

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2026 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів»

зі спеціальності – 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Шнековий живильник з модернізацією шнека

Студент IV к, групи ЛП-21 _____ *Кушнар'ов Роман Олександрович*
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проекту: _____ *к.п.н., доц., Казак Ірина Олександрівна .*
(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ: д.т.н., проф. Щербина В.Ю. _____

ТЕХ. МАШ.: ст. викл. Борщик С.О. _____

ОХОРОНИ ПРАЦІ: ст. викл. Ковтун А.І. _____

РЕЦЕНЗЕНТ _____

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

Студент (-ка) _____

Київ 2026 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *133 Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту

Кушнарьову Роману Олександровичу

1. Тема проекту «Шнековий живильник з модернізацією шнека», керівник проекту Казак Ірина Олександрівна доцент, кандидат педагогічних наук, затверджені наказом по університету від «19.05» 2026 р. №1317-С

2. Термін подання студентом проекту 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту довжина шнекового живильника $L = 2200$ мм, діаметр гребеня шнека $D = 200$ мм, діаметр осердя $d = 80$ мм, матеріал шнека – Сталь 38, матеріал транспортування – глина волога, густина матеріалу 1700 кг/м^3 , вологість глини 16%.

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ. 1. Призначення та галузь застосування шнекового живильника у технологічній лінії транспортування рідкої глини. 2. Технічна характеристика шнекового живильника. 3. Опис конструкції, та основних частин і принципу її дії. 5. Літературно-патентний огляд вибору варіанту модернізації для шнекового живильника. 5. Розрахунки для шнекового живильника, які підтверджують його працездатність. 6. Охорона праці і навколишнього середовища. 7. Технологія машинобудування. Загальні висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Технологічна лінія для виробництва цегли, ф. А1. 2 Шнековий живильник з модернізацією шнека. ф. А1. 3. Корпус підшипника, ф. А1. 4. Шнек модернізований, ф. А1. 5. 3D проектування шнеку, ф. А1. 6. Числове моделювання базового шнеку, ф. А1. 7. Числове моделювання модернізованого шнеку ф. А1. 8. Деталювання, ф. А1.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	Щербина В.Ю., професор	20.05.26	25.05.26
ТЕХ. МАШИНОБУД.	Борщик С.О., ст. викладач	20.05.26	02.06.26
ОХОРОНА ПРАЦІ	Ковтун А.І., ст. викладач	20.05.26	27.06.26

7. Дата видачі завдання 25.05.2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Призначення та галузь застосування Шнекового живильника у технологічній лінії транспортування глини	25.05.24-28.05.26	
2	Технічна характеристика шнекового живильника	29.05.24-30.05.26	
3	Опис конструкції, її основних частин та принципу дії	31.05.24-01.06.26	
4	Літературно-патентний огляд для вибору варіанту модернізації шнеку в шнековому живильнику	01.06.24-03.06.26	
5	Розрахунки шнекового живильника, які підтверджують його працездатність	03.06.24-05.06.26	
6	Охорона праці і навколишнього середовища	06.06.24-07.06.26	
7	Технологія машинобудування	08.06.24-11.06.26	
8	Оформлення пояснювальної записки та креслень	12.06.24-15.06.26	

Студент

Роман КУШНАРЬОВ

Керівник проекту

Ірина КАЗАК

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему «Шнековий живильник з модернізацією шнека».

Проект включає пояснювальну записку, інженерні та технологічні розрахунки, а також графічну частину, виконану у системі AutoCAD. Розрахунки та моделювання конструкції було проведено за допомогою ANSYS та Solidworks. Загальний обсяг записки становить 68 сторінок, 8 креслень формату A1, рисунків 19, таблиць 3 .

Об'єкт дослідження — шнековий живильник для транспортування вологої глини. Предмет дослідження — конструкція шнеку та шляхи для підвищення його міцності й довговічності.

Метою роботи є модернізація шнека шнекового живильника для підвищення надійності роботи. Для досягнення мети було розглянуто призначення, технічну характеристику та принцип дії живильника; також було виконано літературно-патентний огляд і обґрунтовано вибір варіанта модернізації за прототипом із застосуванням лез на витках шнеку; побудовано 3D-моделі базового й модернізованого шнеку; проведено порівняльні розрахунки на міцність у комплексі ANSYS; розроблено заходи з охорони праці та технологічний процес виготовлення деталі.

Дослідження виконано з використанням 3D-моделювання в системі SolidWorks, методу скінченних елементів у програмному комплексі ANSYS (модуль Static Structural) та параметричного розрахунку мовою програмування C++.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для модернізації наявних та проектування нових конвеєрних систем на підприємствах глиняної промисловості.

У дипломному проєкті бакалавра також були виконані такі розділи як охорона праці та технологія машинобудування.

За темою диплома бакалавра підготовлено і опубліковано одна теза.

Ключові слова: ШНЕКОВИЙ ЖИВИЛЬНИК, ШНЕК, КОРПУС, ПІДШИПНИК, ГЛИНА.

ABSTRACT

Thesis project on the topic “Screw Feeder with Screw Modernization.”

The project includes an explanatory note, engineering and technological calculations, as well as a graphical section created in AutoCAD. Calculations and structural modeling were performed using ANSYS and SolidWorks. The total volume of the report is 68 pages, 8 A1 format drawings, 19 figures, and 3 tables.

The object of the study is a screw feeder for transporting wet clay. The subject of the study is the screw design and ways to increase its strength and durability.

The aim of the work is to modernize the screw of the screw feeder to improve operational reliability. To achieve this goal, the purpose, technical characteristics, and operating principle of the feeder were examined; a literature and patent review was also conducted, and the choice of a modernization option based on a prototype using blades on the screw flights was justified; 3D models of the base and modernized screws were constructed; comparative strength calculations were performed in the ANSYS software package; occupational safety measures and the manufacturing process for the component were developed.

The research was carried out using 3D modeling in the SolidWorks system, the finite element method in the ANSYS software complex (Static Structural module), and parametric calculations in the C++ programming language.

The practical significance of the work lies in the possibility of using the obtained results for the modernization of existing and the design of new conveyor systems at enterprises in the clay industry.

In the bachelor's thesis project, such sections as occupational safety and mechanical engineering technology were also completed.

One thesis was prepared and published on the topic of the bachelor's thesis.

Keywords: SCREW FEEDER, SCREW, HOUSING, BEARING, CLAY

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

D – діаметр гребеня шнека мм;

G_M – масова продуктивність живильника, кг/с;

G_V – об’ємна продуктивність живильника, м³/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

n – частота обертання шнека, с⁻¹;

S – крок навивки шнека, м;

φ – коефіцієнт заповнення корпусу сипким матеріалом;

μ_t – коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу;

ρ_t – істинна густина сипкого матеріалу, кг/м³;

N – потужність електродвигуна, кВт;

n – коефіцієнт запасу міцності;

P – тиск, Па;

$\sigma_{\text{екв}}$ – еквівалентне напруження за Мізесом, МПа;

σ_p – межа міцності стрічки, Н/мм;

σ_t – межа текучості матеріалу, МПа.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА.....	10
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА.....	11
3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА.....	15
3.1 Шнекові живильники.....	16
3.2 Шнекові вали.....	16
3.3 Шнеки	17
3.4 Очисні пристрої.....	19
4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ДЛЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ШНЕКУ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА.....	20
4.1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ШНЕКУ... ..	24
5 РОЗРАХУНКИ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ЙОГО ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ.....	26
5.1 Параметричні розрахунки шнекового живильника.....	26
5.2 Розрахунки на міцність шнек.....	27
5.3 Кінематичні розрахунки шнеку.....	30
5.4 Розрахунок навантаження на шнек шнекового живильника.....	30

					ЛП21.106186.01-70ПЗ				
Змн	Лис	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Кушнар'ов Р.О.			Шнековий живильник з модернізацією шнека		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Казак І.О.						7	68
Т. контр.							КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. контр.									
Зав. каф.		Сокольський.О.Л							

5.5 3D-модельовання базового шнеку в системі SOLIDWORKS.....	32
5.6 3D-модельовання модернізованого шнеку в системі SOLIDWORKS.....	35
5.7 Розрахунки на міцність базового шнеку за допомогою програмного комплексу ANSYS.....	37
5.8 Розрахунки на міцність модернізованого шнеку за допомогою програмного комплексу ANSYS.....	40
5.9 Виконання параметричного розрахунку за допомогою мови програмування C++.....	43
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	47
6.1. Запиленість повітря робочої зони	48
6.2. Шум і вібрація.....	49
6.3. Механічні небезпеки.....	49
6.4. Мікроклімат.....	49
6.5. Пожежна та електрична безпека.....	50
6.6. Охорона навколишнього середовища.....	50
7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	51
7.1 Опис та призначення деталі.....	51
7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі.....	51
7.3 Вибір пристосування	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68
ДОДАТКИ.....	70

ВСТУП

Шнековий живильник - це спеціалізований пристрій, призначений для транспортування, дозування та рівномірної подачі сипучих і пластичних матеріалів, зокрема глини. Такі механізми широко застосовуються в цегельній, керамічній та інших галузях промисловості, де потрібна стабільна та контрольована подача матеріалу до технологічного обладнання.

Принцип роботи шнекового живильника ґрунтується на обертальному русі шнека (гвинтового робочого органу) всередині корпусу. Під час обертання шнек захоплює матеріал і переміщує його вздовж осі у горизонтальному, похилому або вертикальному напрямку. Завдяки цьому забезпечується примусова подача глини, навіть коли вона має високу вологість і схильність до злежування.

Важливою перевагою шнекових живильників є можливість точного регулювання продуктивності шляхом зміни швидкості обертання шнека. Конструкція дозволяє працювати з матеріалами різної пластичності та абразивності, що робить їх універсальним рішенням для підприємств глиняної промисловості. Крім того, правильно спроектований шнековий живильник забезпечує стабільну подачу матеріалу, зменшує ризик зависання та покращує загальну ефективність технологічного процесу.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ЛІНІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГЛИНИ

На представленій схемі технологічної лінії, виробництво цементу, шнековий живильник 6 виконує ключову роль у підготовці та транспортування глини (Рис. 1.1).

