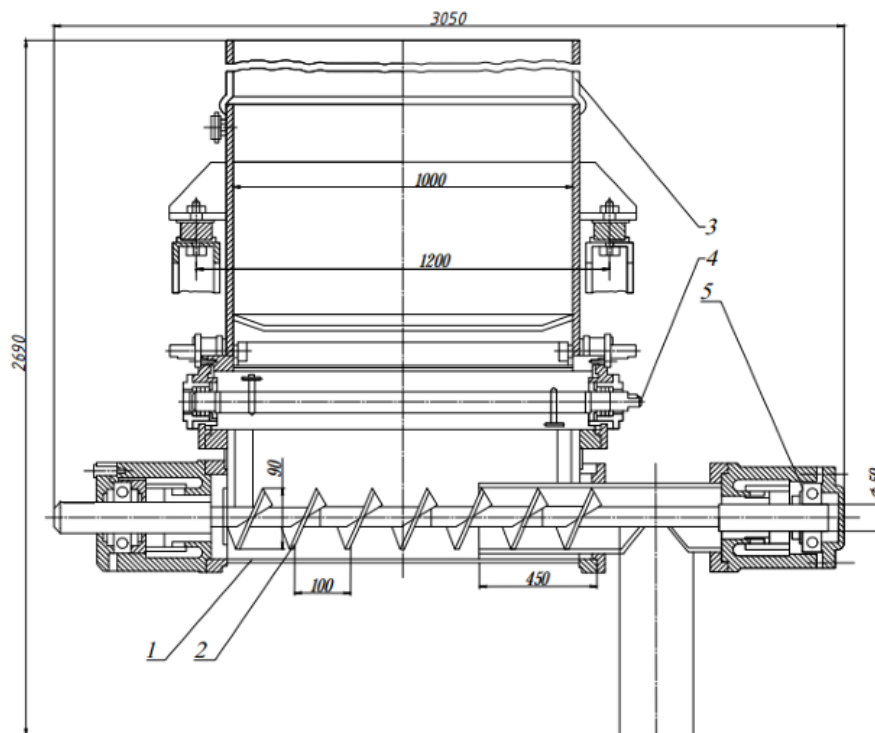


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд віброшнекового живильника:

1 – корпус шнека; 2 – шнек; 3 - бункер; 4 - вібратор; 5 – підшипниковий вузол;

Привод шнека складається з електродвигуна, одноступінчастого циліндричного редуктора та муфти. Під час транспортування матеріалу по

жолобу на нього діють поперечні сили тиску гвинта та тертя об його поверхню, що зміщує центр мас вантажу, проте не викликає його обертання. Це забезпечує переміщення матеріалу вздовж осі шнека і його видалення через розвантажувальний патрубок.

Основними критеріями вибору шнека є фізичні та хімічні властивості матеріалу, а саме: насипна густина, розмір часток, вологість, температура, абразивність, а також вимоги до продуктивності. Привід дебалансного вібратора функціонує через гнучку муфту, а режим його роботи (зарезонансний, дорезонансний або резонансний) впливає на компенсацію сил інерції чи пружності. Дебалансний вібратор належить до інерційного типу та генерує постійні збуджуючі сили, що змінюють напрямок у процесі обертання. Його перевагами є компактність, невелика маса і можливість забезпечення високих збуджуючих сил.

Перевагами живильника є: герметичність конструкції, що дозволяє транспортувати сипучі, сухі та пиловидні матеріали; живильник забезпечує безперервну і рівномірну подачу; простота в обслуговуванні; можливість експлуатації в запилених і вибухонебезпечних середовищах; стійкість до високих температур і абразивних властивостей матеріалів.

Недоліками живильника є: значні енерговитрати, через тертя між матеріалом, шнеком і жолобом; подрібнення матеріалу та знос елементів живильника (гвинта і жолоба); чутливість до перевантажень, що може викликати зупинку роботи [3].

4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

4.1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

З метою удосконалення конструкції шнека віброшнекового живильника було проведено огляд існуючих технічних рішень [4-7] по покращенню конструкції на можливість заміни елементів шнеку та ефективності транспортування. Розглянуто патенти по модернізації конструкції шнека віброшнекового живильника.

Суть вдосконалення [4] пояснюється кресленням шнека (рис. 4.1), що містить шнек 100, подовжений вал 102, кожен елемент 106 витка включає єдиний ряд лопатей 110, розташованих радіально від циліндричного вала 102. Лопаті 106 простягаються від вала 102 назовні радіально через відстань до зовнішнього краю 110. Отвори 112 розташовані з інтервалами один від одного по всій площині кожної лопаті 110. Кожен елемент 106 витка містить два ряди футеровки 114. Кожен ряд футеровки 114 містить лінійні сегменти 116, кожен з яких відповідно покриває дві лопаті 110. Лінійні сегменти 116 можуть бути знімними для полегшення встановлення та обслуговування. З'єднання кожного з лінійних сегментів 116 з двома лопатями 110 запобігає їх переміщенню або згинанню під час використання. Наявність двох лопатей 110 на кожному лінійному сегменті 116 дозволяє підтримувати постійну швидкість обертання для кожної лопаті 110 по всій її довжині.

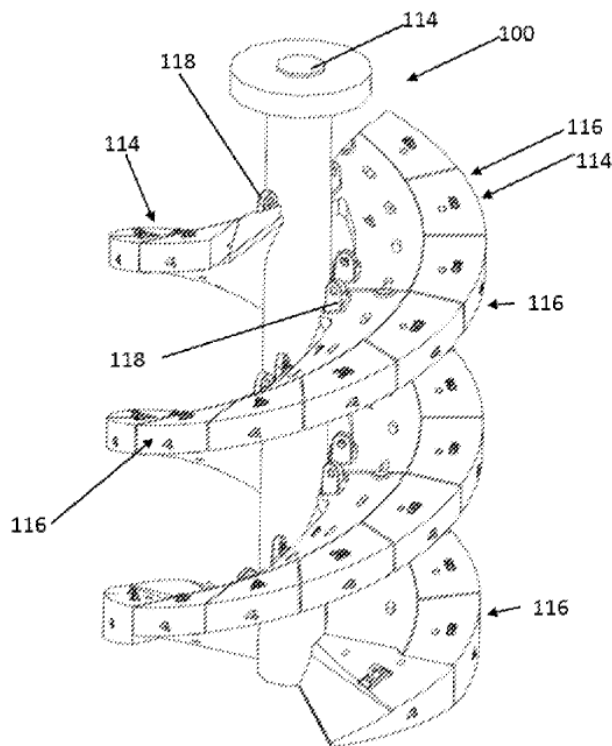


FIG 1A

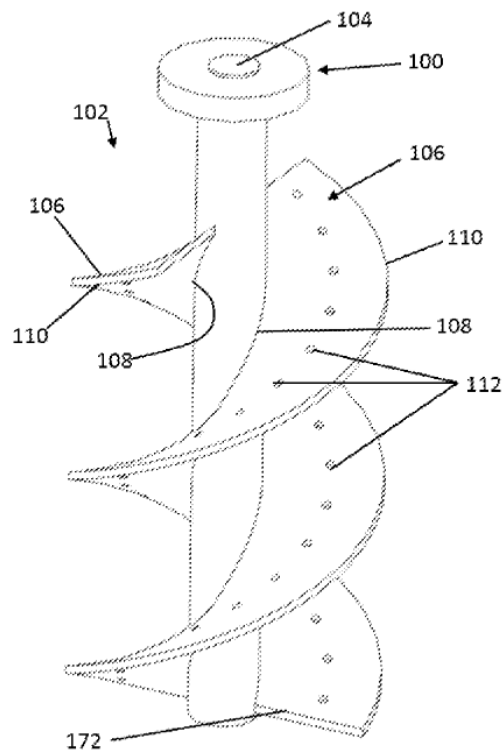


FIG 1B

Рисунок 4.1 – Конструкція шнека [4] (пояснення в тексті)

Вдосконалення конструкції полягає в тому, що знос шнека може бути зведений до мінімуму. У разі зносу частини лінійного сегмента 116, її необхідно замінити, а не замінювати весь шнек 100, що значно знижує витрати. Кожен лінійний сегмент 116, у свою чергу, містить ряд знімних зношуваних елементів 118, які прилягають до лінійного сегмента 116. Кожен лінійний сегмент 116 має отвори, утворені для розміщення кріплень 120. Кріплення 120 використовуються для з'єднання лінійного сегмента 116 з валом 102.

Таким чином, використання описаної модернізації дозволить збільшити строк служби шнеку за рахунок заміни сегментів які встановлюються на лопаті, тим самим, зменшити витрати та збільшити швидкість ремонту у випадку зношування його частин.

Суть вдосконалення [5] пояснюється кресленням (рис. 4.2), що містить трубчасто виконаний вал спіралі 35, також вал приводу 37 з боку приводу і

контрвал 39 з боку контрпідшипника. Вал приводу 37 обертово закріпленений в опорному підшипнику 31, а контрвал 39 – в не показаному детальніше контрпідшипнику. Фіг. 5 ілюструє згідно з позначеними на Фіг. 4 деталями Va і Vb у збільшеному вигляді з'єднання вала приводу 37 і контрвала 39 з валом спіралі 35. Ці з'єднання реалізовані за допомогою фланцевого з'єднання 51 з боку приводу і фланцевого з'єднання 41 з боку контрпідшипника. За допомогою цих роз'ємно виконаних фланцевих з'єднань 41, 51 можна проводити технічне обслуговування або заміну окремих компонентів або підсистем без демонтажу інших компонентів або підсистем з жолобкової спіралі 1. Так, наприклад, у разі заклинювання транспортної спіралі 5 через прилипли накопичення вантажу, що транспортується, з жолоба 3, її можна вийняти після роз'єднання фланцевих з'єднань 41, 51, і жолоб 3 можна повністю очистити. В іншому випадку можна замінити опорний підшипник 31 і/або контрпідшипник у разі зносу, без необхідності виймати транспортну спіраль 5.

Fig. 4

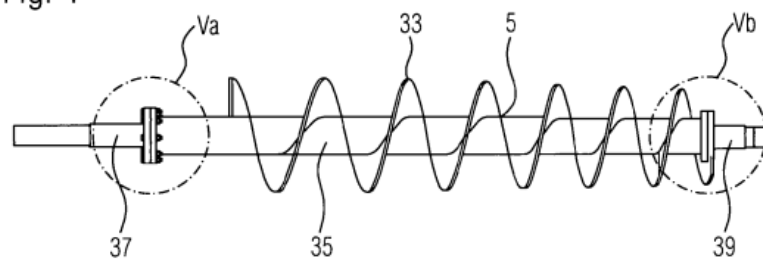


Fig. 5

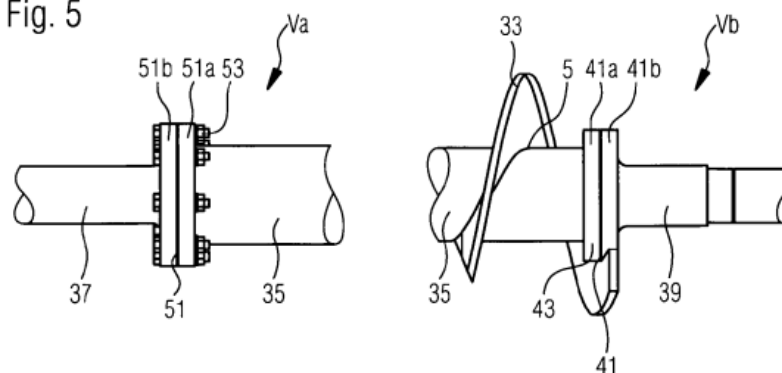


Рисунок 4.2 – Конструкція шнека [5] (пояснення в тексті)

Вдосконалення конструкції полягає в тому, якщо, наприклад, пошкодження, яке потрібно відремонтувати, стосується опорного підшипника або контрпідшипника, цей підшипниковий пристрій можна зняти з пристрою у відповідному місці за допомогою кількох операцій від'єднання, наприклад, відкрутивши гвинтові з'єднання на фланцевому з'єднанні та, якщо необхідно, відкрутивши гвинтові з'єднання, що фіксують відповідну стінку, і відремонтувати або замінити окремо від пристрою.

Таким чином, ця конструкція значною мірою знижує вартість виробництва, зменшує відходи ресурсів, спрощує уніфіковане управління і обслуговування в цеху.

Суть вдосконалення [6] пояснюється кресленням (рис. 4.3), що містить основний корпус транспортувального вала (1) та спіральний ряд, причому спіральний ряд надітий на зовнішню сторону основного корпусу транспортувального вала (1), що відрізняється тим, що: основний корпус транспортувального вала (1) включає подавальну головку (6), корпус вала (7) та установчий вал (8), подавальна головка (6) та установчий вал (8) встановлені на обох кінцях корпусу вала (7) як одне ціле та розташовані коаксіально, на кінці корпусу вала (7) є гвинтова секція;

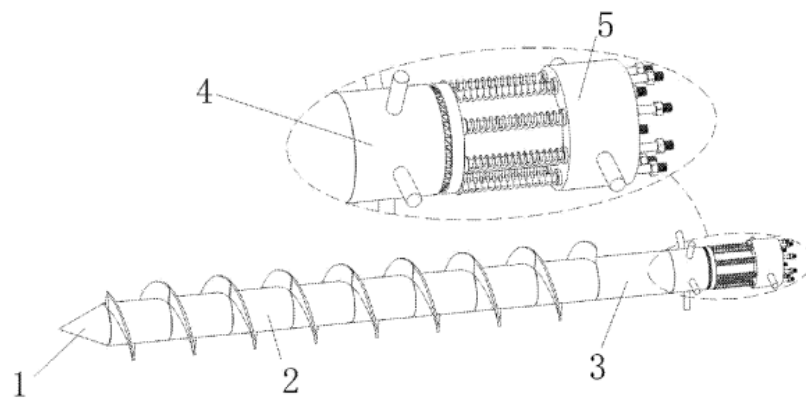


图 1

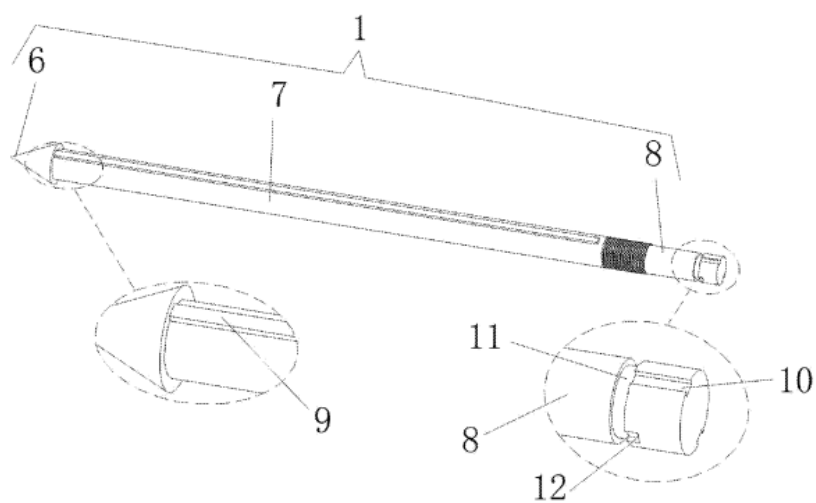


Рисунок 4.3 – Конструкція екструзійної головки [6] (пояснення в тексті)

Вдосконалення конструкції полягає в тому, що завдяки цій конструкції, вона реалізує швидке складання основного корпусу транспортувального вала, шнекового ряду та монтажної труби за допомогою поєднання кріпильного елемента та компонента захисту від розкручування. Конструкція встановлення кріпильного елемента та компонента захисту від розкручування проста та зручна, забезпечує стабільність конструкції, а також може підвищити ефективність розбирання та складання. Зручне подальше обслуговування вирішує проблему прослизання різьби або іржі, через яку неможливо розібрати пристрій після тривалого використання гвинтів у існуючих технологіях.

Таким чином, ця конструкція значною мірою що запобігає витрачання значної кількості часу робітниками на обслуговування також підвищує зручність встановлення елементів шнека.

Суть вдосконалення [7] пояснюється кресленням (рис. 4.4), що містить 1 - напівгвинтовий обертовий вал, 2 - двоцільова двонаправлена лопать, 3 - пряма штовхальна лопать (тобто двоцільова пряма штовхальна лопать), 4 - зворотна штовхальна лопать (тобто двоцільова зворотна штовхальна лопать), 16 - проміжна пряма лопать.

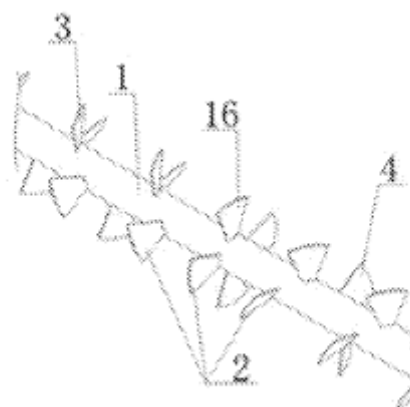


Рисунок 4.4 – Конструкція напівгвинтового обертового валу з лопатями [7]
(пояснення в тексті)

Вдосконалення конструкції полягає в тому, що передні та зворотні лопаті похило приварені до лівої, правої, лівої та правої секції обертового валу з інтервалами у спіральному режимі, квазіспіральний обертовий вал з передніми лопатями утворений на лівій секції обертового валу, а квазіспіральний обертовий вал зі зворотними лопатями утворений на правій секції обертового валу. Середній випускний отвір адаптивно утворений; протилежні осьові складові сили передніх та зворотних лопатей відповідно проштовхують фільтрувальний осад до середнього випускного отвору, а тим часом радіальні сили передніх та зворотних лопатей можуть транспортувати матеріал.

Таким чином, вирішується технічна проблема, за якої ефективність транспортування корпусу з валом нижча, ніж у корпусу з валом; шлях транспортування скорочується, а ефективність транспортування покращується.

4.2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Оглянуті вище технічні рішення дозволяють зменшити габарити [4-7], підвищують ефективність транспортування та, підвищують якість транспортування, спрощують виготовлення та експлуатацію шнека.

Проте розглянуті рішення не забезпечують ні точного регулювання подачі матеріалу, ні можливості швидкої заміни відпрацьованих частин.

Для досягнення зазначених цілей, було додатково обрано рішення [8], яке забезпечує точне і швидке регулювання подачі матеріалу та подано відповідний патент на корисну модель України [8], використання якої дозволяє досягти вищезгаданих цілей.

Нижче наведено детальний опис цих рішень.