Переваги використання шнекового живильника саме в цій лінії;

- висока точність дозування, стабільність хімічного складу продукту;
- компактність - добре вписується в обмежений простір цеху
- можливість роботи з абразивними та пилоподібними матеріалами
- відносно просте обслуговування та герметичність (важливо для екологічних вимог сучасних виробництв)
- можливість регулювання продуктивності шляхом зміни швидкості обертання шнека.

Технологічна лінія виробництва цегли призначена для видобутку, підготовки, термічної обробки, охолодження, сортування та подальшої підготовки сировини до використання або реалізації. Технологічна лінія виробничого процесу цементної сировини зображена на рисунку 1.1.

Глину добувають у кар'єрі екскаватором, перевозять самоскидом для складування у відкритому сховищі 2, у якому відбувається її природна обробка (вилежування, вимерзання). У масозаготівельному відділенні сировина піддається механізованій обробці, що дозволяє отримати однорідну за фізико-механічними і реологічними властивостями керамічну масу. Навантажувачем 3 глина транспортується в глинорозпушувач 4, де подрібнюються великі шматки і грудки глини. Під глинорозпушувачем встановлений ящиківий живильник 5, що забезпечує рівномірність подачі глини в шнековий живильник 6, у якому відбувається її рівномірне перемішування. Додаткова переробка глиняної маси, видалення твердих включень здійснюється на дірчастих вальцях 7, після чого вона піддається подрібненню в глинорозтирачі 8. Складування глиняної маси

відбувається у глинозапаснику 9 для забезпечення безперебійної роботи шнекового преса у випадку зупинки машин масопідготовчого відділення.

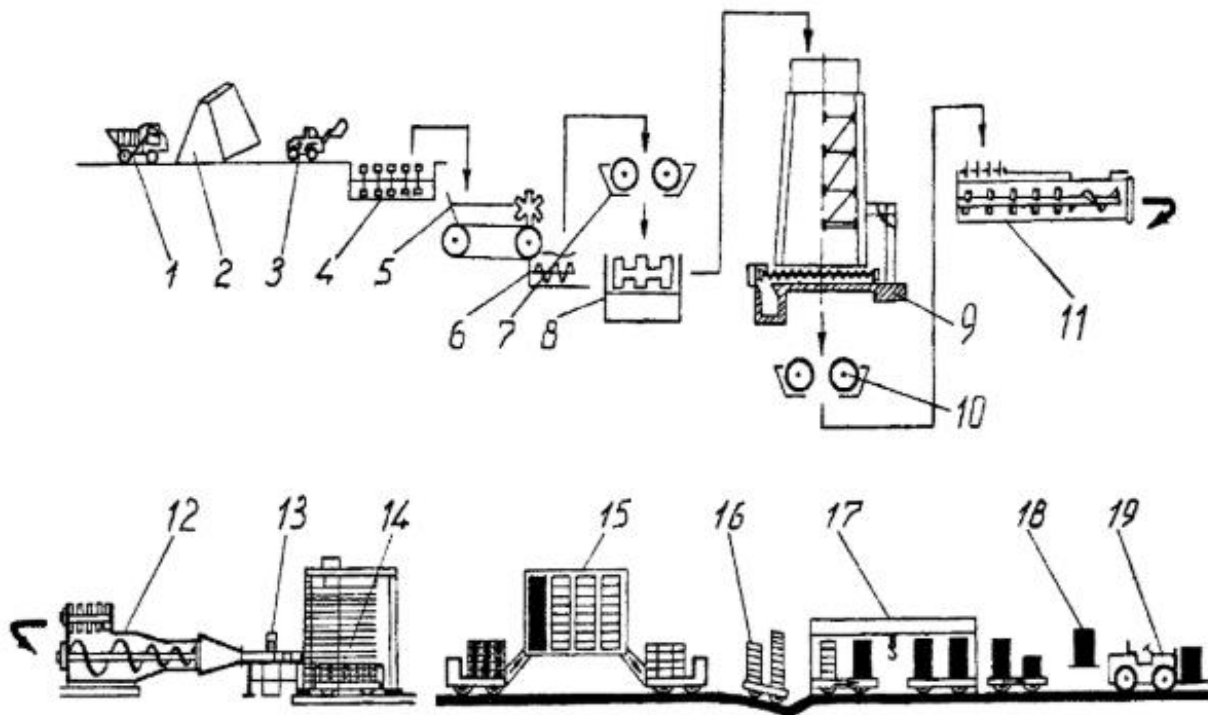


Рисунок 1.1 – Технологічна лінія виробництва цегли:

1- ескаватор; 2 - відкрите сховище; 3 – навантажувач; 4 – глинорозпушувач; 5 - ящиковий живильник; 6 - шнековий живильник; 7 - дірчасті вальці; 8 – глинорозтирач; 9 – глинозапасник; 10 - вальці тонкого помелу; 11 - фільтруюча голівка; 12 - вакуумний прес; 13 - автомат різання; 14 - сушильна вагонетка; 15 - камерні сушилки; 16 - випалювальні вагонетки; 17 – піч; 18 – піддон; 19 - майданчик відвантаження.

Для більш ретельної підготовки керамічної маси використовуються вальці тонкого помелу 10 і глинозмішувач з фільтруючою голівкою 11. У процесі тонкого подрібнення руйнуються водоміцні оболонки, що з'єднують окремі зерна мінералів, що складають глину, у результаті чого звільняються молекулярні зв'язки і навколо кожної частки утвориться гідратна плівка, що забезпечує як зчеплення, так і рухливість керамічної маси.

Глинозмішувач з фільтруючою голівкою здійснює тонке очищення маси, її перемішування і прогрівання. Підготовлена керамічна маса надходить на формування в шнековий вакуумний прес 12.

Відформований глиняний брус розрізається автоматом різання 13, і вироби укладаються на сушильну вагонетку 14. Сушіння відбувається в камерних сушилках 15. Після сушіння вироби перевантажуються на випалювальні вагонетки 16 і в печі 17 піддаються випалу. Потім укладаються на піддон 18 і транспортуються на майданчик відвантаження 19.

Одним із ключових елементів, що забезпечує стабільну та контрольовану подачу матеріалу між окремими технологічними переділами, є шнековий живильник. Його головне призначення - забезпечення рівномірної, регульованої та безперервної подачі сипких, гранульованих або пластичних матеріалів до обладнання наступної стадії обробки.

Принцип дії шнекового живильника базується на обертальному русі гвинтового робочого органу (шнека) всередині циліндричного кожуха. Шнек захоплює матеріал і переміщує його вздовж осі, забезпечуючи примусове транспортування. Така конструкція особливо ефективна для роботи зі складними матеріалами, схильними до злежування, злипання або нерівномірного потоку. Шнековий живильник дозволяє точно регулювати продуктивність шляхом зміни частоти обертання, що позитивно впливає на стабільність усього технологічного процесу.

Шнекові живильники широко застосовуються у будівельній, керамічній, хімічній, харчовій та полімерній промисловості. Вони незамінні при дозуванні наповнювачів, цементної сировини, глини, піску, добрив, комбікормів та інших матеріалів. Завдяки можливості варіювати діаметр, крок витків, довжину та матеріал виконання шнека, такі пристрої легко адаптуються до конкретних умов експлуатації, підвищують надійність лінії та зменшують ризик простоїв обладнання.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

Технічні характеристики шнекового живильника представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики шнекового живильника

№	Назва параметру	Позначення параметру	Одиниці виміру	Значення
1	Розміри шнекового живильника			
	-Діаметр	B	мм	200
	-Довжина	L	мм	2100
3	Густина матеріалу	ρ	кг/м ³	1700
4	Крутний момент	H	мм	32453
5	Потужність електродвигуна	N	кВт	4
6	ККД приводу	η	Рад/с	0,85

Волога глина належить до в'язкопластичних (пастоподібних) матеріалів і характеризується такими параметрами: насипна щільність становить 1,55-1,75 т/м³, що відповідає категорії високої щільності. За гранулометричним складом матеріал є високооднорідним, з переважанням частинок дрібної фракції (менше 0,5 мм), максимальний розмір грудок не перевищує 10-15 мм, тому його кусковатість відноситься до низького рівня. Рухливість вантажу оцінюється як висока (за рахунок пластичності), а абразивність – від низької до середньої (залежно від вмісту піщаних включень).

Шнековий живильник працює на відкритому повітрі під навісами, що може спричиняти підвищену запиленість абразивним пилом, високу вологість повітря, ускладнений доступ для технічного обслуговування, недостатнє освітлення, а також вплив несприятливих погодних умов (дощ, мороз, перепади температури).

Особливу увагу слід приділяти стабільності вологості глини (оптимально 15–20 %), оскільки її відхилення суттєво впливає на в'язкість маси, ризик налипання на шнек та рівномірність подачі.

Матеріал також характеризується підвищеною адгезією до металевих поверхонь.

Для шнекового живильника надмірна адгезія - це один з головних факторів прискореного зносу. Тому важливо підтримувати оптимальну вологість (15–18 %), використовувати шнеки з антиадгезійним покриттям (хром, тефлон, спеціальні сплави) або зносостійкими наплавками, а також регулярно очищати обладнання.

З ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

На рис. 3.1 представлено схему шнекового живильника разом із його ключовими компонентами.

До складу шнекового живильника, окрім основних вузлів, також входять система приводу, завантажувальний бункер, вивантажувальний патрубок, опорні підшипникові вузли, а також допоміжне обладнання (системи змащування, датчики контролю та пристрої очищення).

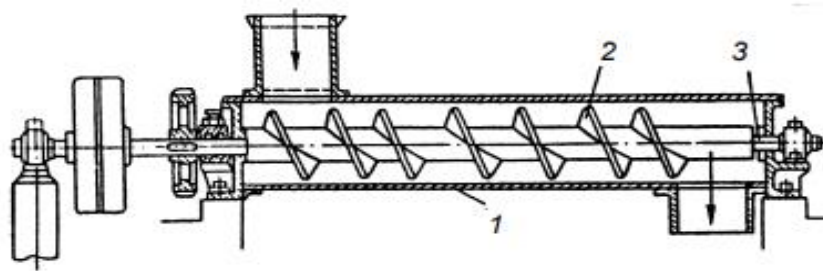


Рисунок 3.1 – Загальний вид шнекового живильника:

1– корпус; 2 – шнек; 3 – вал

Шнекові живильники є одним із ключових елементів систем транспортування та дозування в'язкопластичних і сипучих матеріалів, оскільки значною мірою впливають на рівномірність подачі, продуктивність лінії та строк служби наступного обладнання (екструдерів, пресів). Вони повинні відзначатися достатньою міцністю, зносостійкістю, герметичністю, низьким енергоспоживанням та зручністю в обслуговуванні.

Принцип дії шнекового живильника (шнека):

Шнековий живильник працює за принципом гвинтового транспортера за допомогою електродвигуна приводить до руху вал 3. Основний елемент – шнек 2, який обертається всередині циліндричного корпусу 1.

Коли двигун приводить шнек у обертання:

- Матеріал (порошок, гранули, зерно, глина тощо) надходить зверху через бункер.

- Обертовий гвинт захоплює матеріал і протискує його вздовж корпусу до виходу.

- Матеріал переміщується горизонтально (або під кутом) і висипається через нижній випускний отвір.

Переваги: рівномірна подача, можливість точного дозування, герметичність, простота конструкції.

3.1 Шнекові живильники

Шнекові живильники поділяються на горизонтальні, похилі та вертикальні залежно від кута встановлення. За конструкцією робочого органу розрізняють одношнекові та двошнекові, а також з суцільним, лопатковим або безосьовим (стрічковим) гвинтом. Для важких в'язких матеріалів, таких як глина, найчастіше застосовують одношнекові живильники з суцільним або лопатковим гвинтом у закритому корпусі.

Продуктивність шнекового живильника залежить від діаметра шнека, кроку витків, частоти обертання та коефіцієнта заповнення. Зазвичай частота обертання становить 40–150 об/хв, а продуктивність може регулюватися зміною швидкості приводу. Більші діаметри (250–500 мм) застосовують для високої продуктивності, менші – для точного дозування. Одношнекові живильники є найпоширенішими для глини, двошнекові використовують для матеріалів з високою адгезією або при необхідності інтенсивного перемішування.

Особливе значення мають змінний крок витків і конічна форма шнека на вході, які забезпечують рівномірну масову подачу матеріалу та запобігають зависанню.

3.2 Шнекові вали

У шнекових живильниках вал шнека є основним робочим елементом, який одночасно виконує функції тягового та транспортуючого органу. Він забезпечує переміщення в'язкопластичної маси (рідкої глини) вздовж корпусу за рахунок обертального руху. Рух вала здійснюється за рахунок приводу, який зазвичай

включає електродвигун, редуктор і муфту, а передача крутного моменту на витки шнека відбувається через жорстке з'єднання (шпонкове, фланцеве або зварне).

Під час роботи шнековий вал зазнає значних і різноспрямованих навантажень. Найбільш суттєвими є крутний момент, який передається від приводу, осьові зусилля стиснення матеріалу (особливо в зоні ущільнення перед вивантаженням), радіальні сили, що виникають через нерівномірне заповнення корпусу, а також динамічні навантаження від вібрацій і можливих ударів грудок глини. Крім того, вал постійно піддається інтенсивному зносу.

Основними видами зносу є абразивний знос зовнішньої поверхні витків і вала від тертя об транспортовану глину та тверді абразивні включення (кварц, пісок, слюда). Значний вплив має адгезійне налипання глини на поверхню вала, яке призводить до порушення геометрії робочого органу, збільшення опору руху та додаткового навантаження на привід. Також спостерігається втомна деформація металу внаслідок циклічних навантажень, корозійно-механічний знос у умовах підвищеної вологості та запиленості, а в зимовий період – додаткове руйнування через перепади температур і можливе замерзання матеріалу.

Робота на відкритому повітрі під навісами посилює негативний вплив навколишнього середовища: висока відносна вологість повітря, запиленість абразивним пилом, недостатнє освітлення та ускладнений доступ для технічного обслуговування. Усе це суттєво впливає на строк служби вала шнека та потребує застосування спеціальних заходів захисту – зносостійких наплавок, антиадгезійних покриттів, якісного змащування підшипникових вузлів та регулярного контролю технічного стану.

3.3 Шнеки

Шнеки (гвинтові робочі органи) є основним функціональним елементом шнекових живильників і виконують одночасно роль транспортуючого, дозуючого та ущільнюючого механізму. Вони забезпечують примусове переміщення в'язкопластичної маси (рідкої глини) вздовж корпусу від завантажувального бункера до вивантажувального патрубку за рахунок обертального руху.

Шнек складається з центрального вала та гвинтової поверхні (витків), яка може бути суцільною, лопатковою, стрічковою або комбінованою. У шнекових живильниках для глини найпоширенішими є одношнекові конструкції з суцільним або частково розірваним гвинтом. Для покращення захоплення матеріалу на вході часто застосовують збільшений крок витків або конічну форму шнека, а в зоні ущільнення – зменшений крок, що сприяє рівномірній подачі та запобігає зависанню глини.

Під час роботи шнеки зазнають високих механічних навантажень. Вони працюють під впливом значного крутного моменту, осьових зусиль стиснення матеріалу, радіальних сил від тиску глини на витки, а також динамічних навантажень, спричинених нерівномірністю потоку та вібраціями. Особливо інтенсивно навантажується вхідна частина шнека (зона захоплення) та зона передвивантаження, де відбувається максимальне ущільнення матеріалу.

Перелічимо основні фактори зносу шнеків. Абразивний знос витків від тертя об глину, що містить тверді частинки (кварц, пісок, кам'яні включення); адгезійний знос - налипання та наростання глини на поверхні витків, що порушує геометрію шнека, збільшує енергоспоживання та нерівномірність подачі; втомні пошкодження вала та кореня витків через циклічні навантаження; корозійно-механічний знос у умовах підвищеної вологості та роботи на відкритому повітрі.

Ефективність і довговічність шнека значною мірою залежить від правильного вибору його геометричних параметрів (діаметр, крок витків, товщина стрічки), матеріалу виготовлення (зносостійкі сталі, чавун) та захисних заходів – наплавлення твердосплавних матеріалів, хромування, тефлонових або керамічних покриттів. Для роботи з рідкою глиною особливо важливо підтримувати оптимальну вологість матеріалу (15–20 %), оскільки її відхилення суттєво посилює адгезію та знос шнека.

3.4 Очисні пристрої

Очисні пристрої є важливим допоміжним елементом шнекових живильників, особливо при роботі з в'язкопластичними матеріалами, такими як рідка глина,

оскільки вони безпосередньо впливають на запобігання налипанню, забезпечення стабільної продуктивності та продовження строку служби основних робочих органів (шнека та корпусу). Вони повинні відзначатися достатньою ефективністю очищення, зносостійкістю, простотою монтажу та обслуговування в умовах підвищеної вологості та запиленості.

Очисні пристрої шнекових живильників поділяються на механічні, конструктивні та комбіновані. До механічних належать скребки, щітки та ножі, які встановлюються в зонах завантаження, ущільнення або вивантаження і постійно або періодично видаляють налиплий шар глини з поверхні витків та внутрішньої стінки корпусу. Конструктивні рішення передбачають спеціальну геометрію шнека (розірвані витки, лопаткові вставки, змінний крок) або антиадгезійні покриття корпусу (хромування, тефлон, кераміка), які самі по собі зменшують прилипання матеріалу. Комбіновані системи включають автоматичні пристрої очищення з пневматичним або гідравлічним приводом, а також періодичне використання спеціальних очищувальних компаундів або промивок.

Особливе значення очисні пристрої мають при роботі на відкритому повітрі під навісами, де висока вологість повітря та перепади температури посилюють адгезію глини. Ефективне очищення дозволяє підтримувати оптимальний зазор між шнеком і корпусом, зменшувати енергоспоживання приводу, запобігати нерівномірній подачі матеріалу та передчасному зносу обладнання. Регулярне технічне обслуговування очисних елементів (заміна зношених скребків, контроль щільності прилягання) є обов'язковою умовою стабільної експлуатації шнекового живильника.

4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ДЛЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ШНЕКУ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

Проаналізовані джерела [2-6] та виявлені особливості роботи живильника гвинтового, його переваги і недоліки. Для вибору модернізації шнекового живильника знайдено 5 технічних рішень на основі патентів. Розглянемо їх детальніше.

Конструкція на основі прототипу [2] відноситься до обладнання для транспортування та дозування хімічних порошків за допомогою спірального (гвинтового) конвеєра і може бути використана також для дозування інших дрібно- та порошкоподібних матеріалів у хімічній, будівельній, харчовій та інших галузях промисловості [2].

Опишемо запропоновану конструкцію хімічного порошкового спірального конвеєра, яка представлена на рис. 4.1.

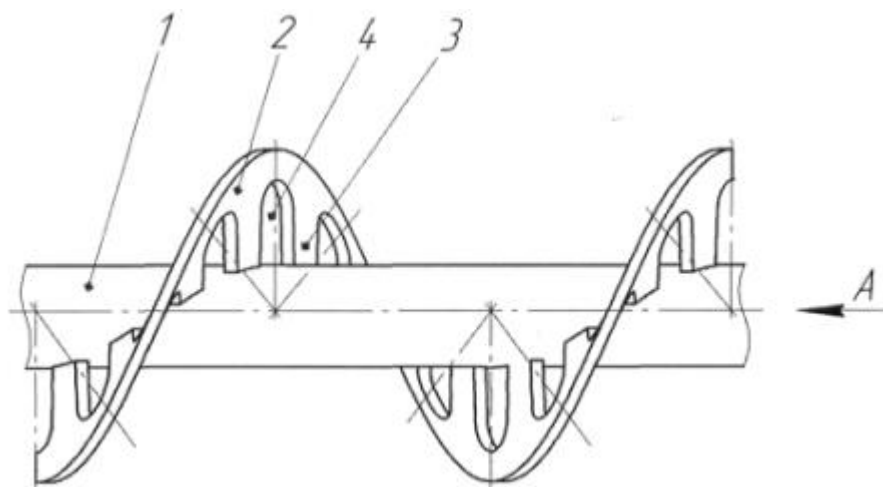


Рисунок 4.1 – Схема загального вигляду спірального конвеєра з вирізами:

1 – вал; 2 – стрічкова спіраль; 3 – ребра 4 – вирізи

Технічним результатом розглянутої конструкції є підвищення ефективності транспортування сипких, порошкоподібних або схильних до злежування матеріалів за рахунок створення додаткових зон перемішування та руйнування ущільнених мас. Аркоподібні елементи спіралі захоплюють матеріал із внутрішніх шарів

потіку, піднімають його та повторно переміщують у транспортний потік, що покращує однорідність подачі та зменшує утворення застійних зон.