На рис. 4.5, показано конструкцію шнека віброшнекового живильника [8]. Екструзійна головка містить вал 1, на якому розташовано зовнішню оболонку 2, на якій є витки шнека 3. Ця частина з'єднується з такою ж частиною в полодженні 4. Всі ті частини фіксуються втулкою 10 натискними болтами 12.

Конструкція працює наступним чином. За рахунок можливості знімання частин шнека, можна проводити заміну відпрацьованих частин а також змінювати крок навивки.

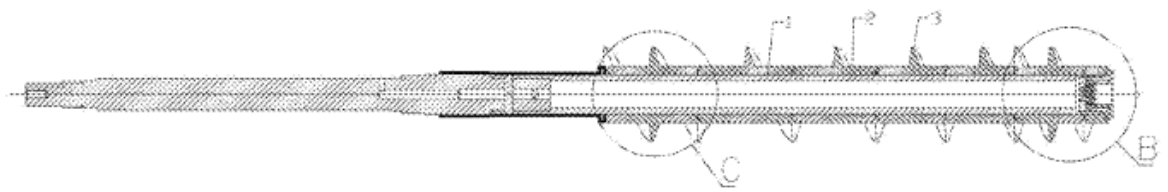


图2

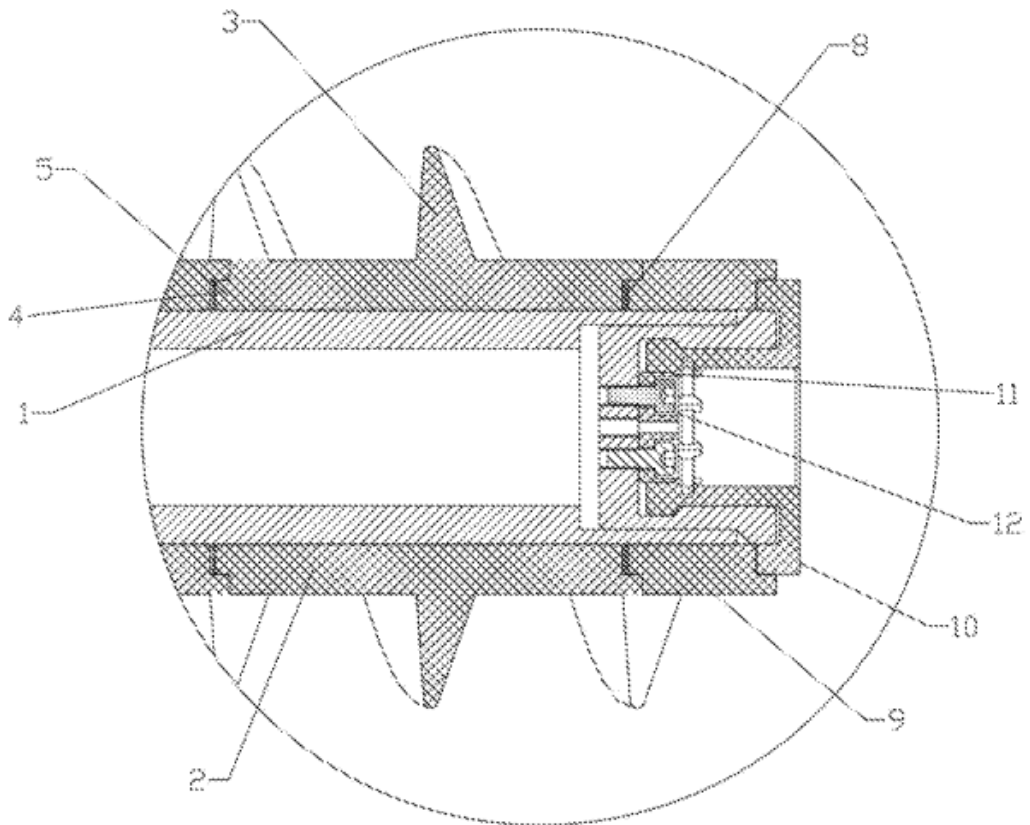


Рисунок 4.5 – Схематичне зображення шнека [8] (пояснення в тексті)

Таким чином, винахід дає змогу регулювати подачу матеріалу, проводити швидку заміну відпрацьованих частин шнеку.

5 РОЗРАХУНКИ

5.1 Параметричні розрахунки

Параметричні розрахунки виконуються для валідації обраної конструкції та проектного рішення з метою перевірки правильності його параметрів, а також подальшої оптимізації, якщо це необхідно. Згідно джерела [2], технічні характеристики віброшнекового живильника наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики віброшнекового живильника

Продуктивність живильника П _v , м ³ /год	Частота обертання шнека, n, об/с	Насипна маса матеріалу, ρ, т/м ³
25	1,3	1,6

Всі інші необхідні для розрахунків коефіцієнти наведені в таблиці 5.2 [2,3]. Діаметр шнека розраховується на основі формули продуктивності для віброшнекових живильників, [3]:

Продуктивність (м³/год):

$$P_v = 900\pi D^2 S n \varphi,$$

де S — крок гвинта, м, $S = D$; D — діаметр шнека, м; n — частота обертання, об/хв; φ — коефіцієнт використання об'єму жолоба (0,6...0,8), приймаємо φ = 0,7.

Таблиця 5.2 – Значення розрахункових коефіцієнтів, A та w

Вантаж	Розрахункові коефіцієнти		
		A	W
Легкий і неабразивний (зернові продукти, борошно, деревна тирса)	0,4	65	1,2
Легкий і мілко абразивний (крейда, вугільний пил, асбест, торф, сода)	0,32	50	1,6
Важкий та малоабразивний (сіль, кускове вугілля, суха глина)	0,25	45	2,5
Важкий і абразивний (цемент, зола, пісок, волога глина, дроблена руда, шлак)	0,125	30	4,0

За допомогою цієї формули, знаходимо значення діаметру шнека:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P_v}{900\pi n \rho}} = \sqrt[3]{\frac{25}{900 * 3.14 * 1.3 * 0.7}} = 0,213 \text{ м},$$

Діаметр шнека необхідно узгодити з ДСТУ 2037-75. Остаточньо обираємо $D=0,25$ м.

Частота обертання залежить від діаметра гвинта та властивостей переміщуваного матеріалу. Матеріал повинен плавно переміщатися, не пересипаючись через вал. Зі збільшенням діаметра шнека, щільність та абразивності продукту частота обертання зменшується [3].

Розраховуємо по емпіричній формулі найбільш допустиму частоту обертання гвинта:

$$n_{max} = \frac{P_v}{v\rho},$$

де n_{max} — максимально допустима частота обертання шнека, об/с; P_v — продуктивність живильника, м³/год; v — коефіцієнт заповнення шнека; ρ — насипна маса матеріалу, т/м³.

Переведемо P_v у м³/с:

$$P_v = \frac{25}{3600} = 0,00694 \text{ м}^3/\text{с},$$
$$n_{max} = \frac{0,00694}{1,3 * 1,6} = 0,00333 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 0,2 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

Розраховуємо довжину шнека, враховуючи, що $L = (6 \dots 8)D$, тому $L = 6 * 0,25 = 1,5$ м.

Потужність двигуна визначаємо за формулою:

$$N = \frac{P_v \rho L W g}{367 \eta_y},$$

де W — коефіцієнт опору руху матеріалу (1,5...4,0); η_y — ККД установки (0,8...0,9); ρ — густина насипного матеріалу, т/м³; g — прискорення вільного падіння, м/с².

$$N = \frac{25 * 1,6 * 1,5 * 2 * 9,8}{367 * 0,85} = 3,77 \text{ кВт},$$

Швидкість переміщення матеріалу в шнеку розраховується як:

$$v = n \cdot S = 1,3 * 0,25 \approx 0,325 \text{ м/с}$$

Пропускную здатність шнека розраховуємо за формулою:

$$Q = \pi * \frac{D^2}{4} * S * n.$$
$$Q = 3,14 * \frac{0,25^2}{4} * 0,25 * 1,3 = 0,016 \text{ м}^3/\text{с}$$

5.2 Кінематичні розрахунки

Розрахунок проводимо за такою методикою [9].

Розрахунок частоти обертання шнека у хвилинах (n_{XB}):

$$n_{XB} = n * 60$$

$$n_{XB} = 1,3 * 60 = 78 \text{ об/хв.}$$

Розрахунок кутової швидкості шнека (ω) обчислюється за формулою:

$$\omega = 2\pi n$$

$$\omega = 2 * 3,14 * 1,3 = 8,164 \text{ рад/с}$$

Розрахунок об'ємного потоку матеріалу (Q об'ємна продуктивність шнека) визначається за формулою:

$$Q = \frac{P_v}{3600}$$

$$Q = \frac{25}{3600} = 0.00694 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Розрахунок крутного моменту (M) визначаємо за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P * 60}{2\pi n}$$

Тепер обчислюємо крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{3,2 * 1000 * 60}{2 * 3,14 * 1,3} = 23518 \text{ Н * м}$$

Визначення сили натягу валу (F) проводимо за формулою:

$$F = \frac{M_{кр}}{r},$$

де $r = D/2 = 0,125$ м — радіус шнека, тому

$$F = \frac{23518}{0,125} = 188 \text{ Н.}$$

Потужність двигуна на валу ($P_{вал}$):

$$P_{вал} = M_{кр} \omega$$

$$P_{вал} = 23518 * 8,168 = 192 \text{ Вт.}$$

5.3 Розрахунки на міцність та жорсткість

Розрахунок проводимо за такою методикою [10].

Вихідні данні для розрахунку:

Радіус шнека: $r = 0,125$ м;

Кутова швидкість шнека: $\omega = 8,164$ рад/с;

Об'єм шнека: $V = 0.01$ м³;

Щільність матеріалу: $\rho = 1,6$ т/м³;

Площа поперечного перерізу шнека: $A = 0,002$ м²;

Крутний момент: $M_{кр} = 23518$ Н/м;

Діаметр шнека: $D = 0,25$ м;

Допустиме дотичне напруження: $\tau_{доп} = 50$ Мпа;

Довжина шнеку: $L = 1,278$ м;

Прискорення вільного падіння: $g = 9.81$ м/с²

Розраховуємо згинальний момент шнека для розподіленого навантаження q на балку із закріпленими кінцями:

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{8},$$

де q – лінійна маса:

$$q = \rho * g * A = 1,6 * 9,81 * 0,002 = 31,4 \text{ Н/м.}$$

Підставляємо дані, для розрахунку згинального моменту:

$$M_{\max} = \frac{31,4 * 1,278^2}{8} = 6,4 \text{ Н * м,}$$

Визначаємо сили інерції визначаються за такою формулою:

$$F = m \cdot a$$

де m – маса шнеку, a – прискорення.

Прискорення:

$$a = \omega^2 r = 8,164^2 * 0,125 = 8,3 \text{ м/с}^2$$

Маса шнека :

$$m = \rho V = 1600 * 0,01 = 16 \text{ кг.}$$

Тому сила інерції:

$$F = 16 * 8,3 = 132,8 \text{ Н,}$$

Розраховуємо додатковий момент від сили інерції:

$$M_F = F \frac{L}{2} = 132,8 * \frac{1,278}{2} = 84,9 \text{ Н * м.}$$

Розраховуємо загальний згинальний момент, сумуючи моменти:

$$M_{зг} = M_{мак} + M_F = 6,4 + 84,9 = 91,3 \text{ Н * м}$$

Напруження σ визначається як:

$$\sigma = \frac{F}{A},$$

де A — площа поперечного перерізу шнека:

$$\sigma = \frac{132,8}{0,002} = 66,4 \text{ МПа.}$$

Момент інерції I для циліндричного перерізу:

$$I = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{3,14 * 0,25^4}{64} = 0,0002 \text{ м}^4$$

Перевірку на міцність проводимо за допомогою формули максимального напруження у шнеку:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{кр} r}{I} = \frac{23518 * 0,125}{0,0002} = 15 \text{ МПа}$$

Для забезпечення міцності діаметр шнека перевіряється за формулою:

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16 M_{кр}}{\pi \tau_{доп}}},$$

де $\tau_{доп}$ — допустиме дотичне напруження, $\tau_{доп} = 50 \text{ МПа}$.

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 23518}{3,14 * 50 * 10^6}} = 0,134 \text{ м,}$$

З цього випливає, що $D = 0,25 \text{ м}$ відповідає вимогам.

Коефіцієнт запасу міцності визначається як відношення допустимого

напруження до фактичного:

$$K = \frac{\tau_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{50}{15} = 3,3.$$

Коефіцієнт запасу міцності $K = 3,3$ свідчить про високу надійність конструкції.

5.4 ЧИСЛОВІ РОЗРАХУНКИ

5.4.1 Побудова базової моделі

Починаємо проектувати 3D-модель вузла шнека віброшнекового живильника в системі «SolidWorks 2022».

Початок моделювання починаємо зі створення нового ескізу «Sketch» та обертаємо наш ескіз через команду «Revolved boss/base» (рис. 5.1).

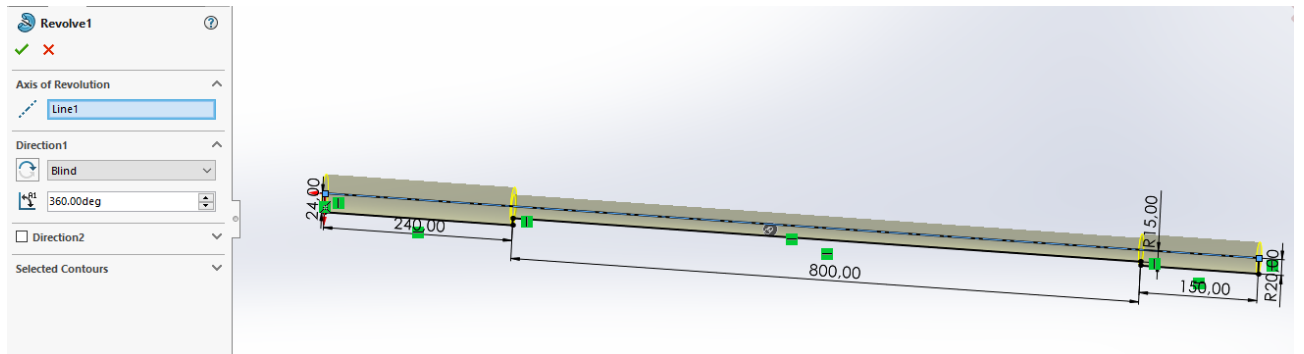


Рисунок 5.1 – Операція «Revolved boss/base»

Далі утворюємо фаску (рис. 5.2)

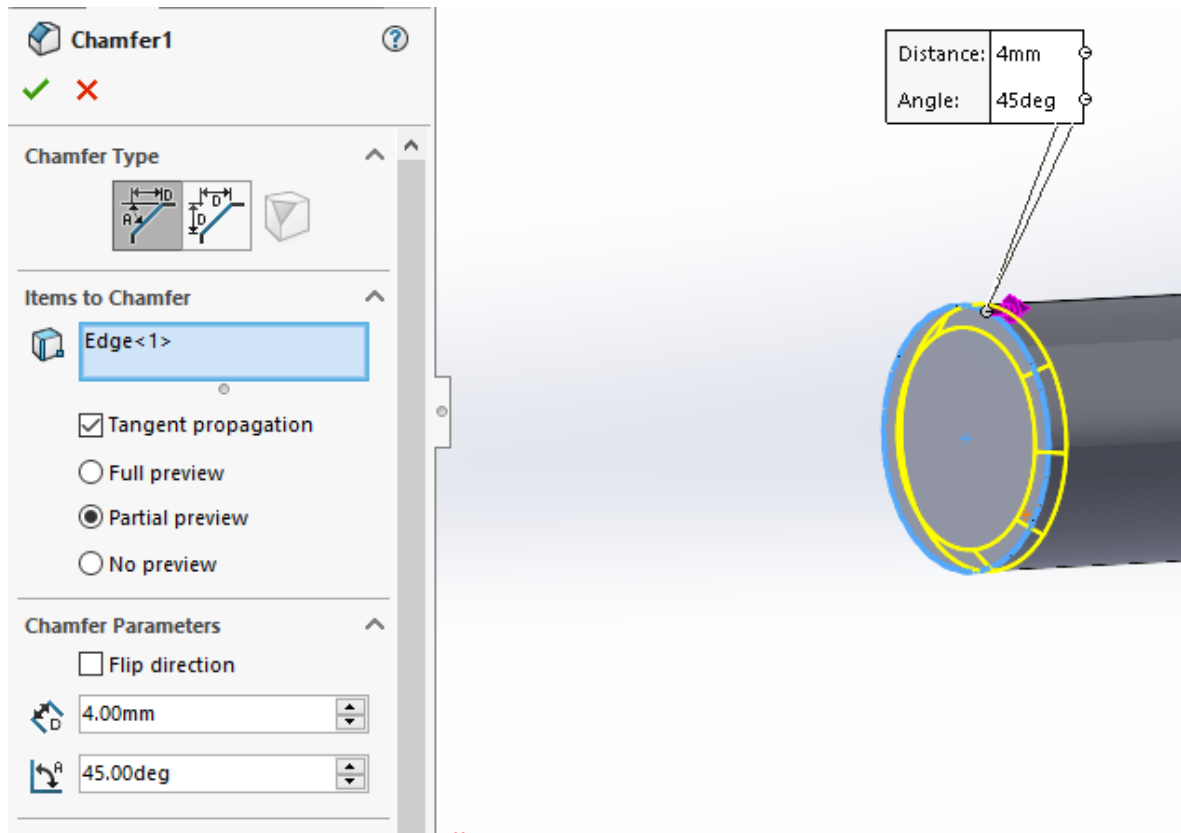


Рисунок 5.2 – Операція «Chamfer»

Після виконання деяких побудов, переходимо до вирізання шпонкового пазу (рис. 5.3)

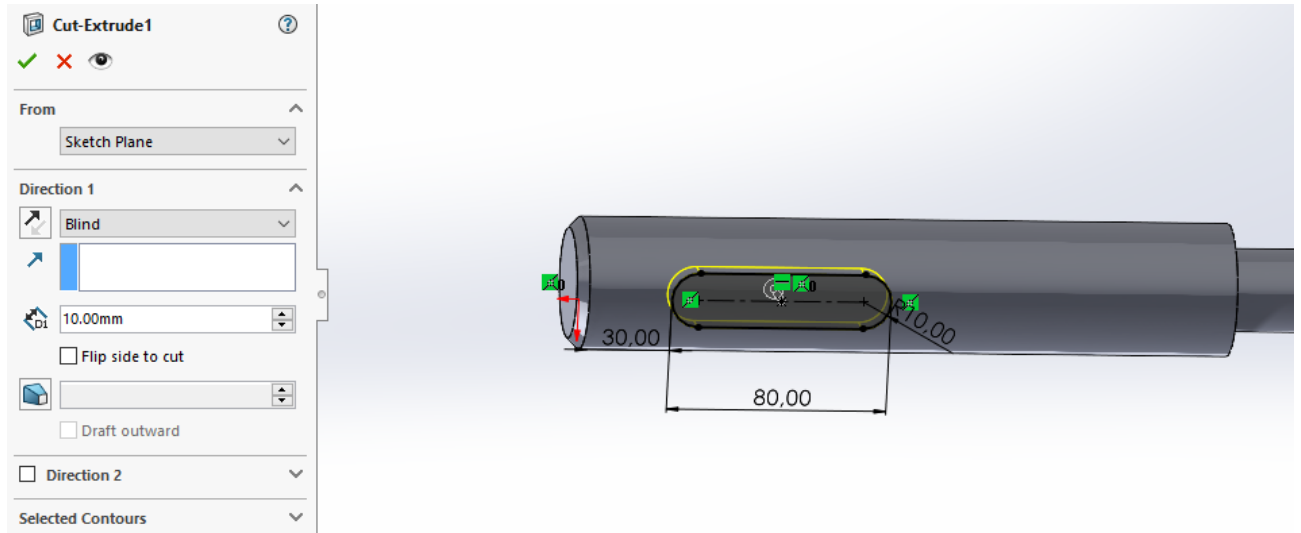


Рисунок 5.3 – Операція «Extruded cut»

Тепер на черзі робимо диск (рис. 5.4).