Додатковою перевагою конструкції є зниження ризику налипання та накопичення матеріалу на валу і між витками шнека. Відкриті проміжки між аркоподібними елементами сприяють самоочищенню робочого органа та проходженню матеріалу через внутрішні області спіралі. Завдяки цьому зменшується ймовірність закупорювання транспортуючого каналу, підвищується стабільність продуктивності та точність дозування.

У джерелі [3] еластичний шнек може бути використане при транспортуванні сипучих матеріалів.

Схема еластичного шнека представлена на відповідному рисунку 4.2.

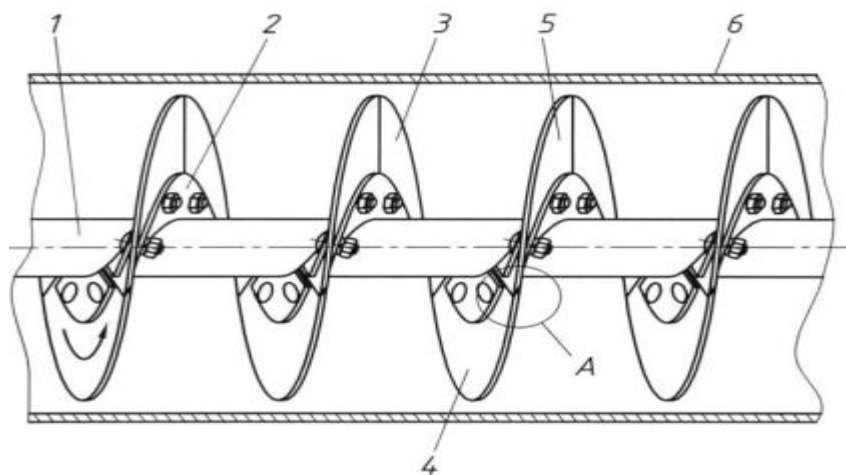


Рисунок 4.2 – Схема еластичного шнека:

1 – вал ; 2 – отвори; 3 – виток; 4 – виток; 5 – виток; 6 – корпус

Конструкція включає еластичний (гнучкий) шнек, що дозволяє адаптуватися до умов транспортування, зменшуючи ризик поломок і покращуючи прохідність у вигнутих або складних трасах.

Технічним результатом розглянутої конструкції є підвищення гнучкості та адаптивності шнека, що зменшує знос, покращує транспортування в обмежених просторах та запобігає заклинюванню за рахунок еластичних властивостей.

У джерелі [4] шарнірний шнек відноситься до гвинтових транспортерів.

Схема шарнірного шнека представлена на рисунку 4.3. Конструкція містить шарнірно з'єднані гвинтові секції у вигляді гвинтових ребер, закріплених на валах, що дозволяє шнеку адаптуватися до змін напрямку або рельєфу.

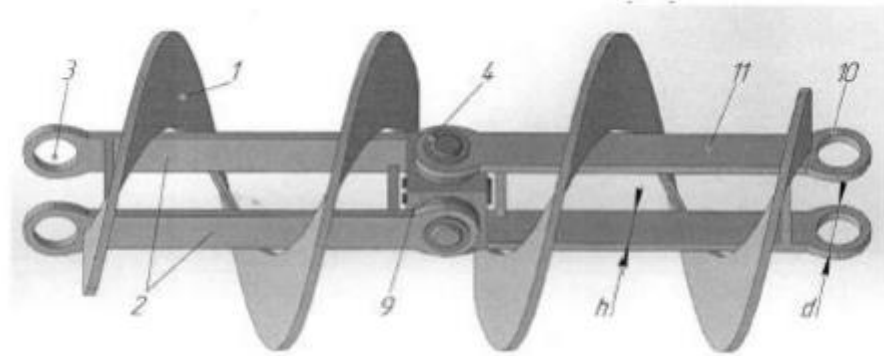


Рисунок 4.3 – Схема шарнірного шнека:

1 – витки; 2 – вали; 3 – отвори рел'єфу; 4 - центральний підшипниковий вузол; 9 - нижня частина центрального блоку; 10 - праве кріпильне вушко 11 - гвинтова лопать на правій секції; h - позначка висоти; d - позначка діаметра

Технічним результатом є можливість транспортування по складних трасах (з вигинами), підвищення надійності та зменшення енергозатрат за рахунок шарнірних з'єднань, які компенсують деформації та перешкоджають поломкам.

Технічне рішення у джерелі [5] стосується дозуючих або транспортуючих пристроїв гвинтового типу (на основі доступних даних про подібні українські патенти в галузі). Воно може застосовуватися для точного дозування сипучих матеріалів.

Опис конструкції на рис.4.4: включає удосконалений гвинтовий механізм з елементами регулювання швидкості або очищення.

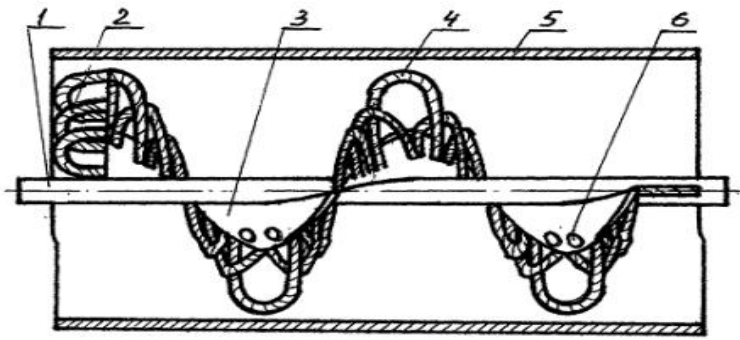


Рисунок 4.4 – Схема удосконаленого гвинтового механізму з елементами регулювання швидкості або очищення: 1 - Котушка/змотування троса перед входом у канал; 2 - Вертикальний або початковий відрізок плетеного троса; 3 - Середня частина троса; 4 - Верхня центральна петля троса; 5 - Права частина троса; 6 - Права нижня петля троса;

Технічним результатом є підвищення точності дозування та зменшення втрат матеріалу завдяки спеціальним конструктивним елементам [5].

Технічне рішення у джерелі [6] відноситься до спіральних конвеєрів з елементами запобігання блокуванню.

Схема представлена на рисунку 4.5. Включає додаткові елементи для розпушування або вібрації.

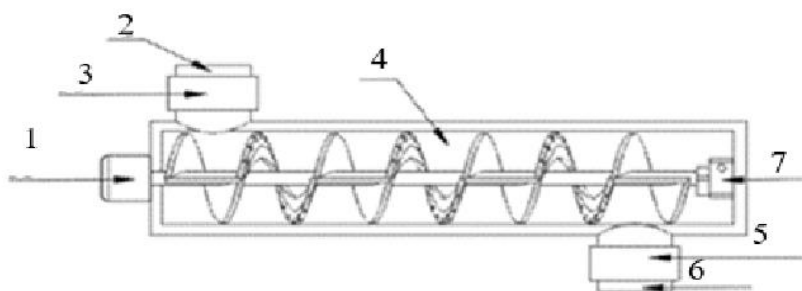


Рисунок 4.5 – Схема шнека з лезами:

1 - привідний вал (з'єднання з мотором); 2 - вхідний завантажувальний патрубок бункера ; 3 - корпус шнека труба; 4 - гвинтова стрічка шнека робочий орган; 5 - опора / підшипник кінцевий; 6 - випускний розвантажувальний патрубок ; 7 - кінцева опора з ущільненням

Технічним результатом є покращена прохідність для порошкових матеріалів, зменшення простоїв та підвищення продуктивності.

Ці технічні рішення надають варіанти модернізації базового шнекового живильника: від еластичних/шарнірних конструкцій для гнучкості до антиблокувальних систем зі скребками та вібрацією для роботи з проблемними матеріалами. Вибір залежить від конкретних умов експлуатації (тип матеріалу, траса, вимоги до точності).

4.1 Обґрунтування вибору варіанту модернізації шнеку до шнекового живильника

Обрано конструкцію шнека на основі прототипу [6] як основне технічне рішення для модернізації шнекового живильнику (Рис.4.5).

Призначення: Транспортування хімічних порошкових матеріалів у замкнутому кожусі з високим ступенем захисту від закупорювання, злежування та налипання, особливо вологих або схильних до грудкування порошків [6].

Конструкція: Містить зовнішній циліндр 10 з розміщеними на кінцях завантажувальним 12 та розвантажувальним 14 патрубками, центральний активний вал 17, приводимий електродвигуном 11. На валу закріплена несуча гвинтова спіраль, утворена основними спіральними лопатями 18 з прикріпленими скребками 19, що щільно прилягають до внутрішньої стінки циліндра. Між лопатями в шаховому порядку розташовані додаткові спіральні стрічки 20 з пилкоподібною (зубчастою) зовнішньою поверхнею. У зоні розвантаження розміщена антизакупорювальна структура, що включає монтажну коробку 16 з турбінною пластиною 22, двома штовхачами 24 з напрямними стовпчиками 28, вібростержнями 21 та зворотними пружинами 27 [6].

Принцип дії: При обертанні валу спіральні лопаті 18 та зубчасті стрічки 20 забезпечують просування та активне розпушування порошку, а скребки 19 постійно очищають внутрішню поверхню циліндра. Одночасно турбінна пластина 22 періодично взаємодіє з напрямними стовпчиками, змушуючи вібростержні 21 здійснювати поперемінні ударні рухи по стінках зовнішнього циліндра. Це

забезпечує ефективне руйнування грудок і запобігає закупорюванню, забезпечуючи стабільний потік матеріалу без зупинок [6].

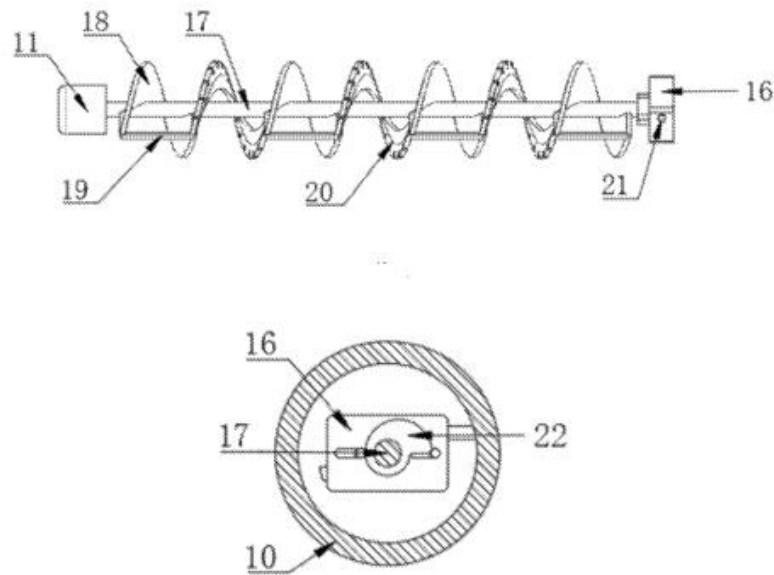


Рисунок 4.6 – Конструкція живильника з лезами

Технічним результатом застосування конструкції живильника з лезами є вищий технічний ефект щодо запобігання підпресовці та очищення внутрішньої поверхні корпусу шнекового живильника.

5 РОЗРАХУНКИ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ЙОГО ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

5.1 Параметричні розрахунки шнекового живильника

Позначення вихідних величин: D – діаметр гребеня шнека, м; G_M – масова продуктивність живильника (дозатора), кг/с; G_V – об’ємна продуктивність живильника (дозатора), м³/с; n – частота обертання шнека, с⁻¹; S – крок навивки шнека, м; ϕ – коефіцієнт заповнення корпуса сипким матеріалом; μ_T – коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу; ρ_T – істинна густина сипкого матеріалу, кг/м³.

Порядок розрахунку

1. Об’ємна продуктивність живильника (дозатора), м³/с

$$\phi \pi = S n D G_V 4 2 ,$$

де D – діаметр гребеня шнека, м;

S – крок навивки шнека, м;

n – частота обертання шнека, с⁻¹;

ϕ – коефіцієнт заповнення корпуса сипким матеріалом (для кускового матеріалу $\phi = 0,200,33$; для порошкоподібного з підпором – $\phi = 1,0$).

2. Масова продуктивність живильника (дозатора), кг/с

$$G_M = G_V \rho_T \mu_T ,$$

де μ_T – коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу;

ρ_T – істинна густина сипкого матеріалу, кг/м³ .

Визначимо об’ємну та масову продуктивність шнекового живильника для подавання керамічної цегли. Параметри живильника (дозатора): діаметр гребеня шнека $D=0,2$ м, крок навивки шнека $S=0,2$ м, коефіцієнт заповнення корпуса сипким матеріалом $\phi=0,3$, частота обертання шнека $n=1,2$ с⁻¹. Властивості й характеристики керамічної цегли: коефіцієнт розпушення $\mu_T=0,4$, істинна густина $\rho_T=$ кг/м³.

Візьмемо стандартну **керамічну цеглу $250 \times 120 \times 65$ мм**, масою:

$$m_{\text{цегли}} = 3,5 \text{ кг/шт}$$

Об'єм такої цегли:

$$V = 250 \text{ мм} \cdot 120 \text{ мм} \cdot 65 \text{ мм} = 0,00195 \text{ м}^3$$

$$G_v = 4\pi \cdot 0,22^2 \cdot 0,2 \cdot 1,2 \cdot 0,3 = 2,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Масова продуктивність живильника (дозатора)

$$G_M = 2,26 \cdot 10^{-3} \cdot 1700 = 3,842 \text{ кг/с}$$

Перевірка (масова продукція у штуках/с)

$$N_{\text{шт/с}} = m_{\text{цегли}} = 3,842 / 3,5 = 1,10 \text{ шт/с}$$

5.2 Розрахунки шнека на міцність

Розрахунки шнека на міцність шнекового живильника

Схему навантаження шнеку представлено на рис. 5.1

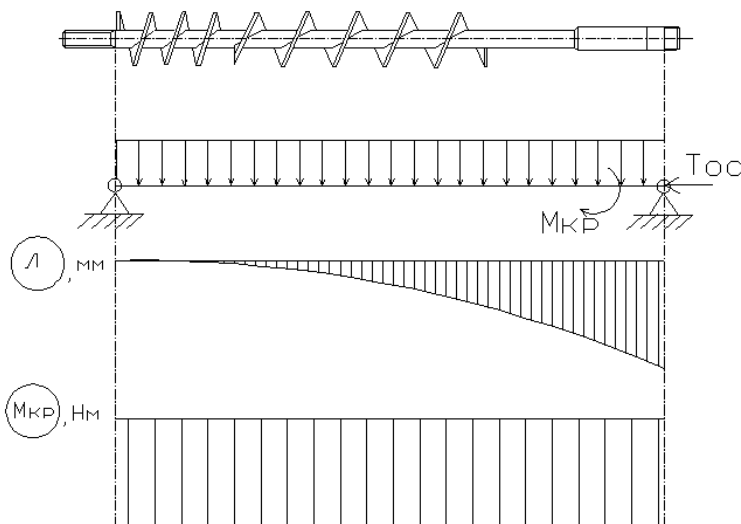


Рисунок 5.1 - Схема навантаження шнеку

Розрахунок шнека на міцність – перевірка запроектованих на підставі попередніх розрахунків розмірів шнека і визначення максимального прогину.

Вихідні дані: $D = 0,2$ м, $L = 2,2$ м, $d = 0,08$ м, $d_0 = 0,1$ м, передана потужність $N = 4$ кВт.

На шнек діє сила P_{oc} , крутний момент $M_{кр}$ і рівномірно розподілене навантаження q від дії власної ваги гвинта. Сили P_{oc} і q викликають прогин шнека f .

Визначимо максимальний обертальний момент, діючий на шнек:

$$M_{кр. \max} = 9736 \cdot \frac{N}{n} = 9736 \cdot \frac{4}{120} = 324,53 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Осьова сила, яка діє на шнек:

$$T_{ос.} = \frac{2 \cdot M_{кр.}}{D} \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \cdot 324,53}{0,2} \cdot \operatorname{tg} 40^\circ = 2723 \text{ Н}$$

де φ – кут нахилу гвинтової лінії шнека

D – діаметр шнека.

Власна вага черв'яка:

$$G = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot L \cdot \rho \cdot g = \frac{3,14 \cdot (0,2^2 - 0,08^2)}{4} \cdot 2,2 \cdot 1600 \cdot 9,8 = 909,9$$

Розподілене навантаження від власної ваги:

$$q = \frac{G}{L} = \frac{909,9}{2,2} = 413,5 \text{ Н/м}$$

Полярний момент інерції [6]:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4 (1 - \alpha^4)}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,08^4 (1 - 0,8^4)}{64} = 118,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

де d – діаметр осердя,

$$\alpha - \text{відношення: } \alpha = \frac{d}{d_0} = \frac{0,08}{0,1} = 0,8$$

Площа небезпечного перетину:

$$F = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,2^2 - 0,08^2)}{4} = 26,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Радіус інерції:

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{118,6 \cdot 10^{-8}}{26,38 \cdot 10^{-3}}} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Ступінь жорсткості черв'яка:

$$\lambda = \frac{M \cdot L}{i} = \frac{324,53 \cdot 2,2}{6,7 \cdot 10^{-3}} = 106,6 \cdot 10^3$$

Полярний момент опору:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3 (1 - \alpha^3)}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,08^3 (1 - 0,8^3)}{32} = 24,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Дотичні напруги:

$$\tau = \frac{M_{кр.}}{W} = \frac{324,53}{24,52 \cdot 10^{-6}} = 13,24 \text{ МПа}$$

Нормальні напруги:

$$\sigma_{oc.} = \frac{T_{oc.}}{F} = \frac{2723}{26,38 \cdot 10^{-3}} = 0,103 \text{ МПа}$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{oc}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{0,103^2 + 4 \cdot 13,24^2} = 26,48 \text{ МПа}$$

$$\text{Коефіцієнт запасу міцності: } n = \frac{\sigma_{тек.}}{\sigma_e} = \frac{850}{26,48} = 32,1$$

де $\sigma_{тек.}$ - границя текучості, $\sigma_{тек.} = 850 \text{ МПа}$ для сталі 38.

$$\kappa = \sqrt{\frac{T_{oc}}{E \cdot I}} = \sqrt{\frac{2723}{2 \cdot 10^{11} \cdot 118,6 \cdot 10^{-8}}} = 0,11$$

$$A = \frac{q \left[L - \frac{1}{k} \sin(kL) \right]}{k \cdot \cos(kL)} = \frac{413,5 \left[2,2 - \frac{1}{0,11} \cdot \sin(0,11 \cdot 2,2) \right]}{0,11 \cdot \cos(0,11 \cdot 2,2)} = 82,9$$

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \left[\frac{q}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + \frac{L_p}{2} \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{q}{k^3} + A \cdot L_p \right) \cos(kL_p) - \frac{1}{q} \left(\frac{qL_p}{k} - A \right) \sin(kL_p) \right] =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 118,6 \cdot 10^{-8}} \left[\frac{413,5}{0,11^2} \left(\frac{1}{0,11^2} + \frac{2,2}{2} \right) - \frac{1}{0,11} \left(\frac{413,5}{0,11^3} + 82,9 \cdot 2,2 \right) \cos(0,11 \cdot 2,2) - \right.$$

$$\left. \frac{1}{0,11} \left(\frac{413,5 \cdot 2,2}{0,11} - 82,9 \right) \cdot \sin(0,11 \cdot 2,2) \right] =$$

$$= 0,42 \text{ мм} = 0,00042 \text{ м}.$$

$$\delta \leq \delta_{зад}.$$

$\delta_{зад} = 0,015$ мм з геометрії шнека. $0,00042 \leq 0,015$, виконуються умови міцності.