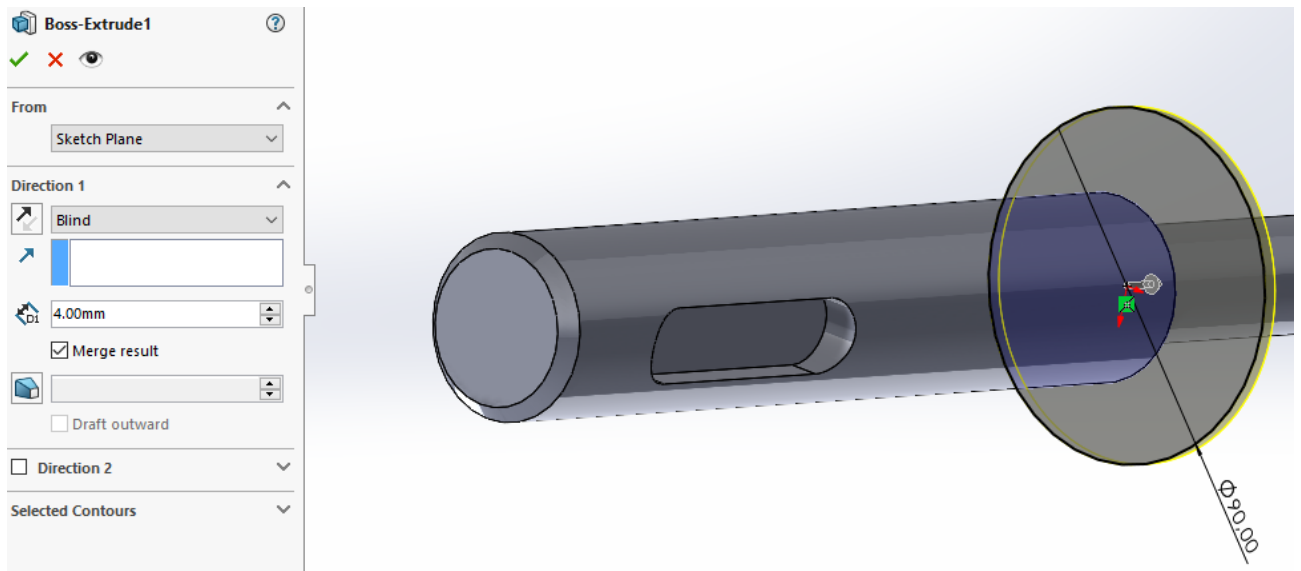


Рисунок 5.4 – Операція «Extruded boss»

Створюємо спіраль для формування витків шнека (рис. 5.5)

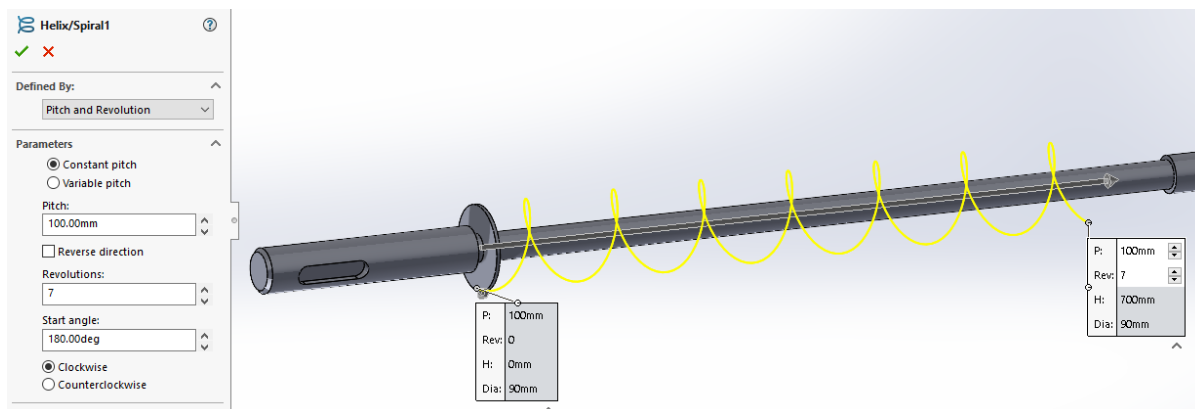


Рисунок 5.5 – Операція «Helix/Spiral»

Далі утворюємо ці витки (рис. 5.6)

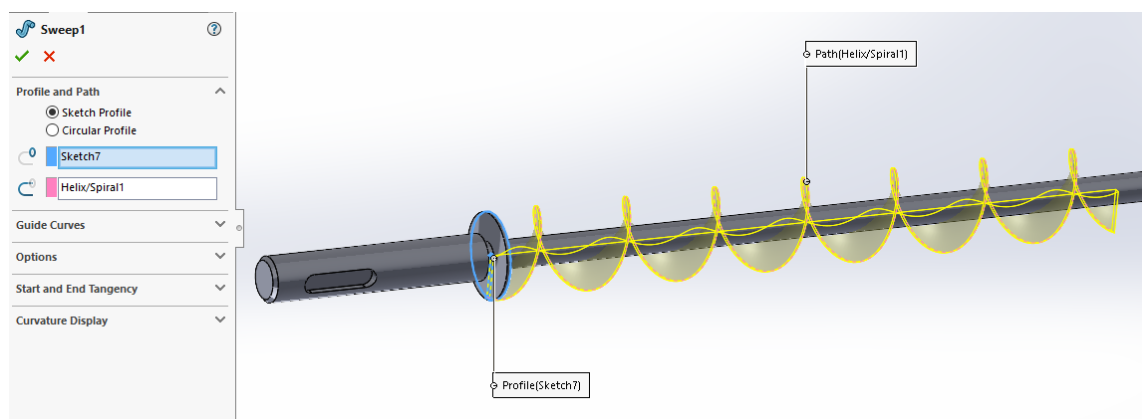


Рисунок 5.6 – Операція «Sweep»

Останнім кроком ми робимо завертання витка (рис. 5.7)

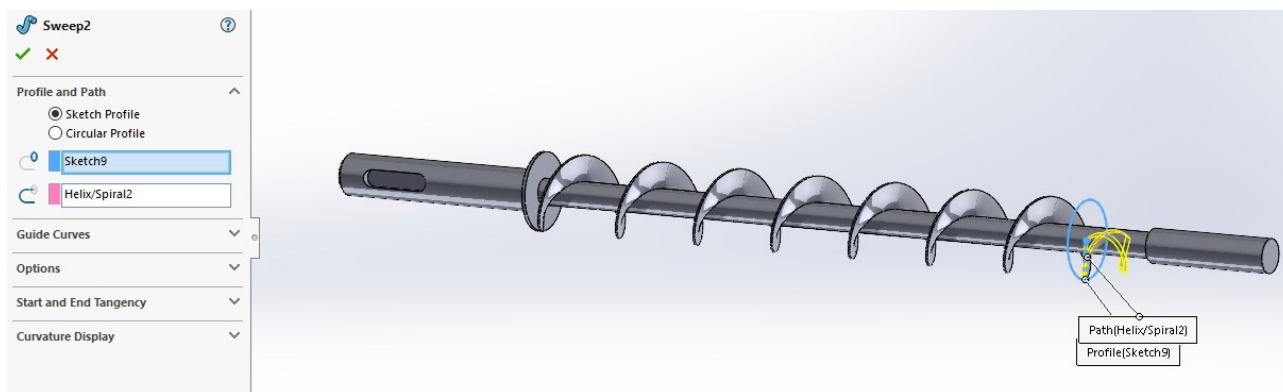


Рисунок 5.7 – Операція «Sweep»

5.4.2 Результати побудови базової моделі

Після всіх побудов ми отримуємо шнек (рис. 5.8)

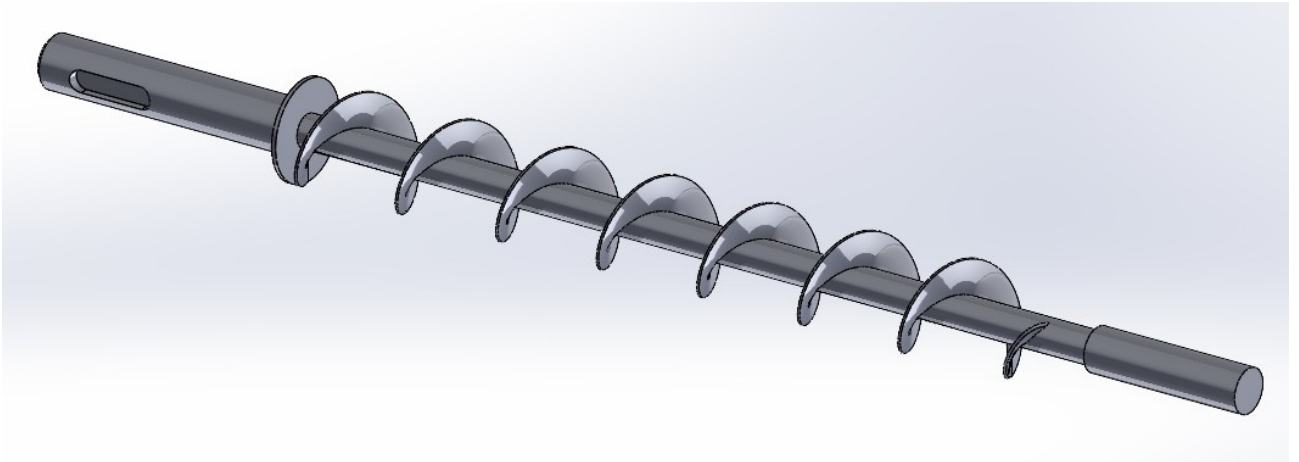


Рисунок 5.8 – Результат побудови шнека віброшнекового живильника

5.4.3 Побудова модернізованої моделі

Початок моделювання починаємо зі моделювання валу шнека, а в ньому проводимо створення нового ескізу «Sketch» та обертаємо наш ескіз через команду «Revolved boss/base» (рис. 5.9).

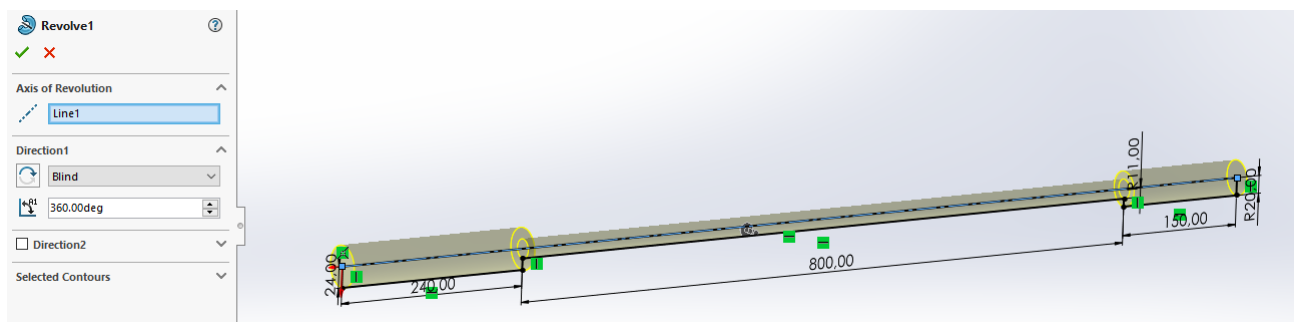


Рисунок 5.9 – Операція «Revolved boss/base»

Після виконання деяких побудов, переходимо до вирізання шпонкового пазу (рис. 5.10)

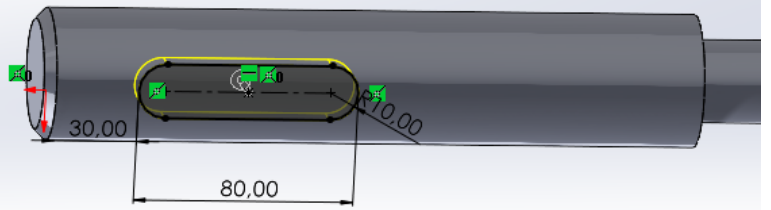
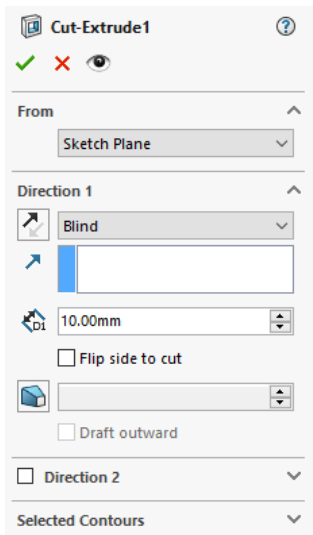


Рисунок 5.10 – Операція «Extruded cut»

Тепер на черзі робимо виріз зверху та знизу (рис. 5.11).

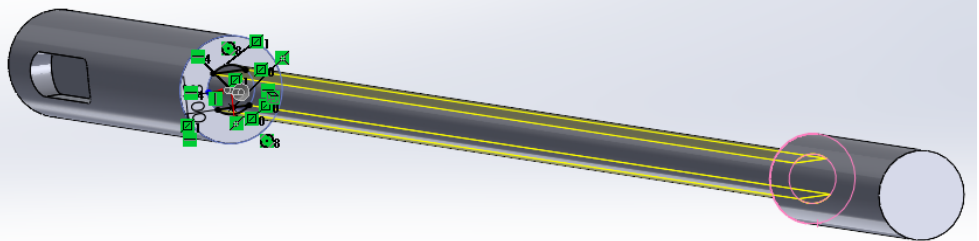
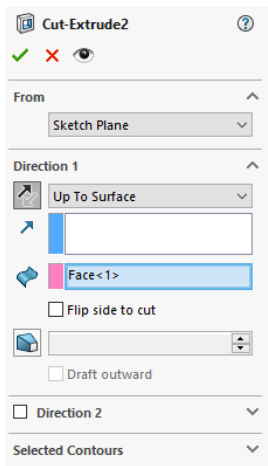


Рисунок 5.11 – Операція «Extruded cut»

Створюємо отвір всередині валу (рис. 5.12)

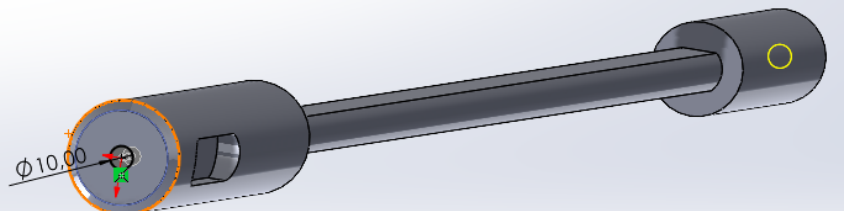
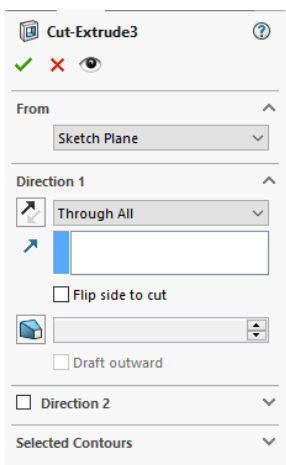


Рисунок 5.12 – Операція «Extruded cut»

Далі переходимо до іншої деталі, яка входить в збірку (рис. 5.13)

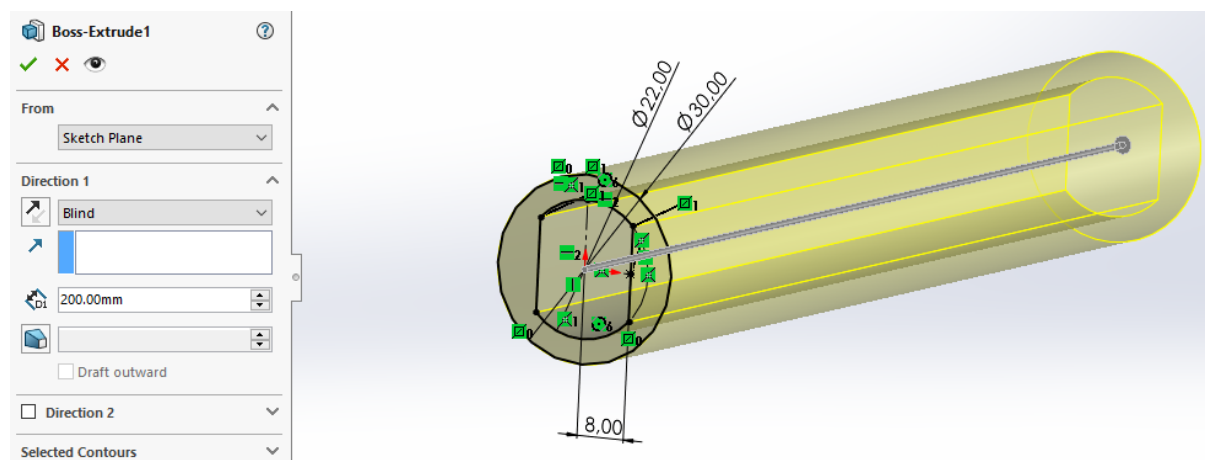


Рисунок 5.13 – Операція «Extruded boss»

Будуємо диск аналогічно як в базовому (рис. 5.14)

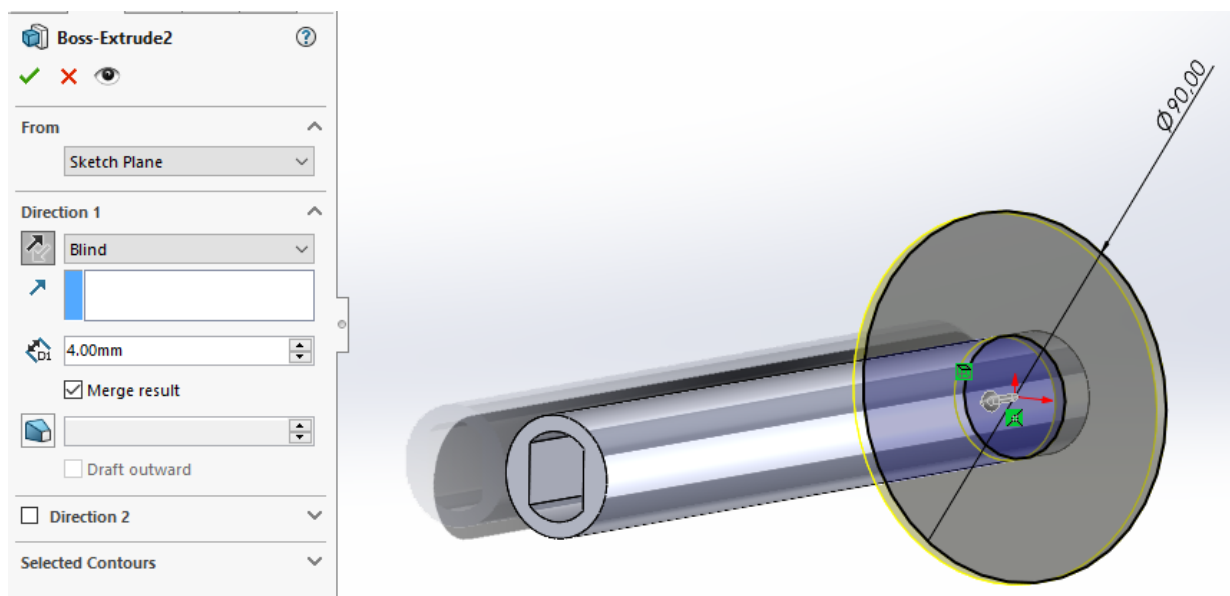


Рисунок 5.14 – Операція «Extruded boss»

Створюємо спіраль для формування витків шнека (рис. 5.15)

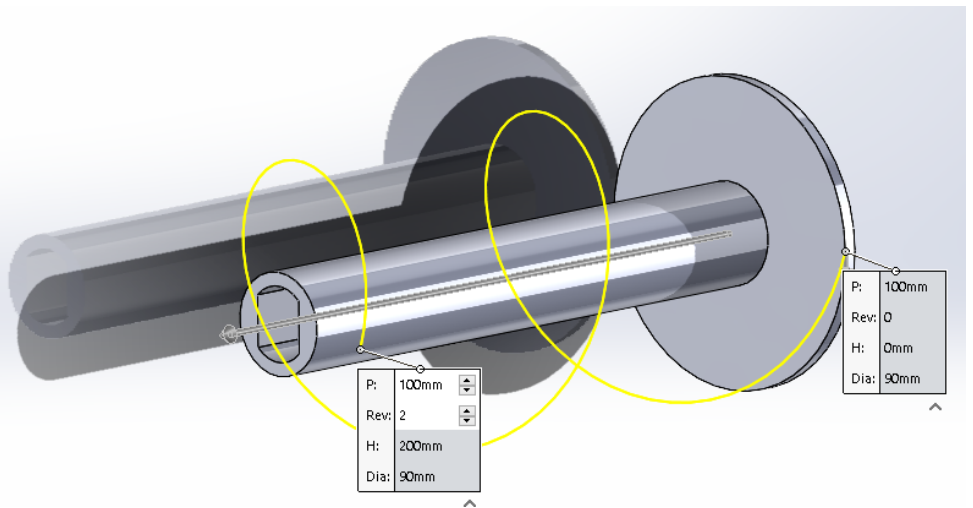
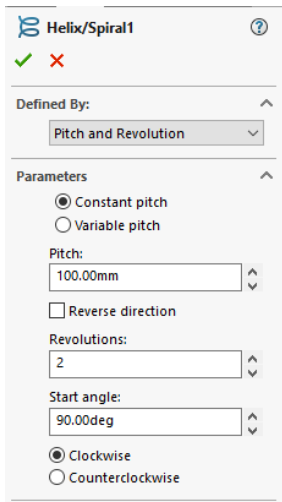


Рисунок 5.15 – Операція «Helix/Spiral»

Далі утворюємо ці витки (рис. 5.16)

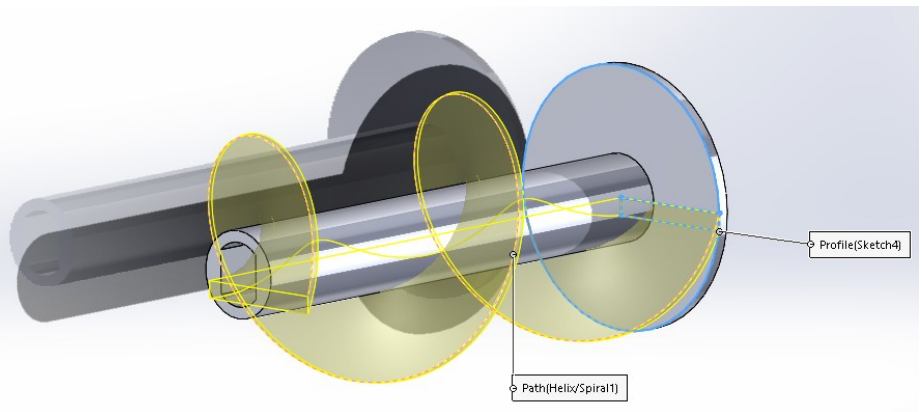
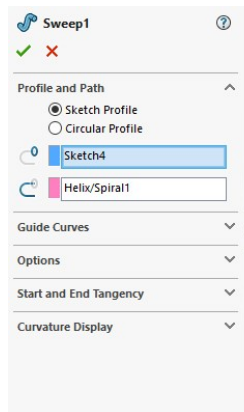


Рисунок 5.16 – Операція «Sweep»

Відрізаємо зайві шматки (рис. 5.17)

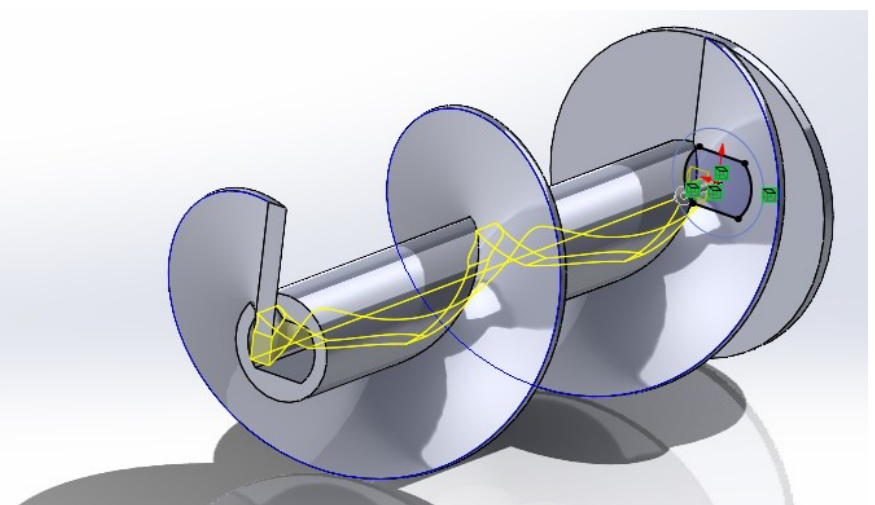
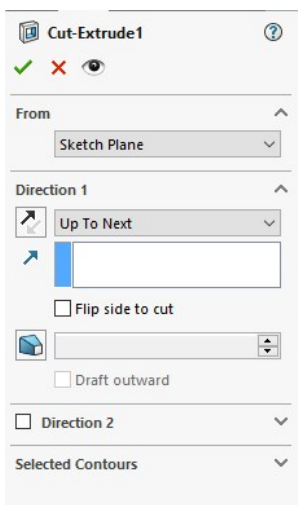


Рисунок 5.17 – Операція «Extruded cut»

Аналогічно проводимо такі ж самі побудови для ще трьох частин шнека з витками.

Після всіх побудов ми отримуємо модернізований шнек (рис. 5.18)

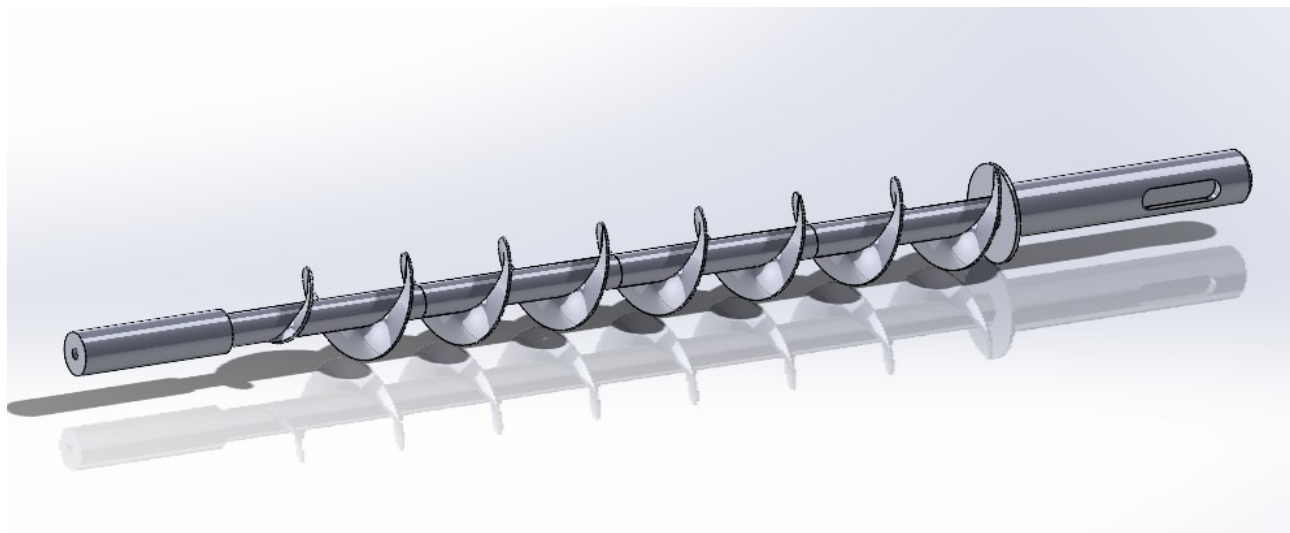


Рисунок 5.18 – Результат побудови модернізованого шнека віброшнекового живильника

5.4.4 Числове моделювання базової моделі

Для виконання необхідних розрахунків нашої 3D-моделі базової деталі використовуємо програмне забезпечення ANSYS 2024 R2 STUDENT.

Для початку нам потрібно обрати необхідні модулі. В нашому випадку це буде Static Structural (рис. 5.19).

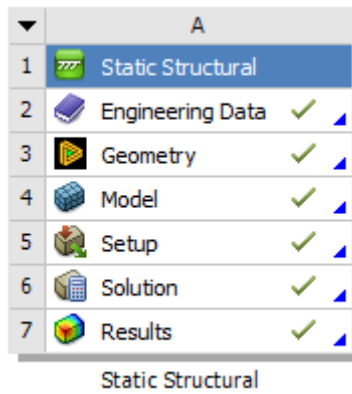


Рисунок 5.19 – Середовище виконання розрахунків

Також потрібно перед початком задати характеристики матеріалу конструкції (рис. 5.20), даний вузол виготовлений зі сталі 45 ДСТУ 7809:2015. Вписуємо значення межі текучості $\sigma_t = 355$ МПа в колонки Tensile Yield Strength та Compressive Yield Strength, які є собою як межі текучості при розтягу та стиску. Проводимо такі ж дії тільки з межею міцності $\sigma_g = 600$ МПа в Tensile Ultimate Strength та Compressive Ultimate Strength.

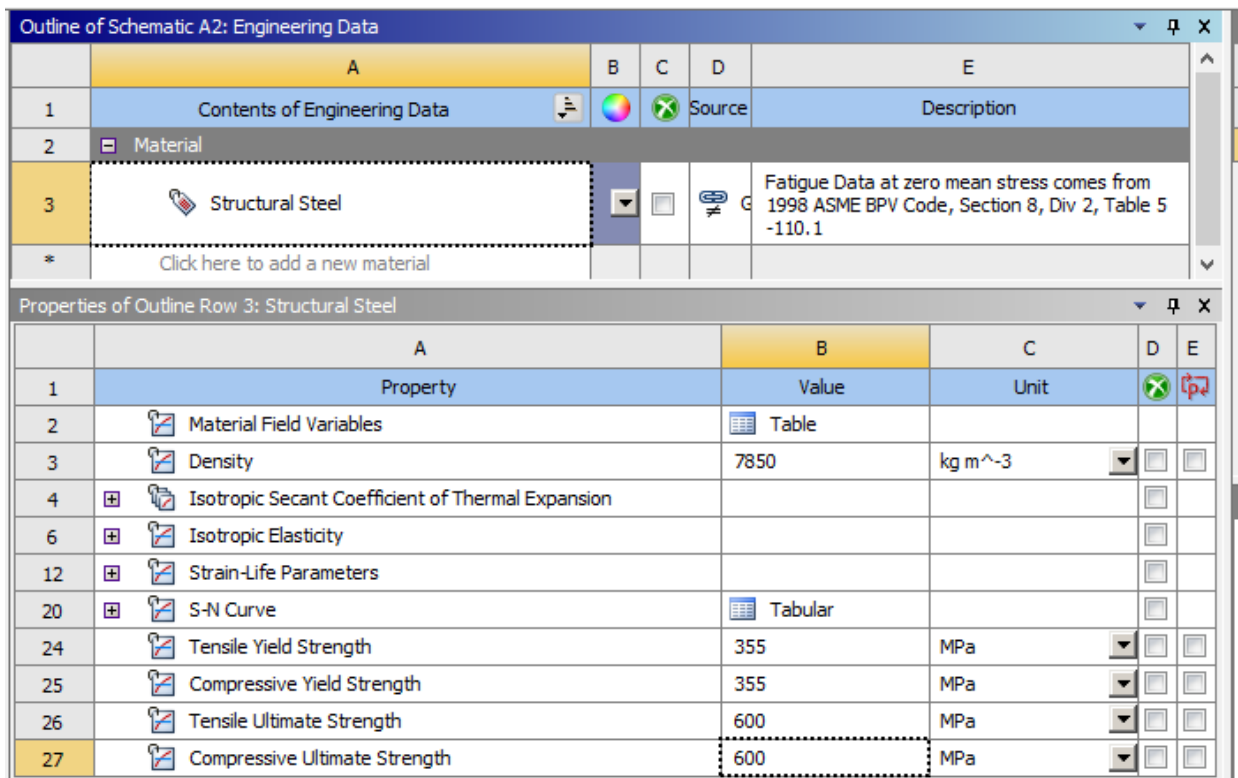


Рисунок 5.20 – Середовище задання характеристик матеріалу конструкції

Переходимо в пункт «Geometry», далі ми імпортуємо створену нами раніше 3D-модель (рис. 5.21).

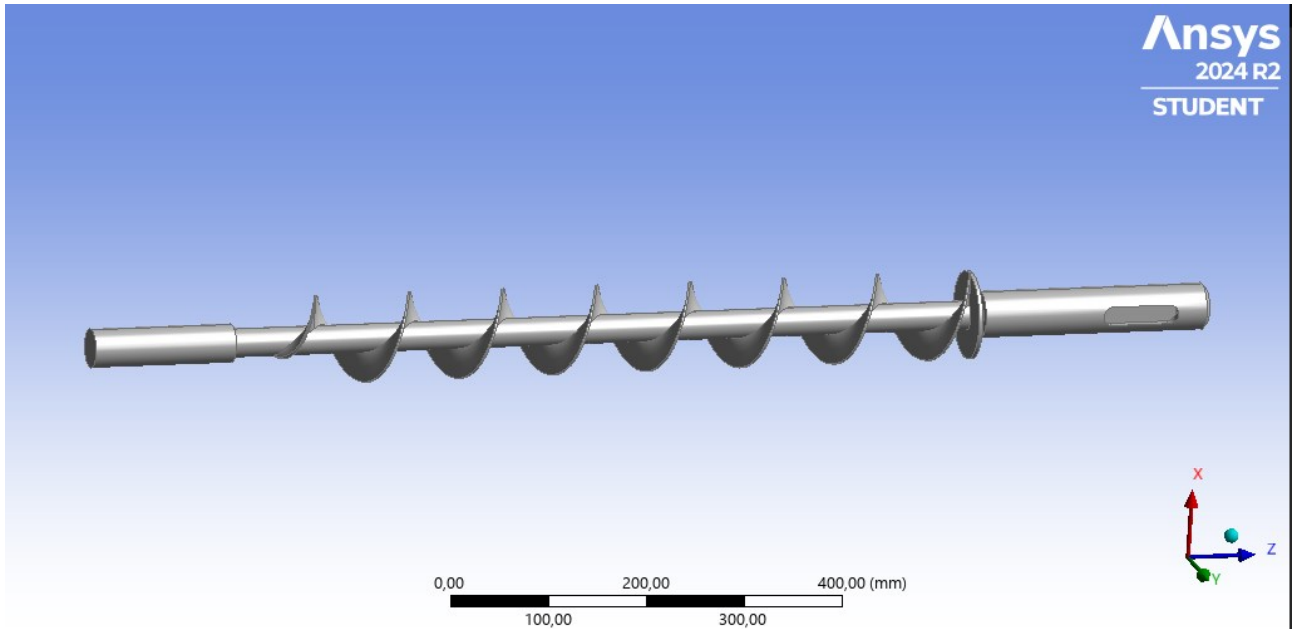


Рисунок 5.21 – Середовище створення геометрії

Тепер потрібно зробити проріз, щоб визначити ділянку для підшипника, далі об'єднуємо ці дві деталі в одне ціле через команду «form new part» (не показано) (рис. 5.22)

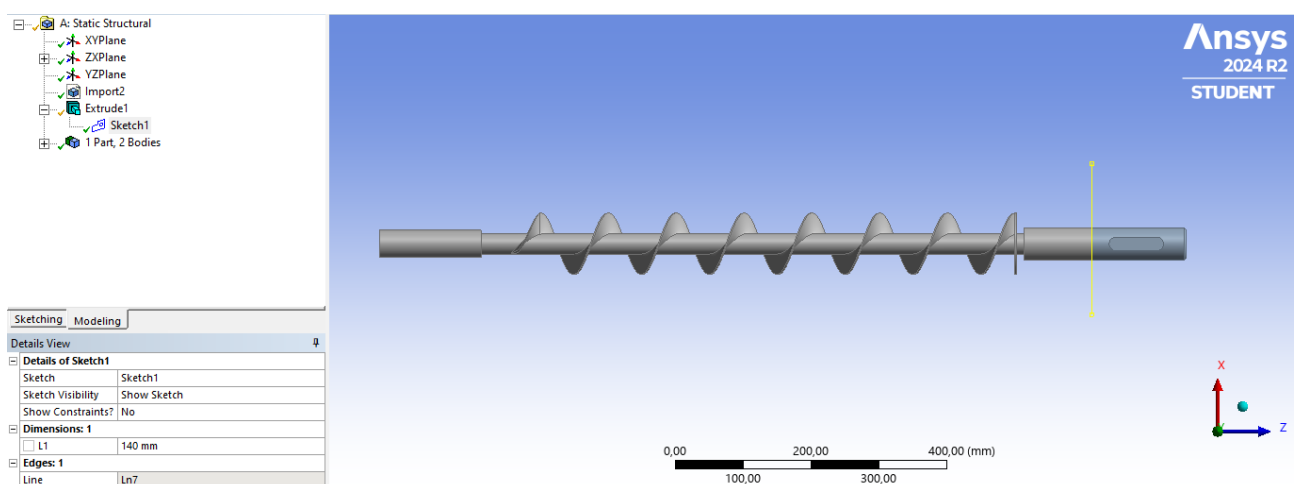


Рисунок 5.22 – Виконання прорізу

Після цього йдемо в пункт «Model», далі в модуль «Mesh» (рис. 5.23) для встановлення сітки розміром 6 мм, яка є найоптимальнішою для даної моделі, тому що після цього значення сітки і дрібніше – значення результатів суттєво не змінюються.