5.3 Кінематичні розрахунки

Вихідні дані:

$D = 0.2$ м – зовнішній діаметр шнека.

$d = 0.08$ м – діаметр внутрішнього вала шнека.

$S = 0.16$ м – крок гвинта.

$L = 2.1$ м – робоча довжина шнека.

$\eta_b = 0.8$ – безрозмірний коефіцієнт осьового ковзання матеріалу.

Максимально допустима частота обертання, при перевищенні якої відцентрова сила порушує процес транспортування розраховується за формулою:

$$n_{\text{макс}} = \frac{45}{\sqrt{D}}$$

де – критична частота обертання вала (об/хв); D – зовнішній діаметр шнека (м).

$$n_{\text{макс}} = \frac{45}{\sqrt{0.2}} = \frac{45}{0.4472} = 101 \text{ об/хв}$$

Приймаємо максимальну цілу робочу частоту обертання шнека рівною $n = 100$ об/хв.

Кут підйому гвинтової лінії на зовнішньому діаметрі, що визначає нахил лопаті відносно поперечного перерізу розраховується за формулою:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{S}{\pi * D}\right)$$

де α – кут підйому гвинтової лінії (град); S – крок гвинта (м); π – математична константа (число Пі); D – зовнішній діаметр шнека (м).

$$\alpha = \arctan\left(\frac{0.16}{3.1416 * 0.2}\right) = \arctan(0.2546) = 14.28^\circ$$

Окружна швидкість шнека, яка визначає лінійну швидкість крайньої точки лопаті розраховується за формулою:

$$v_{\text{пер}} = \frac{\pi * D * n}{60}$$

де $v_{\text{пер}}$ – периферійна швидкість лопаті (м/с); π – математична константа (число Пі); D – зовнішній діаметр шнека (м); n – частота обертання вала (об/хв).

$$v_{\text{пер}} = \frac{3.1416 * 0.2 * 100}{60} = 1.047 \text{ м/с}$$

Осьова швидкість руху матеріалу, що відображає фактичну лінійну швидкість переміщення вантажу вздовж жолоба з урахуванням ковзання розраховується за формулою:

$$v_{\text{ос}} = \frac{S * n}{60} * \eta_{\text{в}}$$

де $v_{\text{ос}}$ – швидкість руху матеріалу (м/с); S – крок гвинта (м); n – частота обертання вала (об/хв); $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт осьового ковзання матеріалу.

$$v_{oc} = \frac{0.16 * 100}{60} * 0.8 = 0.213 \text{ м/с}$$

Час транспортування матеріалу, який визначає тривалість проходження порції вантажу через усю довжину живильника розраховується за формулою:

$$t = \frac{L}{v_{oc}}$$

де t – час транспортування (с); L – робоча довжина шнека (м); v_{oc} – осьова швидкість руху матеріалу (м/с).

$$t = \frac{2.1}{0.213} = 9.86 \text{ с}$$

5.5 3d-моделювання базового шнеку в системі solidworks

Для побудови 3D-моделі вузла роlikової опори використовуємо CAD систему SolidWorks.

Розглянемо побудову немодифікованого шнеку. Вона складається із двох валів та витків.

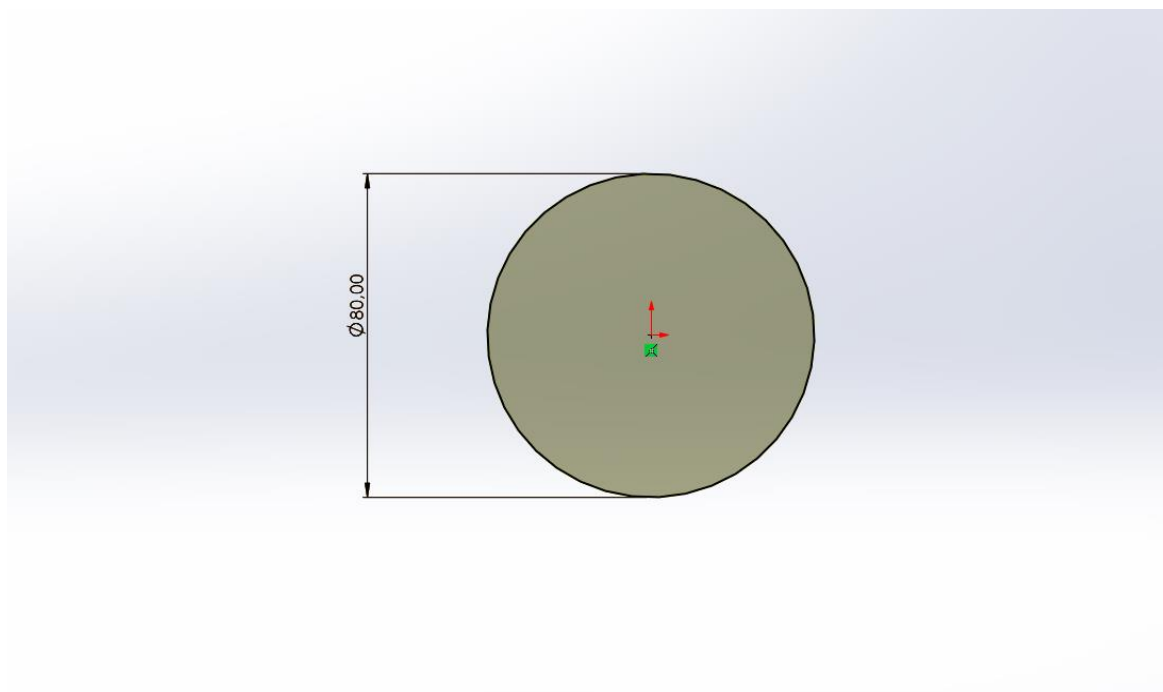


Рис 5.2. Діаметр валу для шнекового живильника.

Для початку будуюмо коло згідно діаметру нашого живильника (80 мм)

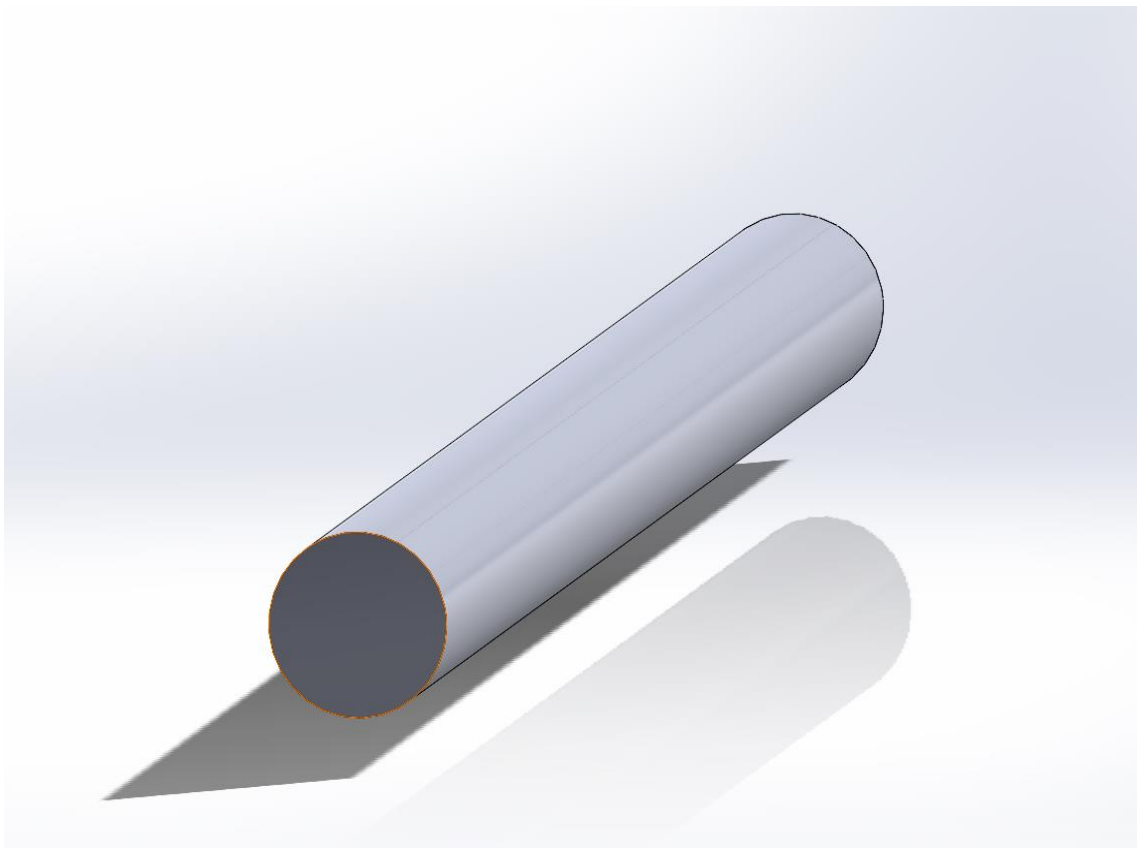


Рис 5.3 Видавлюємо наше коло за допомогою команди boss base
extrude на 2100 мм

Після цього варто додати ще один вал для імітації опори яка буде задавати
крутний момент від електродвигуна.