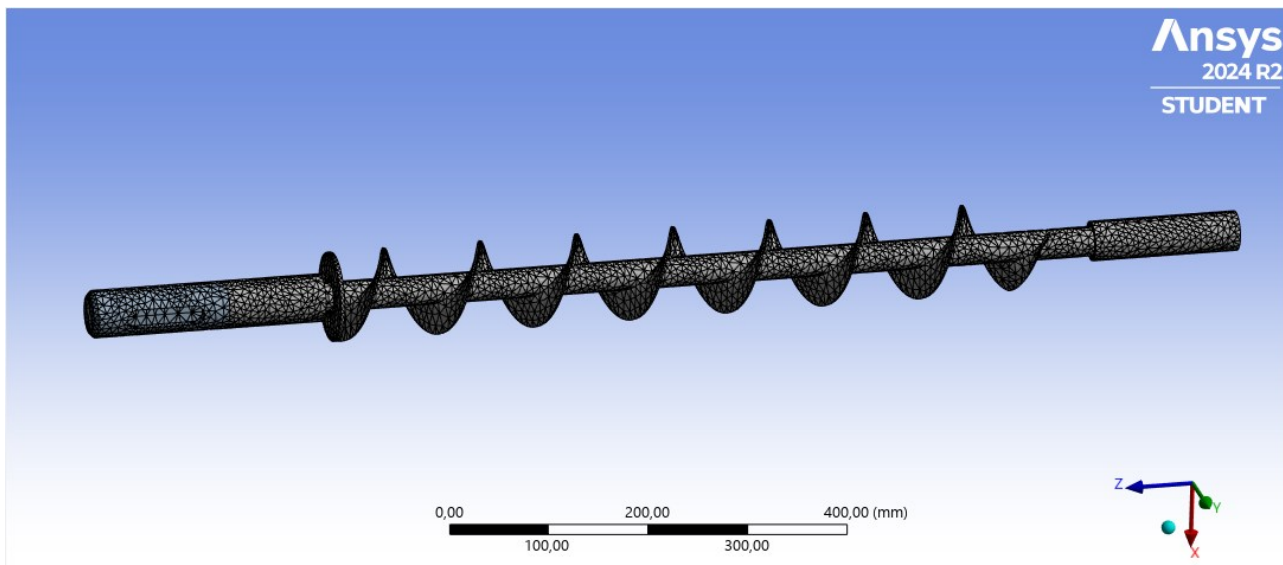


Рисунок 5.23 – Встановлення сітки 6 мм

Переходимо до наступного модуля «Static Structural», задаємо закріплення та силу (рис. 5.24).

Ділянка А – Циліндричні закріплення (місця в яких знаходяться підшипники);

Ділянка В – Розподілене навантаження від власної ваги (значення вказане в розділі розрахунків)

Ділянка С – Крутний момент (значення вказане в розділі розрахунків)

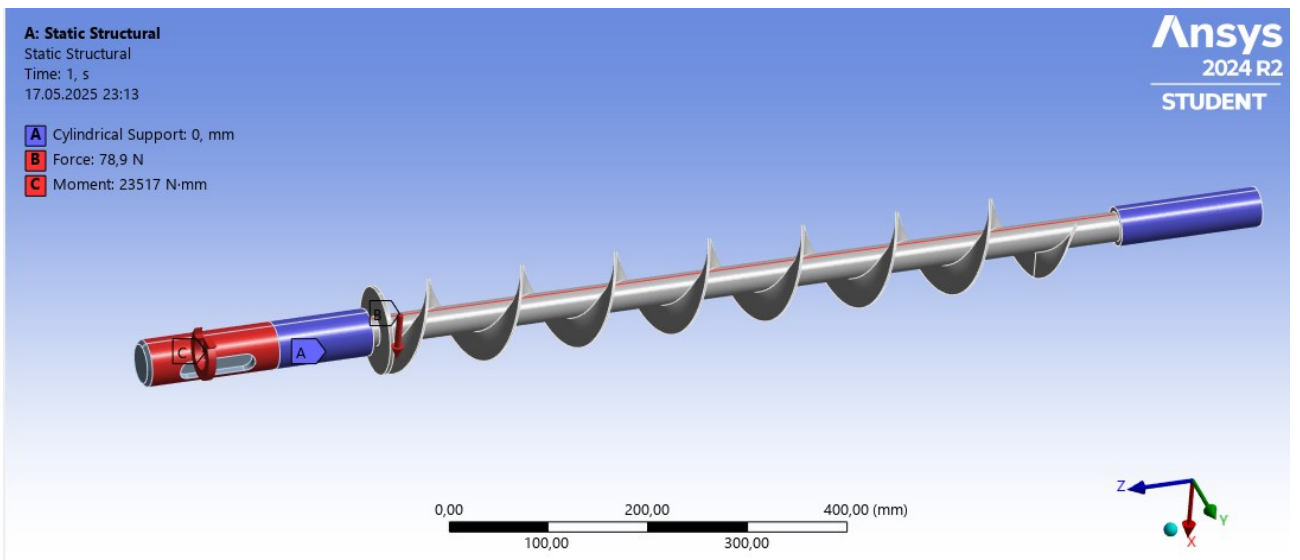


Рисунок 5.24 – Накладення закріплень та сил

5.4.5 Результати числових розрахунків базової конструкції

Отримуємо загальні деформації (рис. 5.25)

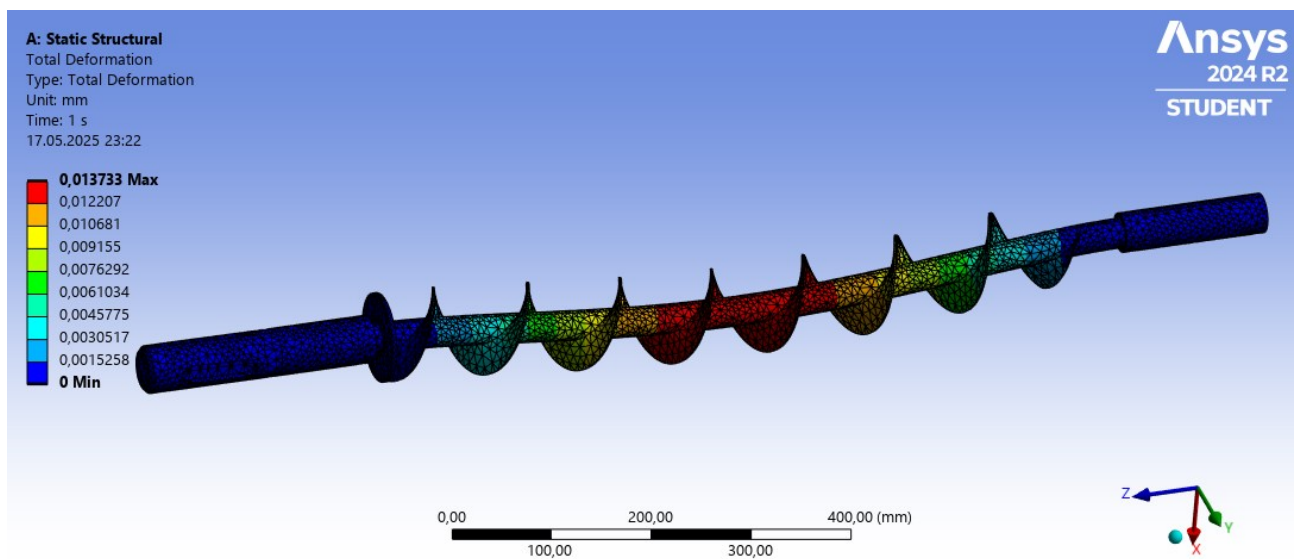


Рисунок 5.25 – Загальні переміщення

Максимальні переміщення отримані $\Delta_{max} = 0,013733$ мм, що говорить про те, що конструкція незначно деформується, основне переміщення відбувається посередині шнека де прикладена сила.

Отримуємо еквівалентні напруження за Мізесом (рис. 5.26)

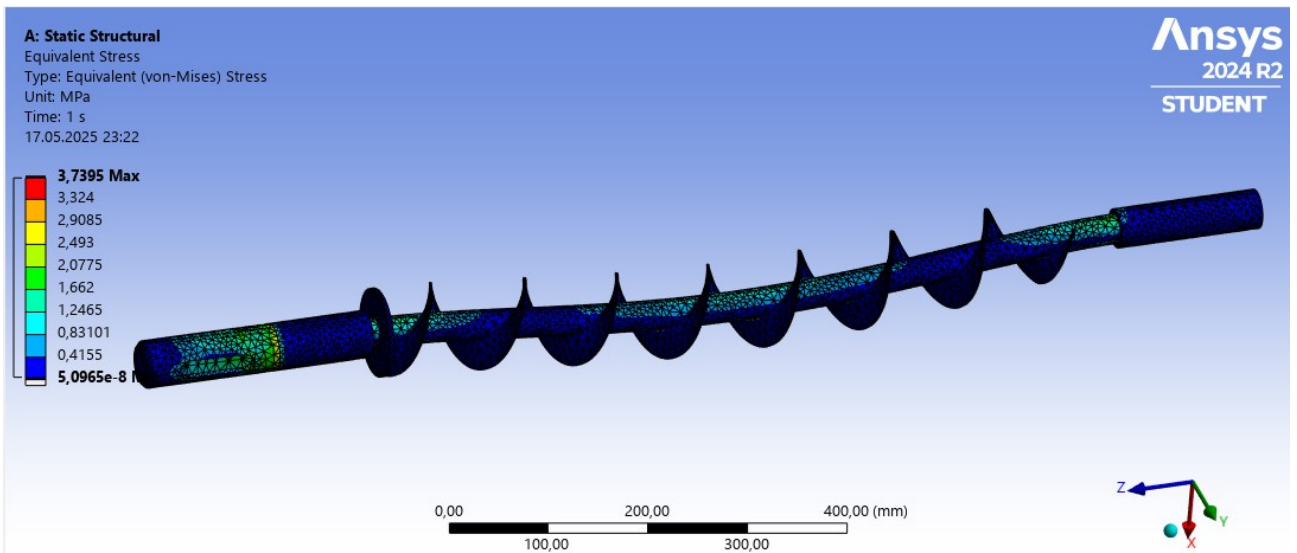


Рисунок 5.26 – Еквівалентні напруження конструкції

Максимальні еквівалентні напруження отримані $\sigma_{екв} = 3,7395$ МПа. Основними місцями де виникають концентратори напружень це ділянки біля місць підшипників, та в центрі шнека.

Отримуємо запас міцності конструкції (рис. 5.27)

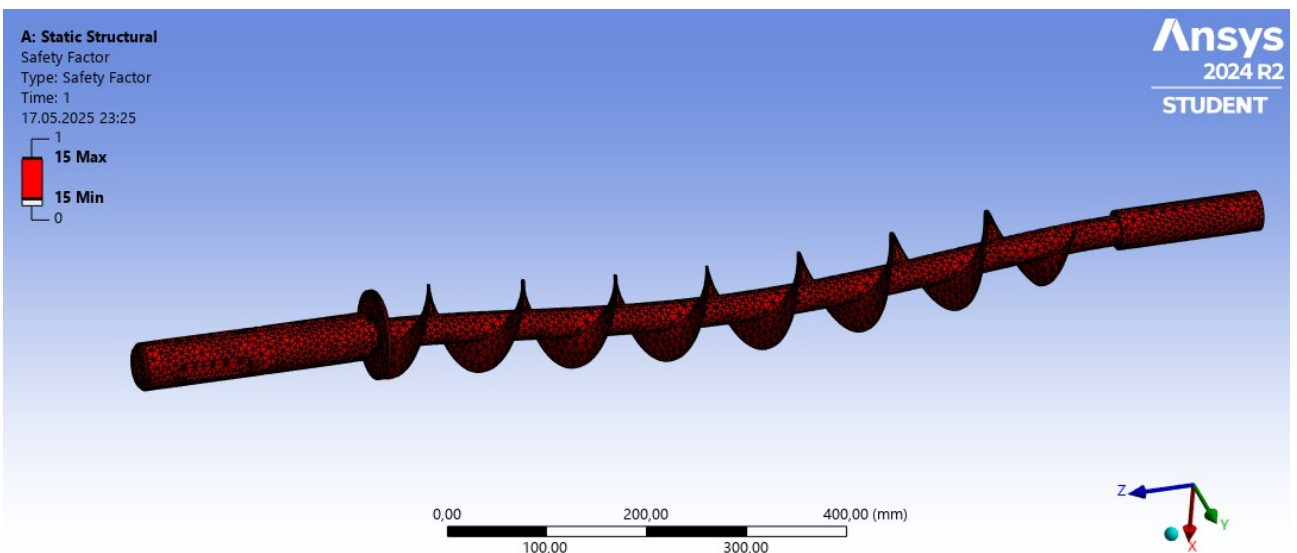


Рисунок 5.27 – Запас міцності конструкції

При цьому найбільші еквівалентні напруження за Мізесом $\sigma_{екв} = 3,7395$ МПа, а найбільші деформації $\Delta_{max} = 0,013733$ мм. Коефіцієнт запасу міцності конструкції

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{355}{3,7395} = 94,9,$$

а значить, напруження конструкції менше допустимих і конструкція є працездатною.

5.4.6 Числове моделювання модернізованої моделі

Проводимо ті ж самі дії початку створення задачі, це буде Static Structural, матеріал вказуємо також той самий.

Переходимо в пункт «Geometry», далі ми імпортуємо створену нами раніше 3D-модель (рис. 5.28).

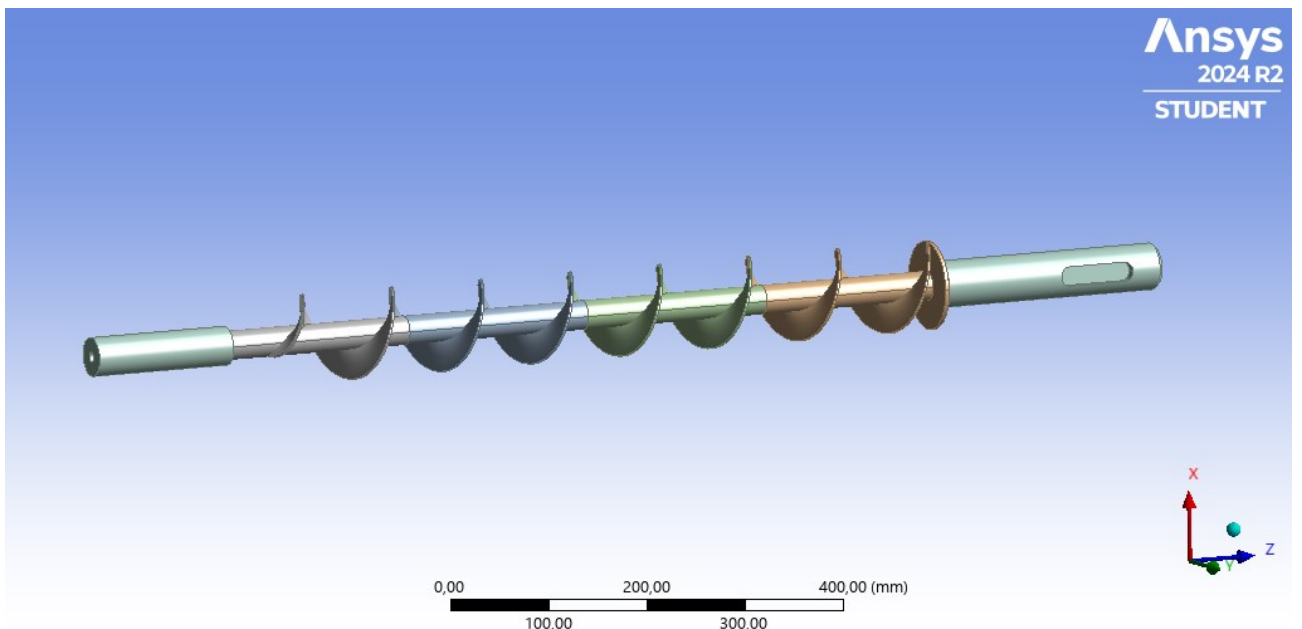


Рисунок 5.28 – Середовище створення геометрії

Тепер потрібно зробити проріз, щоб визначити ділянку для підшипника (рис. 5.29).

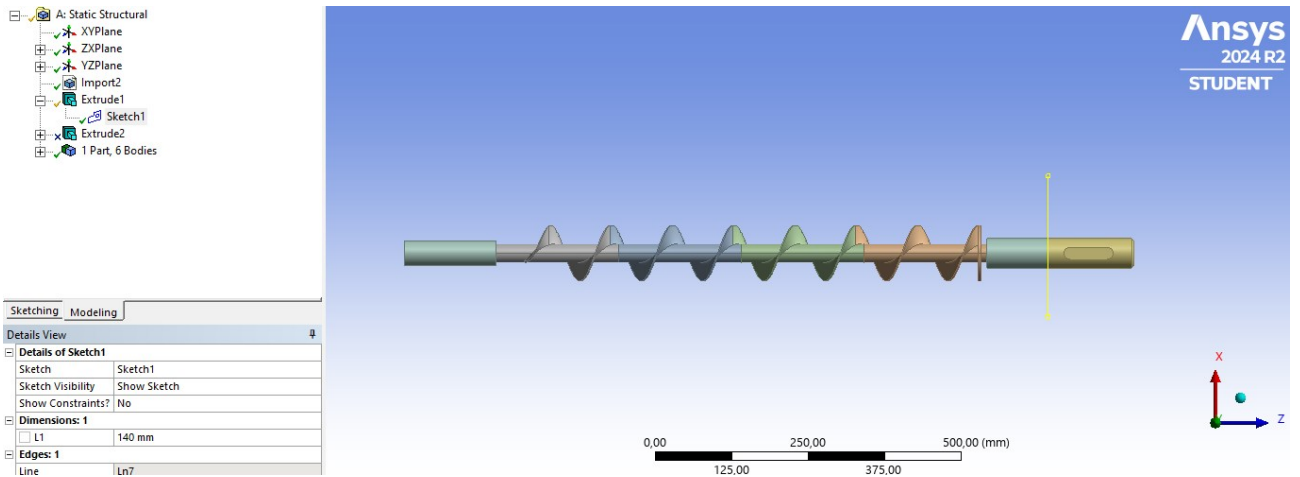


Рисунок 5.29 – Виконання прорізу

Робимо схожий проріз у іншому положенні, далі об'єднуємо ці дві деталі в одне ціле через команду «Form new part» (рис. 5.30).

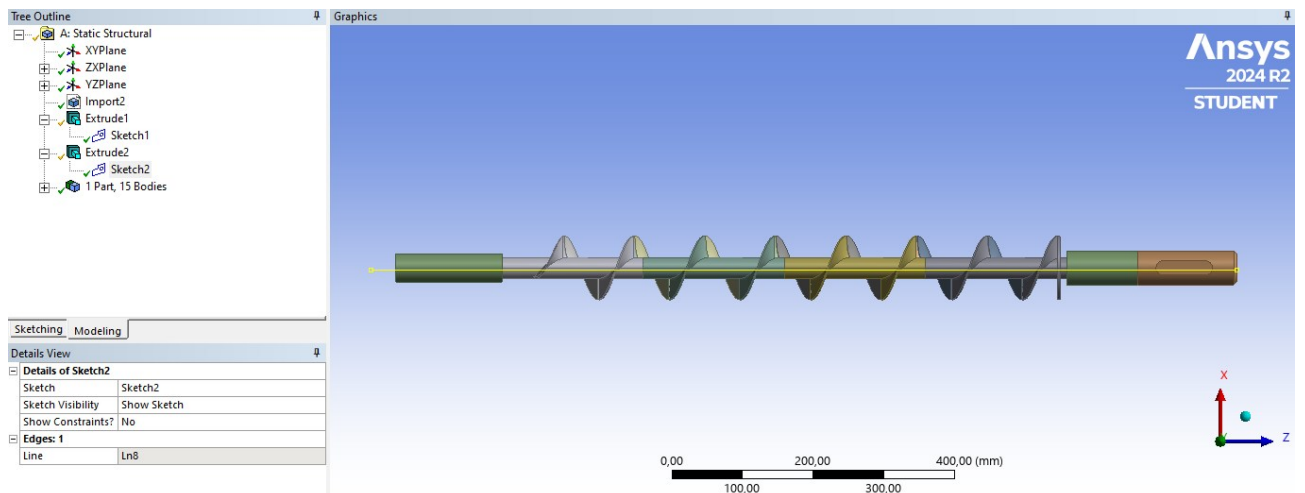
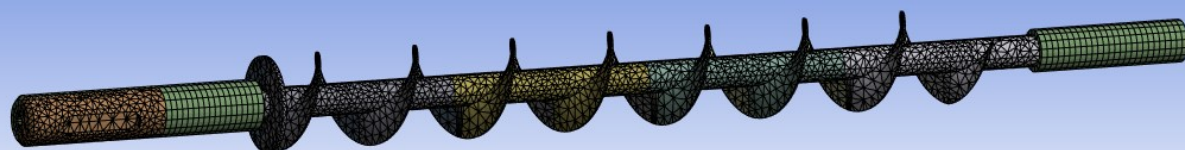


Рисунок 5.30 – Виконання прорізу

Після цього йдемо в пункт «Model», далі в модуль «Mesh» (рис. 5.31) для встановлення сітки розміром 6 мм, яка є найоптимальнішою для даної моделі, тому що після цього значення сітки і дрібніше – значення результатів суттєво не змінюються.



0,00 150,00 300,00 (mm)
75,00 225,00



Рисунок 5.31 – Встановлення сітки 6 мм

Переходимо до наступного модуля «Static Structural», задаємо закріплення та силу (рис. 5.32).

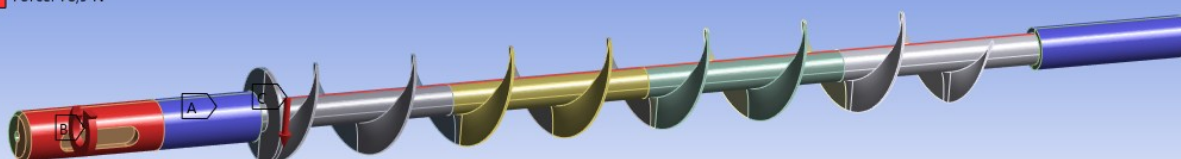
Ділянка А – Циліндричні закріплення (місця в яких знаходяться підшипники);

Ділянка С – Розподілене навантаження від власної ваги (значення вказане в розділі розрахунків)

Ділянка В – Крутний момент (значення вказане в розділі розрахунків)

A: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
17.05.2025 23:39

- A** Cylindrical Support: 0, mm
- B** Moment: 23517 N-mm
- C** Force: 78,9 N



0,00 150,00 300,00 (mm)
75,00 225,00

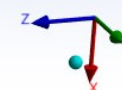


Рисунок 5.32 – Накладення закріплень та сил

5.4.7 Результати числових розрахунків модернізованої конструкції

Отримуємо загальні деформації (рис. 5.33)

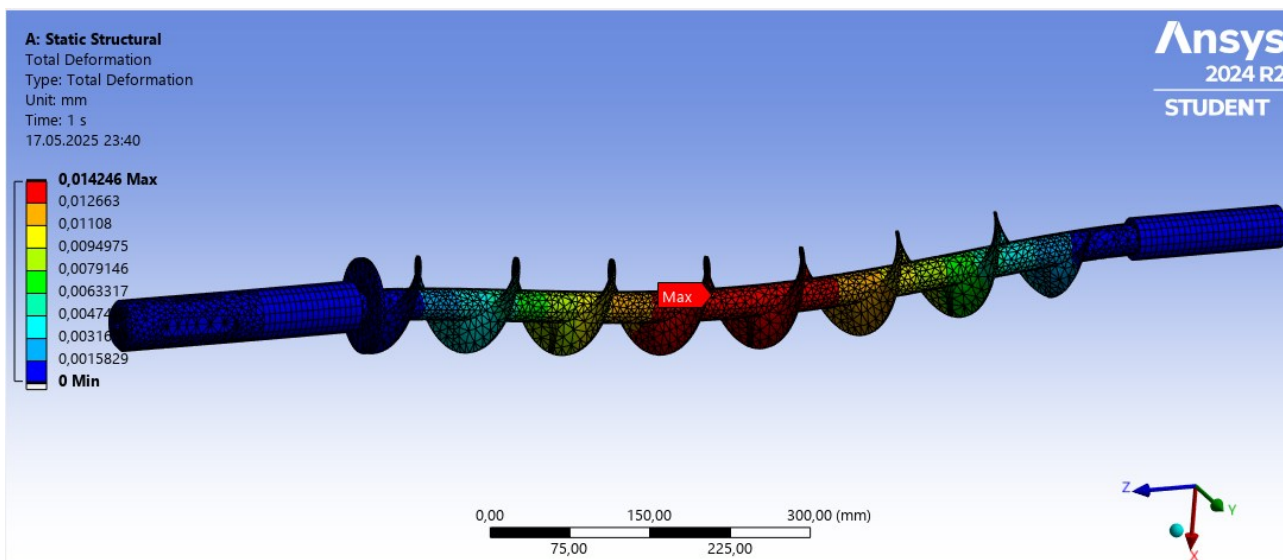


Рисунок 5.33 – Загальні переміщення

Максимальні переміщення отримані $\Delta_{max} = 0,014246$ мм, що говорить про те, що конструкція незначно деформується, основне переміщення відбувається посередині шнека де прикладена сила.

Отримуємо еквівалентні напруження за Мізесом (рис. 5.34)

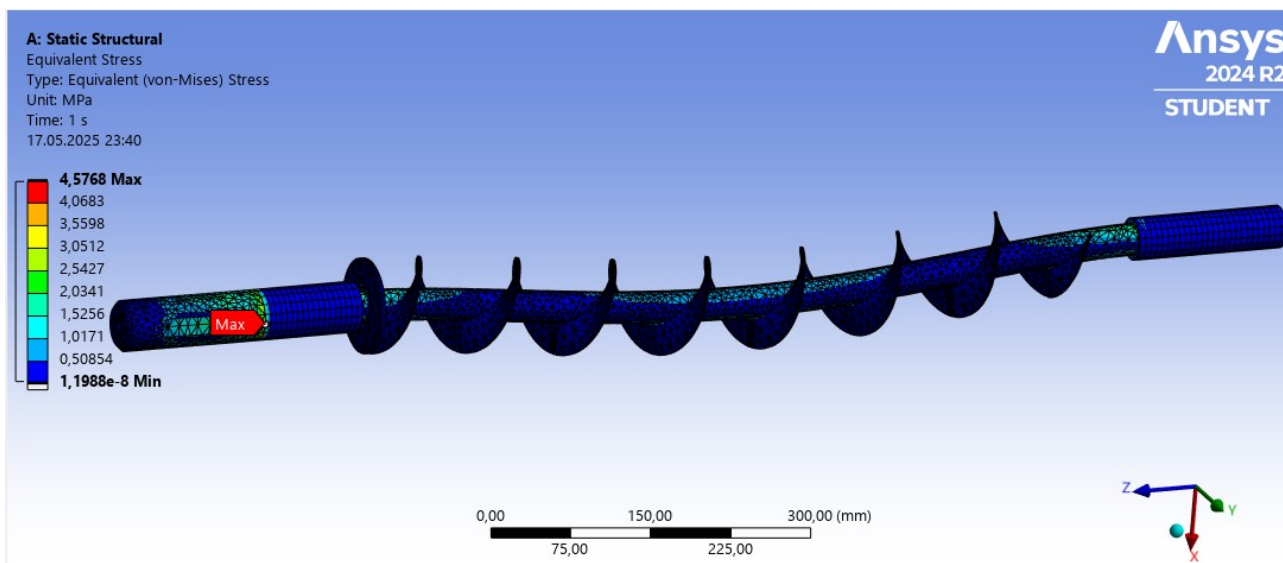


Рисунок 5.34 – Еквівалентні напруження конструкції

Максимальні еквівалентні напруження отримані $\sigma_{екв} = 4,5768$ МПа. Основними місцями де виникають концентратори напружень це ділянки біля місць підшипників, та в центрі шнека.

Отримуємо запас міцності конструкції (рис. 5.35)

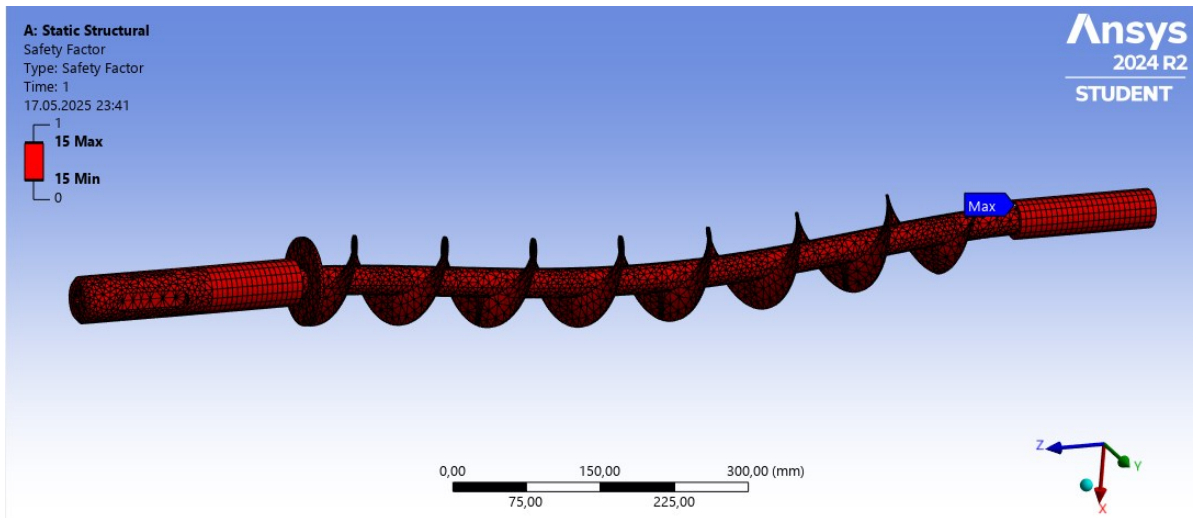


Рисунок 5.35 – Запас міцності конструкції

При цьому найбільші еквівалентні напруження за Мізесом $\sigma_{екв} = 4,5768$ МПа, а найбільші деформації $\Delta_{max} = 0,014246$ мм. Коефіцієнт запасу міцності конструкції

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{355}{4,5768} = 77,6,$$

а значить, напруження конструкції менше допустимих і конструкція є працездатною [11].

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це сукупність правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, спрямованих на створення безпечних і нешкідливих умов праці, збереження здоров'я та працездатності працівників у процесі їхньої професійної діяльності.

У межах проєкту «Віброшнековий живильник для дозування цементу з модернізацією шнека» основною метою заходів з охорони праці є попередження нещасних випадків і професійних захворювань, мінімізація впливу шкідливих виробничих факторів, зокрема пилу цементу, вібраційного та шумового навантаження, а також забезпечення безпечної експлуатації технологічного обладнання. Робоче місце оператора знаходиться у виробничому приміщенні площею 72 м², де експлуатується віброшнековий живильник [12].

6.1 Повітря робочої зони

Робота оператора віброшнекового живильника, призначеного для дозування цементу, відноситься до категорії легких фізичних навантажень. Такі умови передбачають енерговитрати до 150 ккал/год, що потребує створення оптимального мікроклімату в робочій зоні відповідно до нормативів ДСН 3.3.6.042-99. У холодний період року температура в приміщенні повинна становити від 22 до 24 °С, а влітку — від 23 до 25 °С. Відносна вологість повітря повинна залишатися в межах 40–60 %, а швидкість повітряного потоку не повинна перевищувати 0,1 м/с.

Оскільки цемент є абразивним матеріалом, який активно пилить, надзвичайно важливо організувати ефективну систему вентиляції. Встановлення локальних витяжок, централізованої вентиляції, пиловловлювачів та фільтрів тонкого очищення — обов'язкові умови для безпечного функціонування обладнання. Герметизація вузлів подачі

матеріалу, герметичні спускні труби до бункерів та регулярне очищення повітряної зони дозволяють мінімізувати викиди згідно з ДСТУ EN 60335-2-69:2016, зберігаючи здоров'я працівників та санітарний стан виробництва.

6.2 Промислове освітлення

Освітлення виробничої зони визначається за ДБН В.2.5-28:2018. Для робіт категорії зорової складності VIII (загальне спостереження) нормована освітленість повинна становити 200 лк. У приміщенні застосовується комбіноване освітлення — денне бічне та штучне. Штучне забезпечується лампами типу LED з еквівалентом світлового потоку ~19000 лм. Загальна освітленість становить близько 250 лк, що відповідає вимогам.

Для досягнення такого рівня освітлення передбачається комбіноване використання природного та штучного освітлення. Удень вікна у бічних стінах забезпечують достатню кількість денного світла, а в темний час доби чи в похмуру погоду приміщення освітлюється за допомогою 25 ламп ДРИ-400, кожна з яких має світловий потік 19000 лм. Це дозволяє досягнути середнього рівня освітлення до 250 лк. Спектральний склад штучного освітлення максимально наближений до природного, що сприяє збереженню зору працівника та підвищенню продуктивності.

6.3 Шум у виробничому середовищі

Рівень шуму у виробничому приміщенні, де працює віброшнековий живильник, має критичне значення для умов праці оператора. Джерелами підвищеного шуму виступають: вібратор із дебалансом, редуктор, електродвигун та вентиляційне обладнання. Сумарний рівень шуму може досягати 105 дБА, що значно перевищує допустимий рівень згідно ДСН 3.3.6.037-99 (не більше 65 дБА для постійного робочого місця).

Для зниження шуму використовуються шумоізолюючі кожухи, звукопоглинальні панелі (на основі мінеральної вати), амортизуючі основи

під обладнанням, а також індивідуальні засоби захисту — навушники типу Peltor або вкладиші 3M E-A-R. Рекомендується проведення щорічного акустичного моніторингу.

6.4 Електробезпека

Віброшнековий живильник для дозування цементу працює від трифазної мережі напругою 220/380 В з частотою 50 Гц. Приміщення, у якому розміщується обладнання, класифікується як таке, що має підвищений рівень електробезпеки. Основними небезпеками є ймовірність ураження електричним струмом при порушенні ізоляції, короткому замиканні або несанкціонованому доступі до струмоведучих частин.

Серед заходів захисту — надійна ізоляція всіх провідників, заземлення конструкцій, використання диференціальних автоматів та пристроїв захисного відключення. Панель керування повинна містити сигнальні лампи, аварійний вимикач та інструкції для дій у надзвичайних ситуаціях. Струм ураження при нормальній експлуатації не повинен перевищувати 0,01 А. Згідно ПУЕ 2022 року, обладнання працює від мережі 3×380 В, 50 Гц, із ізольованою нейтраллю. Приміщення класифікується як з підвищеною електробезпекою. Для забезпечення захисту реалізуються:

- заземлення усіх металевих частин (відповідно до ДСТУ EN 60204-1:2017);
- установка ПЗВ із чутливістю 10–30 мА;
- сигнальні лампи та кнопка аварійного вимкнення на пульті управління;
- ізоляція кабелів згідно з ГОСТ 7396.1-89 (аналог — ДСТУ EN 50525);
- періодична перевірка опору ізоляції.

6.5 Пожежна безпека

Виробниче приміщення, де встановлено віброшнековий живильник, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 відноситься до категорії пожежної небезпеки В, клас зони П-Па відповідно до ПУЕ (наявність негорючих речовин у холодному стані). Забезпечення пожежної безпеки в умовах експлуатації віброшнекового живильника для дозування цементу з модернізованим шнеком має критичне значення, оскільки робота з абразивними сипкими матеріалами (зокрема цементом) супроводжується значним виділенням пилу, який може створювати вибухонебезпечну атмосферу при наявності іскри або перегріву елементів обладнання.

Основна стратегія протидії пожежі полягає в усуненні одного з трьох ключових елементів, які формують трикутник горіння: наявність горючої речовини, джерела окислення (переважно кисню) та джерела тепла. Відповідно, пожежогасіння передбачає вплив на ці чинники як через фізичні, так і хімічні методи.

До фізичних методів пожежогасіння належать:

- охолодження – зменшення температури осередку займання до рівня нижчого за температуру самозаймання. Зазвичай застосовується вода, розпилена пара або спеціальні охолоджувальні інертні середовища.
- ізоляція – створення бар'єру між горючою речовиною і киснем, наприклад, шляхом покриття поверхні піною або вогнестійкими сумішами.
- зменшення концентрації пального середовища – механічне або примусове видалення горючих пилових часток цементу за допомогою аспіраційної системи.
- витіснення кисню – подача інертних газів, таких як CO₂ чи азот, у зону горіння для пригнічення окислювальної реакції.

- механічне гасіння – руйнування полум'я шляхом збивання струменем води чи дії потужного повітряного потоку або вогнегасника.

Хімічні методи пожежогасіння застосовують інгібітори реакції горіння, які пригнічують хімічну реакцію окиснення. До таких засобів належать:

- хімічні порошки – створюють ізолюючий бар'єр на поверхні горіння та блокують доступ кисню.
- інертні гази – заміщають кисень у повітрі і таким чином унеможливають подальше горіння.
- піноутворювачі – створюють щільний шар піни, який відокремлює матеріал від повітря, гасить і охолоджує.

Для ліквідації можливих загорянь, особливо у зонах підвищеного пилонакопичення, у цеху встановлені вогнегасники типу ВП-4(з), відповідно до вимог ДСТУ EN 3-7:2014, з робочим тиском 1,3 МПа та температурним діапазоном експлуатації від -20 до +50 °С. Ці вогнегасники можуть зберігати працездатність протягом 10 років. Додатково передбачена наявність пожежних щитів, ящиків із сухим піском та вогнегасників з порошковим і вуглекислотним зарядом (ОУ-5, ОП-10). Кількість вогнегасників визначається відповідно до норм НАПБ А.01.001-2014, та повинна становити не менше 1 шт. на 20 м² площі приміщення.

Приміщення обладнане тепловими сповіщувачами пожежі, які автоматично передають сигнал про перевищення температурного порогу на центральну пожежну станцію підприємства. Також передбачено систему аварійного знеструмлення живильника, що активується при виявленні пожежі або короткого замикання.

Відповідно до «Загальних правил вибухонебезпечності для хімічних, нафтохімічних та нафтопереробних підприємств», з урахуванням наявності цементного пилу, обладнання належить до III категорії вибухонебезпеки, тобто має середній рівень потенціалу до вибуху. Це зобов'язує ретельно

дотримуватися правил технічного обслуговування обладнання, очищення пилових відкладень, регулярних інструктажів персоналу, а також перевірки стану пожежних засобів захисту та аварійної сигналізації.

Ширина основних проходів у цеху не повинна бути меншою за 1,5 м, а допоміжних — не меншою за 1,2 м, що забезпечує оперативну евакуацію персоналу у разі небезпеки згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

7 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛУ

7.1 Опис та призначення деталі

Як ми можемо побачити з загального креслення віброшнекового живильника (ЛУ11.075183.000-90СК), вал (рис. 7.1) дебалансного вібратора є складовою середнього машинобудування. Він належить до класу деталей типу валів, а саме — до нежорстких валів, які працюють в умовах змінних навантажень і вібрації. Вал встановлюється в підшипниках і слугує для передачі крутного моменту від електродвигуна до двох дебалансів, закріплених на валу за допомогою різьбових з'єднань. Під час обертання дебаланси створюють відцентрову силу, що збуджує коливання системи [13].

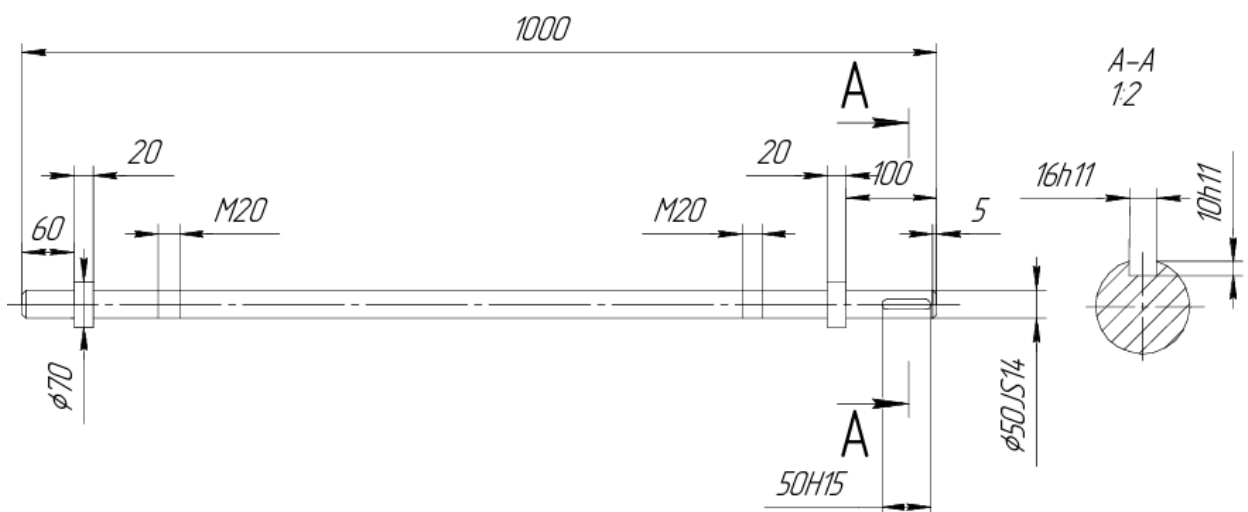


Рисунок 7.1 – Креслення дебалансного валу

Враховуючи форму та функціональне призначення поверхонь валу буде доцільним почати виготовлення заготовки з сталевий кругляк марки СТ-45 діаметром 65 мм і довжиною 1005 мм, зображений на рисунок 7.2. Після обробки забезпечується шорсткість поверхні $Ra = 2,5-0,63$ мкм, з допуском 11–13 квалітету. Припуск для шліфування залишають тільки на двох опорних поверхнях, де монтується підшипники.

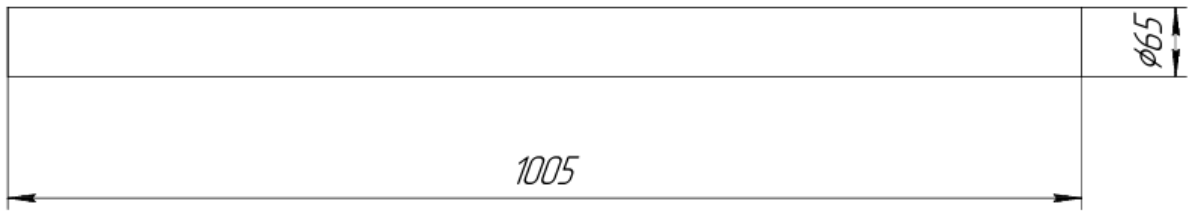


Рисунок 7.2 – Кругляк

7.2 Технологічний процес виготовлення деталі

Для виготовлення дебалансного валу доцільно використовувати матеріал, стійкий до змінних механічних навантажень і вібрацій. У даному випадку як матеріал обрано конструкційну вуглецеву сталь 45, яка широко застосовується у машинобудуванні завдяки своїй високій міцності, зносостійкості та здатності витримувати ударні та циклічні навантаження. Згідно ДСТУ 7809:2015 сталь 45 має наступні механічні характеристики та хімічний склад сталі (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Характеристики сталі 45

Сталь	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
				Не більше	
СТ45	0,42-0,5	0,17-0,37	0,5-0,8	0,03	0,035
Межа міцності: при розтягування $\sigma_b = 520$ МПа при витяганні $\sigma_b = 290$ МПа HB=148-217 МПа Відносне подовження $\delta = 13\%$					

Узагальнена технологія виготовлення вала викладена у маршрутній карті, ескізних картах та операційній карті. Такий структурований підхід

дозволяє не лише впорядкувати всі етапи виробничого процесу, але й забезпечити логічну та оптимальну послідовність виконання технологічних операцій. Завдяки цьому досягається стабільна якість обробки, зменшуються виробничі витрати, знижуються ризики технологічних помилок і забезпечується відповідність готового виробу вимогам технічної документації.

Дубл.														
Взамін.														
Підпис									Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата	
Розробив	<i>Мураль Р.</i>			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ										
Перевірив	<i>Борщук С.О.</i>													
Н. контр.				Дебалансний вал				Н		005				
				Назва операції				Матеріал						
				Розмітка				Сталь 45						
				Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри			МЗ	Коод			
				НВ=170	кг	7	Ø65x1005			12	1			
				Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми						
				То	Тд	Тп.з	Тшт.	MOP						
Р				ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v			
P01	1. Розмітка деталі													
T02														
03														
O04														
T05														
T06														
P07														
08														
09														
O10														
OK	Обробка різанням													

7.3 Вибір пристосування для обробки

Для закріплення заготовки при токарній обробці приймаємо трьохкулачковий самоцентруючий патрон, який є одним із найпоширеніших і ефективних засобів кріплення. Він призначений для швидкого, надійного та симетричного закріплення заготовок, здебільшого циліндричної або шестигранної форми, на токарних верстатах.

Конструктивно патрон має три кулачки, що розміщені радіально по відношенню до осі обертання. Завдяки планетарному механізму всі кулачки одночасно переміщуються до центру або від нього, забезпечуючи рівномірне охоплення заготовки з усіх боків. Така схема закріплення дозволяє уникнути перекосів, підвищити точність обробки та зменшити биття деталі під час обертання.

Схематична будова трьохкулачкового самоцентруючого патрона подана на рисунку 7.3, де показано основні елементи:

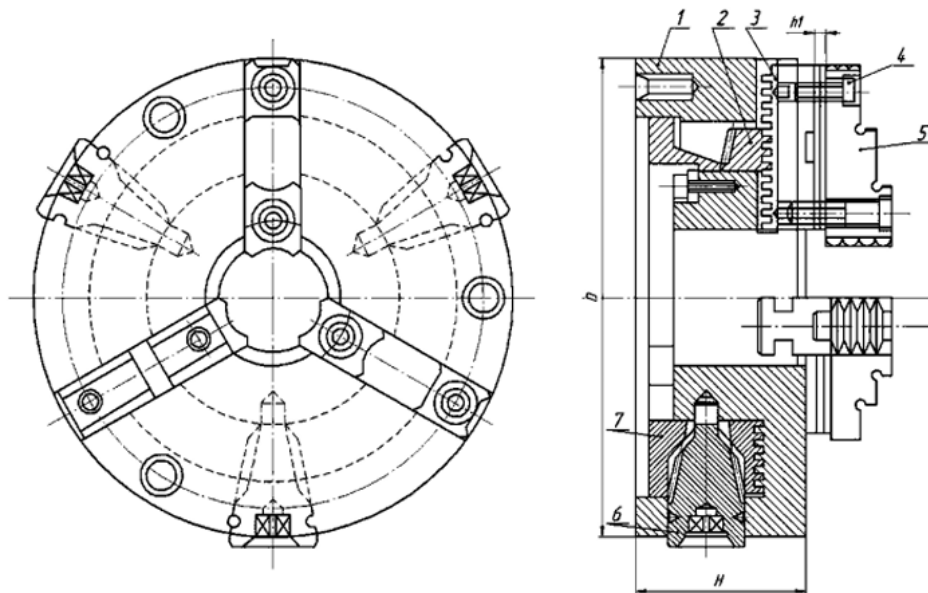


Рисунок 7.3 – Схема трьохкулачкового самоцентруючого патрона:

- 1 – корпус патрона; 2 – кришка; 3 – планетарна шестерня; 4 – кулачок; 5 – шпонка; 6 – центральний гвинт; 7 – пружина.

Після визначення способу встановлення валу та розміщення його в патроні, наступним кроком є аналіз дії сил у зоні обробки. Зокрема, необхідно встановити напрямок, точку прикладання та величину затискного зусилля, щоб забезпечити стійке положення деталі під дією сил різання.

Цей етап базується на схемі взаємодії сил різання і сил затискання, яка дозволяє оцінити динаміку навантаження на деталь у процесі обробки. Схематичне зображення цієї взаємодії наведено на рисунку 7.4.

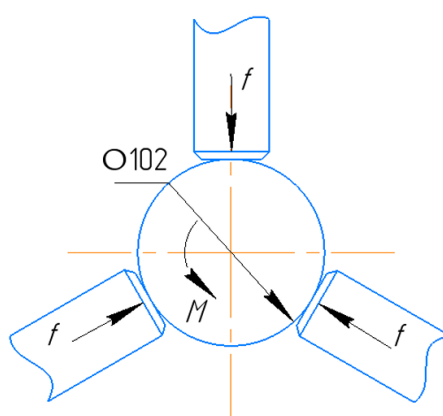


Рисунок 7.4 – Схема взаємодії різальних сил та сил затискання на деталь

ВИСНОВКИ

У ході роботи було детально досліджено технологічний процес виготовлення дебалансного валу – критично важливого вузла віброшнекового живильника. Аналіз показав, що найбільш ефективним методом отримання заготовки є штампування згідно з ГОСТ 7505-89, що забезпечує оптимальне співвідношення якості та економічної доцільності. На основі проведених досліджень було розроблено технологічний маршрут, який включає послідовні операції: підготовку базових поверхонь, чорнове та чистове точіння основних поверхонь та отворів $\varnothing 70$ і $\varnothing 50$, а також чорнове та чистове фрезерування отвору R5. Важливим аспектом стало обґрунтування вибору трикулачкового самоцентрувального патрона як основного затискного

пристрою, що дозволяє забезпечити надійну фіксацію заготовки, точне базування та високу продуктивність обробки на токарному верстаті. Запропонована технологія враховує всі ключові вимоги до точності виготовлення та ефективності виробничого процесу, що в результаті дозволяє отримати якісний дебалансний вал з мінімальними витратами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній роботі представлено комплексний аналіз та розробку віброшнекового живильника, обладнання, що використовується в різних галузях промисловості, включаючи харчову, фармацевтичну, хімічну та машинобудівну, де необхідна точна й рівномірна подача матеріалу до наступного етапу технологічного процесу. Дослідження охоплює широкий спектр аспектів, від схематичного опису та принципів роботи до числових розрахунків та 3D моделювання.

Була детально розглянута конструкція віброшнекового живильника, його основні компоненти та їх взаємодія. Описується принцип роботи машини, який базується на поєднанні обертального і коливального рухів. Надається загальний вигляд віброшнекового живильника, що дозволяє візуалізувати його структуру та розміри.

Був виконаний літературно-патентний огляд, в результаті якого обрано патентну основу для модернізації.

Було проведено розрахункам, необхідним для проектування та аналізу віброшнекового живильника. У ньому ми визначили потужність двигуна віброшнекового живильника, розраховали продуктивності каландра та виконали розрахунки на міцність.

За допомогою програмного забезпечення було створено 3D-модель базового та модернізованого шнека. Це дозволяє візуалізувати деталь у тривимірному просторі, аналізувати її форму та розміри, а також проводити подальші розрахунки.

На основі 3D-моделі було проведено розрахунки з базовим та модернізованим шнеком в програмному забезпеченні ANSYS, а саме: загальні деформації, еквівалентні напруження конструкції, запас міцності конструкції. Після аналізу отриманих результатів ми побачили, що модернізована конструкція показала задовільні результати розрахунків, отже вона є працездатною [14].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коваленко І.В. Методичні вказівки для виконання дипломних проектів бакалаврів кафедри ХПСМ з напрямів підготовки 6.050503 – машинобудування, 6.050502 – інженерна механіка /Укл. Г.М. Васильченко, І.В. Коваленко, В.І. Сівецький, А.А. Шаповал, В.Ю. Щербина, - К.:НТУУ «КПІ», 2016-47с.
2. Коваленко І.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв.: навч. посібник [Текст] / І.В Коваленко, В.В. Малиновський. К.: «Воля-Інрес», 2006. – 100 с.
3. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення. Навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Ю. Щербина, Д. Г. Швачко, Л. Н. Гур'єва. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 188 с.
4. Патент US11785893. Транспортувальний шнек / Craig Frank, Terry Alexander, Brad John та ін. № 2017905155; заявл. 22.07.2017 ; опубл. 17.07.2020.
5. Патент DE102023003943A1. Збірний шнек зі фланцем / Metzger Frank, Metzger Dietmar. № 2023003943.8; заявл. 29.09.2023 ; опубл. 03.04.2025.
6. Патент CN118992432A. Спіральний транспортний вал / Хуан Тао; Хуан Шицзюнь; Цзі Тяньчен та ін. № 202411188592.4; заявл. 28.08.2024 ; опубл. 22.11.2024.
7. Патент CN114955415A. Направлений шнек тип швидкого вивантаження/ Дю Вейдун; Ван Цінсен; Сюй Юн та ін. № 202210770765; заявл. 02.07.2022 ; опубл. 30.08.2022.
8. Патент CN222311730U. МПК(2006.01) B65G 33/32. Механізм шнекового валу і шнековий живильник / Ян Є; Лі Дун'юань; Ян Сюньюань. № 202420488705.1; заявл. 13.03.2024; опубл. 07.01. 2025.
9. Демиденко С.М., Гирич В.О. Основи розрахунку і проектування транспортувальних машин: Навчальний посібник / Укл. С.М. Демиденко, В.О. Гирич. – К.: Видавництво "Ліра-К", 2018. – 154 с.

10. Бутенко М.В. Розрахунок машин для транспортування сипких матеріалів: Методичний посібник для студентів спеціальності "Машинобудування" / Укл. М.В. Бутенко. – Х.: ХНУРЕ, 2020. – 72 с.
11. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г. "Вплив теплоізоляції футерівки на теплообмін обертових апаратів". Вісник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. №2(21). с. 22-33. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2022.260342>
12. Shvachko D.G., Shcherbina V. Yu., & Borshchik S. A. (2021). Thermal protection insulation in the lining of the rotary kilns. Modern engineering and innovative technologies. (16-01), 18–23. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2021-16-01-033>
13. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>
14. Мурашко І. М. Охорона праці у галузі: Підручник. – К.: Либідь, 2017.
15. Головка А. Д., Бондаренко В. Ф. Технологія машинобудування. – [б. м.]:[б. в.], [б. р.].
16. Методичні рекомендації до виконання курсових і дипломних проектів із транспортувальних машин. Навчальний посібник / Укл. С.В. Іваненко, О.В. Кравченко, І.А. Петренко. – К.: НТУУ "КПІ", 2021. – 68 с.

ДОДАТОК 1

ТАБЛИЦЯ РОЗГЛЯНУТИХ ПАТЕНТІВ

№ п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Сутність заявленого технологічного рішення
1	Transport screw	США, US11785893, 2017905155, 2020-07-17	Розглядається транспортувальний шнек з покращеною геометрією витків, який забезпечує ефективне переміщення матеріалу та зменшення залипання, з можливістю зміни профілю гвинтової лінії по довжині.
2	Flanged modular screw	Німеччина, DE102023003943A1, 2023003943.8, 2025-04-03	Описано збірний шнек, що складається з кількох секцій, які з'єднуються за допомогою фланців. Це полегшує транспортування, обслуговування та заміну окремих частин.
3	Spiral transport shaft	Китай, CN118992432A, 202411188592.4, 2024-11-22	Пропонується спіральний вал із змінним кроком гвинтової лінії, що забезпечує рівномірну подачу матеріалу при різних навантаженнях та

			знижує зношування поверхонь тертя.
4	Directed quick-discharge screw	Китай, CN114955415A, 202210770765, 2022-08-30	Розроблено направлений шнек типу швидкого вивантаження, конструкція якого дозволяє швидке очищення пристрою та прискорене вивантаження залишків матеріалу при зупинці обладнання.

ДОДАТОК 2

ЛІСТИНГ ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ НА C++

```
//Підключаємо необхідні бібліотеки
#include <iostream>//Вводу (виводу) даних з клавіатури (на екран)
#include <fstream>//Для роботи з файлами
#include <iomanip>//Для форматування виводу даних
#include <Windows.h>//Щоб використовувати кирилицю
using namespace std;//Для полегшення запису

int main()
{
    SetConsoleCP(1251); // встановлення кодування Windows-1251 в потік
введення
    SetConsoleOutputCP(1251); // встановлення кодування Windows-1251 в
потік введення

    //Створюємо об'єкт для роботи з файлами виводу
    ofstream fout;

    //Відкриваємо файл для виводу даних та прив'язуємо його до об'єкту
    fout.open("C:\\Users\\Desktop\\КПІ\\6 семестр\\file.txt");

    // Вхідні дані
    double n = 1.3;      // частота обертання шнека, об/с
    double Pv = 25;      // продуктивність у м³/год
    double P = 3.2;      // потужність у кВт
    double D = 0.1065;   // діаметр шнека, м

    // Розрахунок частоти обертання в хвиликах
    double n_xv = n * 60;

    // Розрахунок кутової швидкості
    double omega = 2 * 3.1416 * n;

    // Розрахунок об'ємного потоку матеріалу
    double Q = Pv / 3600;

    // Розрахунок крутного моменту
    double M_kr = (P * 1000 * 60) / (2 * 3.1416 * n);

    // Розрахунок сили натягу валу
    double r = D / 2;
    double F = M_kr / r;
```

```

// Розрахунок потужності на валу
double P_val = M_kr * omega;

// Вивід результатів на екран
cout << fixed << setprecision(3); // Форматування виводу
cout << "Частота обертання шнека: " << n_xv << " об/хв" << endl;
cout << "Кутова швидкість шнека: " << omega << " рад/с" << endl;
cout << "Об'ємна продуктивність шнека: " << Q << " м^3/с" << endl;
cout << "Крутний момент: " << M_kr << " Н*м" << endl;
cout << "Сила натягу валу: " << F << " Н" << endl;
cout << "Потужність на валу: " << P_val << " Вт" << endl;

// Вивід результатів у файл
fout << fixed << setprecision(3);
fout << "Частота обертання шнека: " << n_xv << " об/хв" << endl;
fout << "Кутова швидкість шнека: " << omega << " рад/с" << endl;
fout << "Об'ємна продуктивність шнека: " << Q << " м^3/с" << endl;
fout << "Крутний момент: " << M_kr << " Н*м" << endl;
fout << "Сила натягу валу: " << F << " Н" << endl;
fout << "Потужність на валу: " << P_val << " Вт" << endl;

// Закриваємо файл
fout.close();
cout << "\nНатисніть будь-яку клавішу для завершення програми...";
cin.get();
cin.get();
return 0;
}

```

```

Частота обертання шнека: 78.000 об/хв
Кутова швидкість шнека: 8.168 рад/с
Об'ємна продуктивність шнека: 0.007 м^3/с
Крутний момент: 23505.906 Н*м
Сила натягу валу: 441425.462 Н
Потужність на валу: 192000.000 Вт

Натисніть будь-яку клавішу для завершення програми..._

```

ДОДАТОК 3

ДОДАТОК 4

., Федоряченко Юлія студ., Швачко Денис, доктор філософії, ас.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропонована модернізація шнека, яка дає можливість встановлювати декілька збірних частин лопатей, в яких можна відрегулювати напрямок витків, а також просто замінити на нові, якщо старі пошкоджені.

Ключові слова: шнек, дозатор, лопаті, модернізація.

Вступ. Шнекові (гвинтові) живильники – це важливі транспортні пристрої для переміщення сипучих матеріалів у різних галузях промисловості. Гвинт таких живильників розташовується поблизу дна жолоба й занурений у матеріал. Під час обертання гвинта частинки рухаються по гвинтовій траєкторії в напрямку до виходу [1]. Завдяки герметичності вони мають перевагу в роботі з пилоподібними вантажами, однак мають і суттєвий недолік – швидке спрацювання як самого гвинта, так і жолоба. Крім того, традиційні конструкції шнекових валів є суцільними, що обмежує можливості ремонту й адаптації до специфіки матеріалу. Саме тому актуальним є вдосконалення таких систем шляхом введення модульної архітектури.

У патенті CN222311730U запропоновано конструкцію шнекового валу з розбірною системою лопатей [2]. Механізм містить центральний шнековий вал 1, на який послідовно встановлюються змінні спіральні втулки 2 з лопатями 3. Кожна втулка має з обох сторін з'єднувальні елементи – перший 4 і другий 5, що щільно входять один в одного, формуючи фіксоване осьове зчеплення. Для забезпечення синхронного обертання застосовано систему передавальних площин – перша 6 на валі та друга 7 на внутрішній поверхні втулки, які разом утворюють механічну передачу за принципом "ключ-замок".

Герметичність конструкції підвищується за рахунок встановлення ущільнювальних елементів 8 між втулками. У торцевій частині шнекового механізму розташовуються фіксуючі елементи – дно із стопорним кільцем 9, центрувальна втулка 10, обмежувач 11 та кріпильний елемент 12, які забезпечують стійкість, точне позиціонування та запобігають осьовому зсуву деталей під час обертання. Візуально будову конструкції та положення основних елементів можна побачити на рис. 1-2.

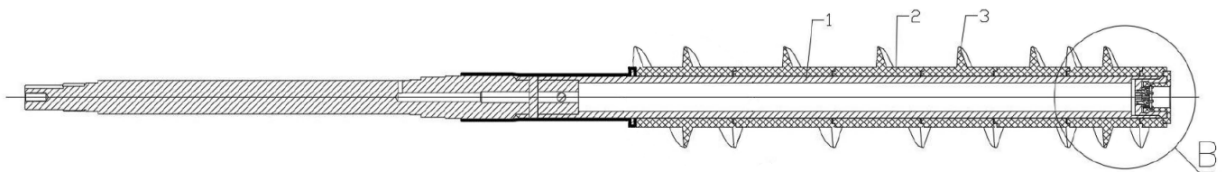


Рисунок 1 – Схема модернізованого шнекового валу

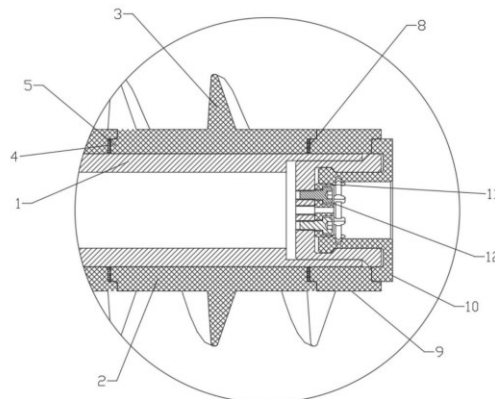


Рисунок 2 – Схема збільшеної зони В

Запропонована конструкція дозволяє легко змінювати геометрію шнека: його довжину, крок, кількість витків, а також напрям обертання. Завдяки цьому механізм стає адаптивним до різних видів сировини, рівня вологості та продуктивності. У разі пошкодження одного сегмента, він може бути швидко замінений без демонтажу всього валу, що значно зменшує простої обладнання.

Для оцінки міцності та працездатності як базової, так і модернізованої конструкції шнека було виконано числове моделювання в середовищі ANSYS 2024 R2 [3]. Обидві моделі були побудовані у SolidWorks і проаналізовані як тіла з матеріалу сталь 45 (ДСТУ 7809:2015), з урахуванням межі текучості $\sigma_t = 355$ МПа та межі міцності $\sigma_B = 600$ МПа та навантажені як показано на рис. 3.

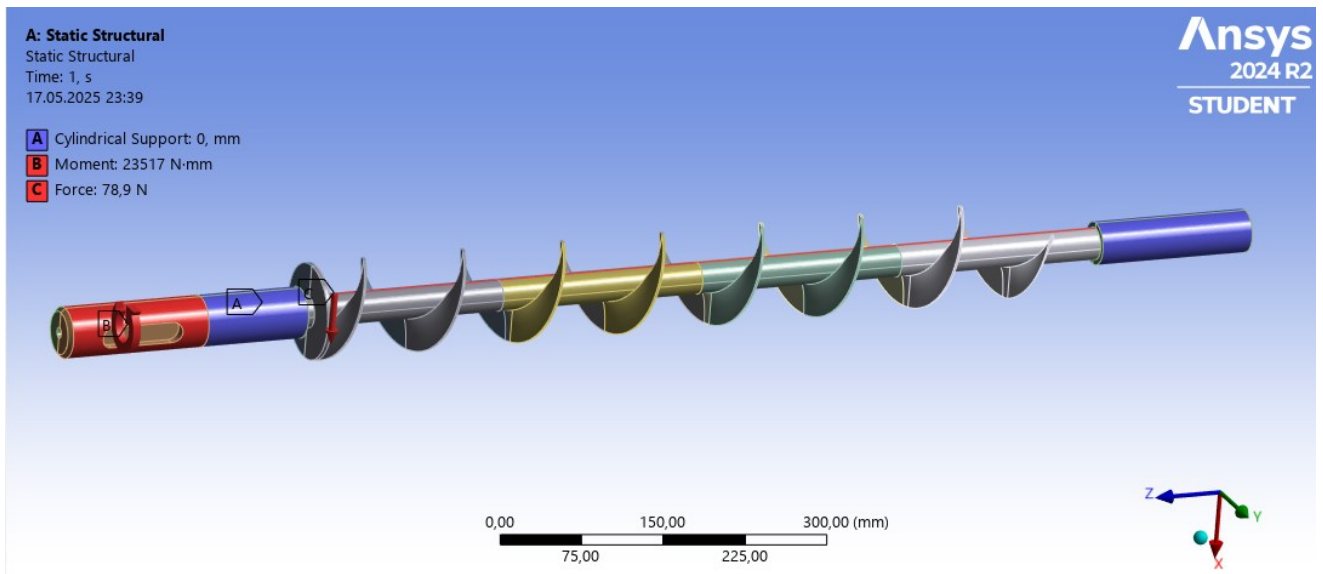


Рисунок 3 – Закріплення та навантаження для модернізованого шнека (ANSYS)

У базовій конструкції (рис. 4) максимальне переміщення становило 0,0137 мм, а еквівалентне напруження за Мізесом – 3,74 МПа. Найбільше навантаження виникло в центральній частині шнека та в зонах опор (підшипників). Коефіцієнт запасу міцності становив 94,9, що свідчить про значну перевитримку за міцністю.

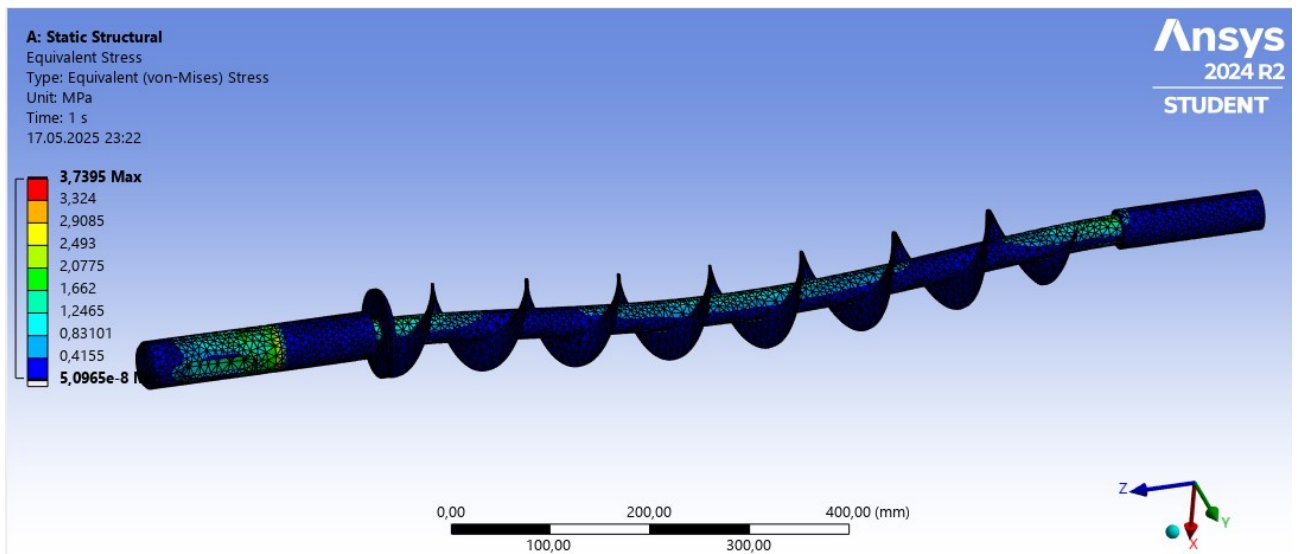


Рисунок 4 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у базовому шнеку

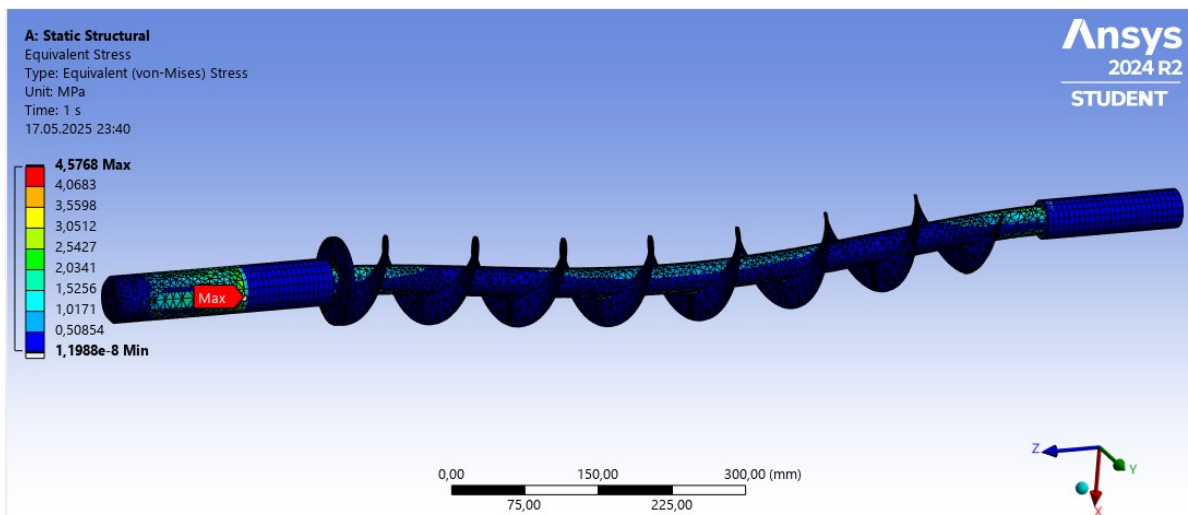


Рисунок 5 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у модернізованому шнеку

Для модернізованої конструкції (рис. 5) максимальне переміщення становило 0,0142 мм, а максимальне еквівалентне напруження – 4,58 МПа. Коефіцієнт запасу міцності у цьому випадку склав 77,6. Незважаючи на дещо більші деформації й напруження, всі значення залишаються в межах допустимого, і умова міцності виконується.

Порівняльний аналіз показує, що модернізація практично не вплинула на міцнісні характеристики шнека, однак забезпечила конструктивні переваги — можливість заміни окремих сегментів, зміну кроку лопатей, зменшення витрат на обслуговування та підвищення адаптивності обладнання.

Висновки. Запропонована конструкція шнека є працездатною. Числовий аналіз у ANSYS показав, що напруження та деформації не перевищують допустимі значення. Коефіцієнт запасу міцності становить 77,6. Модернізація дозволяє змінювати крок, напрям витків та легко замінювати зношені частини.

Перелік посилань

1. Коваленко І.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв.: навч.посібник. Київ : Воля-Інрес, 2006. 100 с.
2. Патент CN222311730U. МПК(2006.01) B65G 33/32. Механізм шнекового валу і шнековий живильник / Ян Є; Лі Дун'юань; Ян Сюньюань. № 202420488705.1; заявл. 13.03.2024; опубл. 07.01. 2025.
3. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>