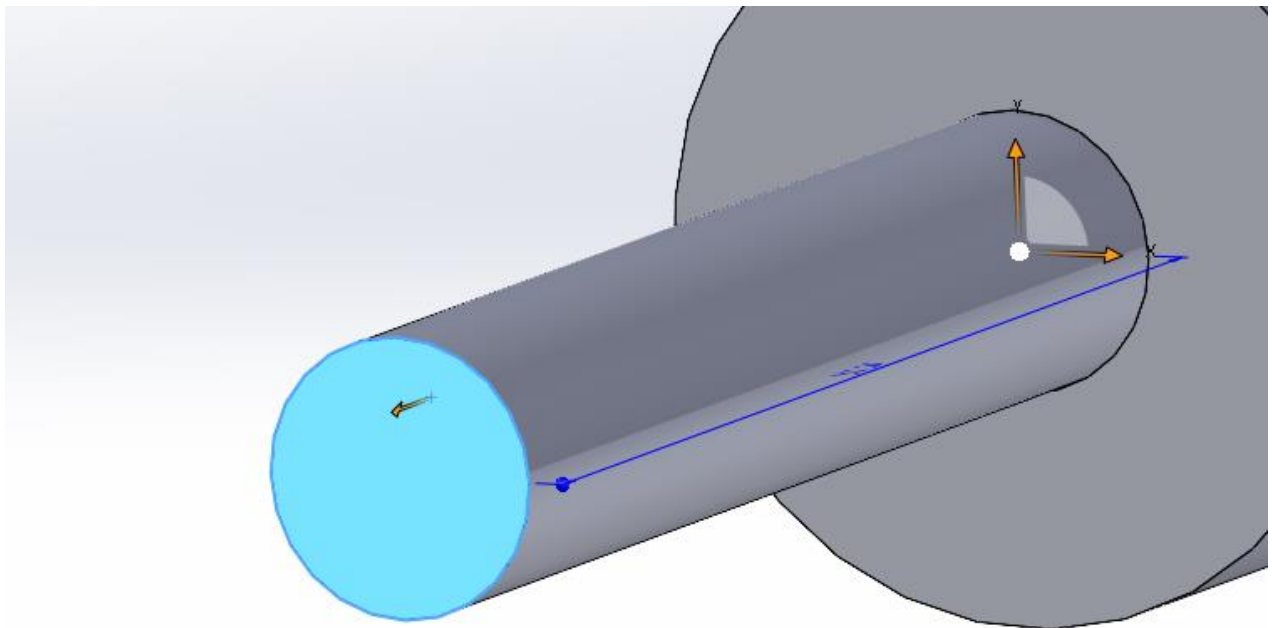


Рис 5.4 Вал для електродвигуна та закріплень
Фінальною дією буде створення витків на основному валу, за допомогою

команди Helix and spiral.

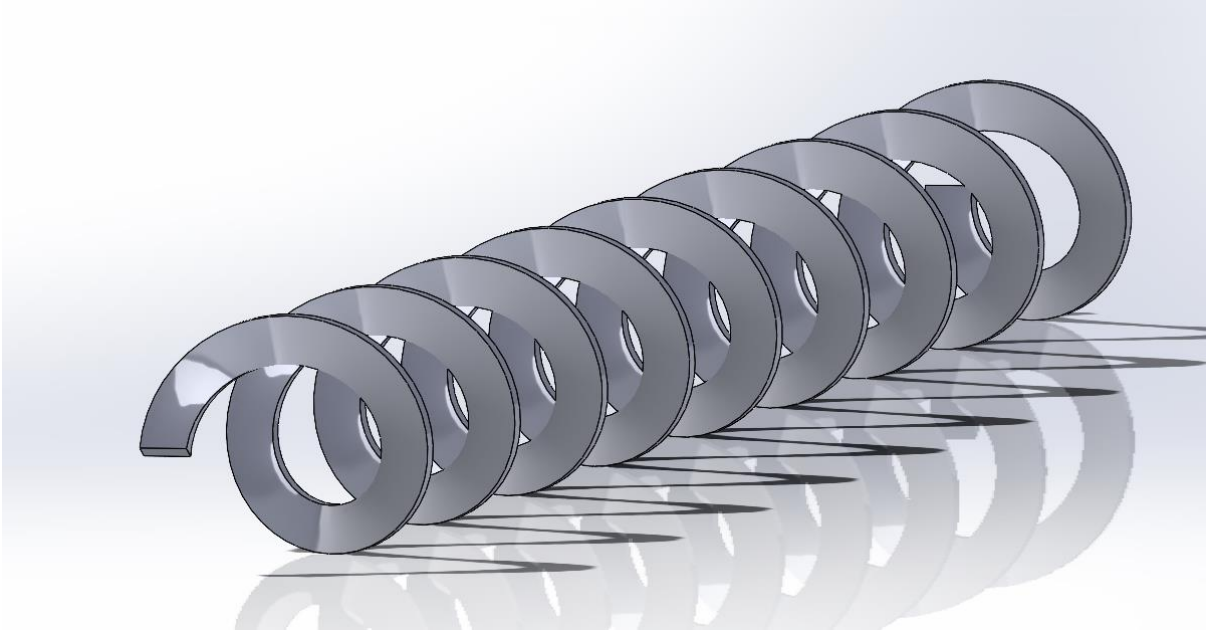


Рис 5.5 Витки на шнеку.

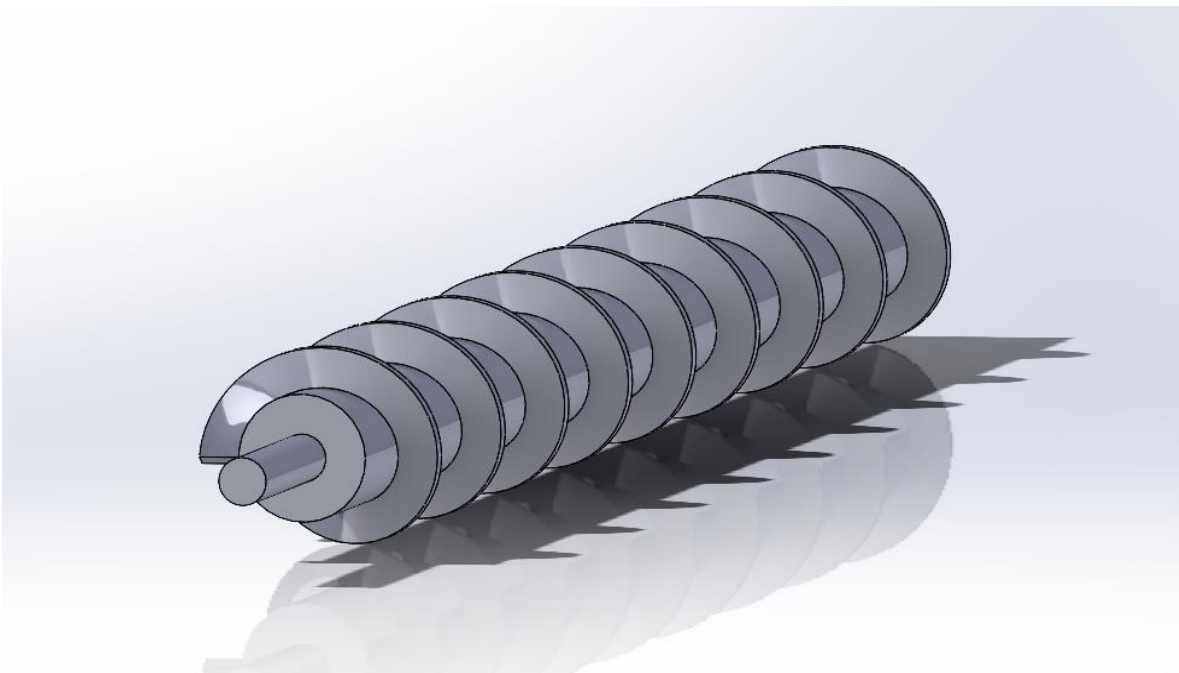


Рис 5.6 Загальний вид конструкції

5.6 3D моделювання модернізованого шнеку в системі solidworks

Для побудови 3D-моделі вузла шнекового живильника використовуємо CAD систему SolidWorks.

Розглянемо побудову модифікованого вузла шнекового живильника.
Будуємо деталі модифікованого шнекового живильника:

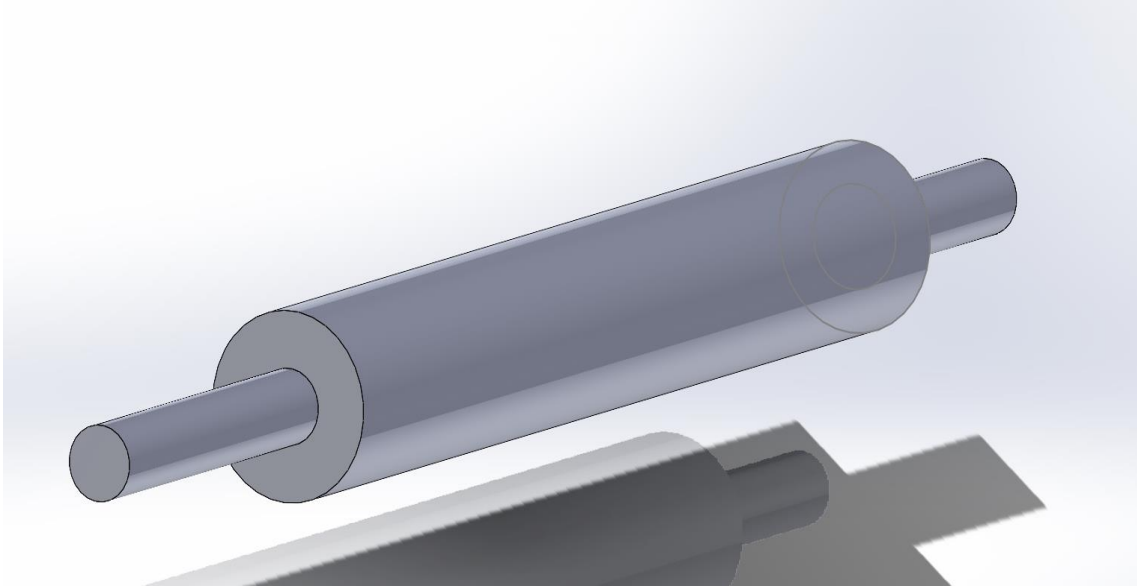


Рис 5.7. Загальний вид валу для модернізованого шнека

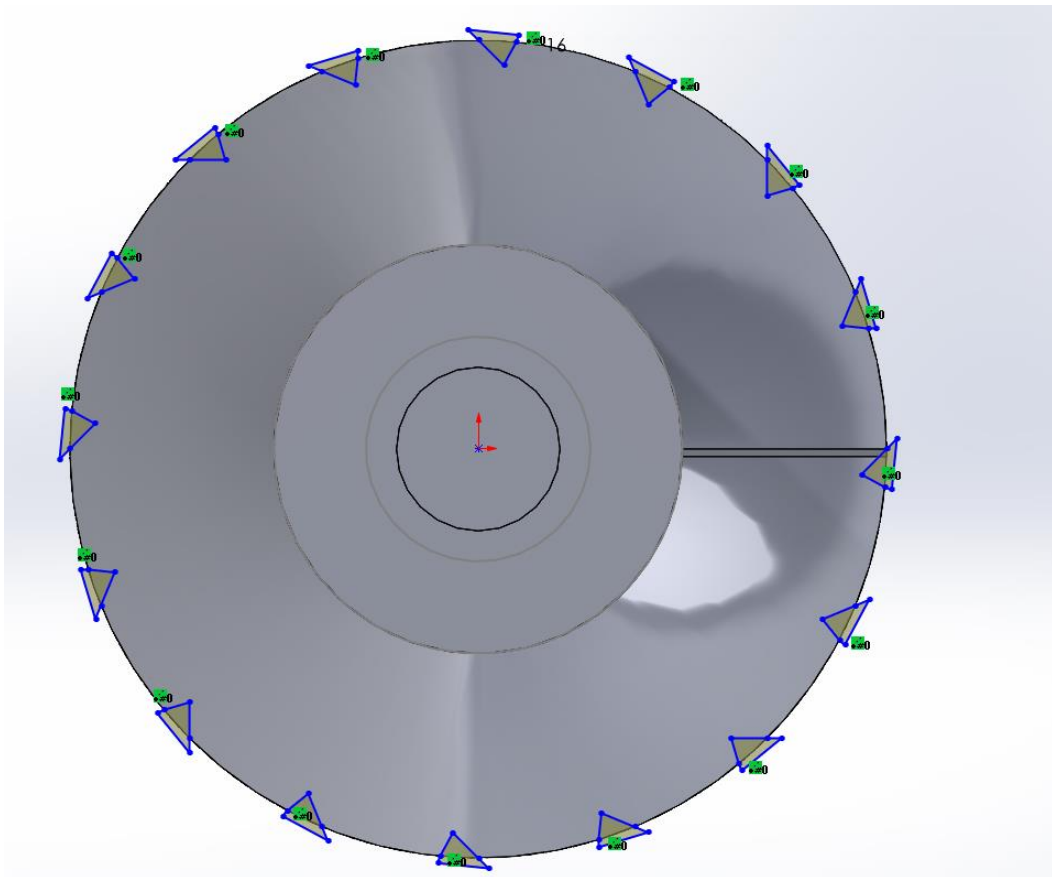


Рис 5.8. На ескізі малюємо майбутні леза

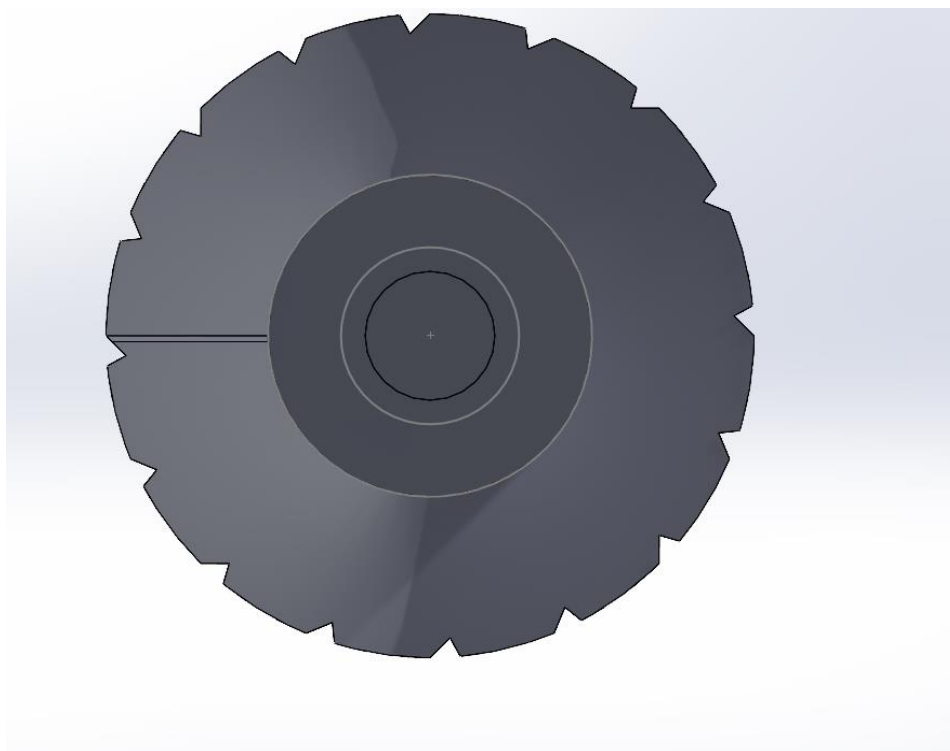


Рис 5.9. За допомогою команди Cut extrude вирізаємо леза

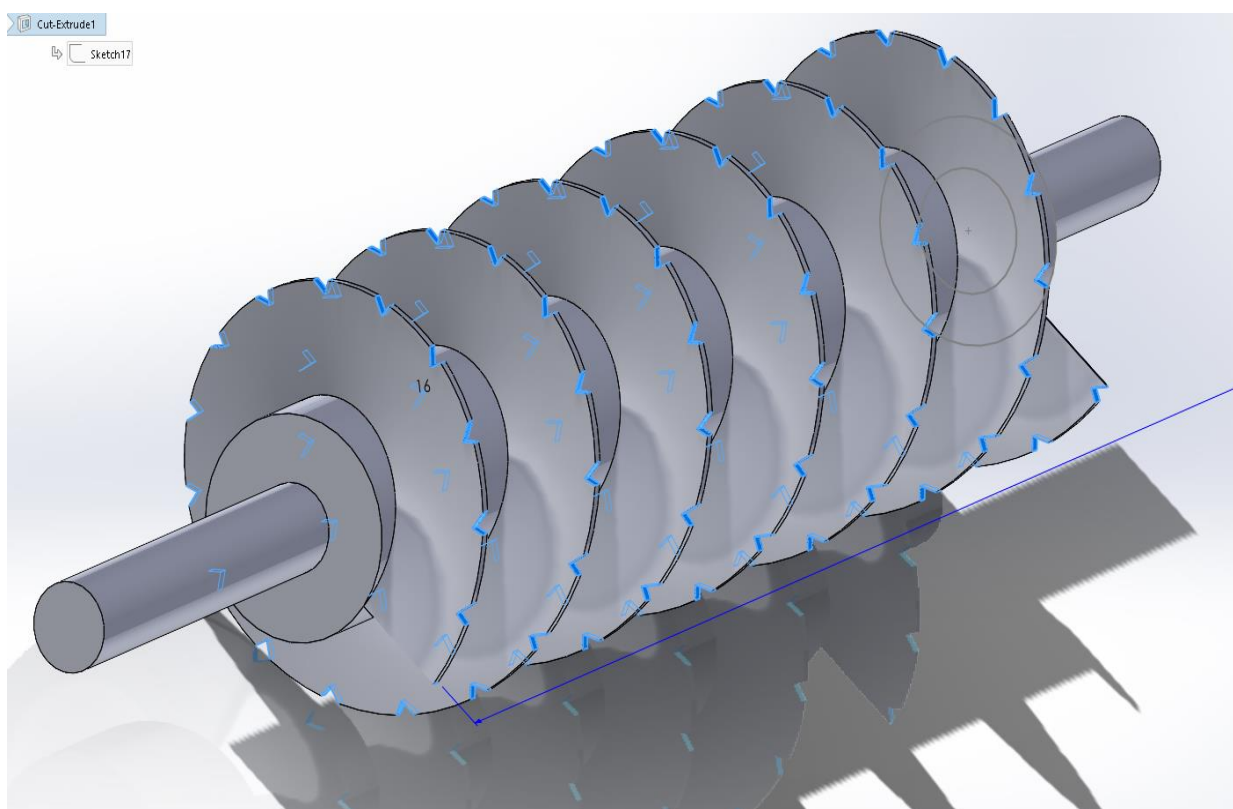


Рис 5.10 Модернізовані витки згідно обраному патенту

5.7 Розрахунки на міцність базового шнекового живильника за допомогою програмного комплексу ANSYS

Для підтвердження працездатності базового шнека було проведено аналіз напружено-деформованого стану конструкції методом скінченних елементів у програмному середовищі ANSYS.

Найбільш навантаженими елементами базового вузла є ділянки змішувальної зони, особливо на початку шнеку. Перед початком розрахунків задано характеристики матеріалу конструкції, оскільки даний вузол виготовлений зі сталі 38. Межа текучості матеріалу становить $\sigma_t = 850$ МПа, а межа міцності – $\sigma_B = 900$ МПа.

Аналіз базової конструкції шнека:

Згідно з результатами моделювання базового варіанта (Рис. 5.11), мінімальний коефіцієнт запасу міцності (Safety Factor) становить 2,0703. Це свідчить про високу надійність та якість конструкції, проте вказує на можливість подальшої оптимізації геометрії для покращення змішувальних характеристик без ризику руйнування.

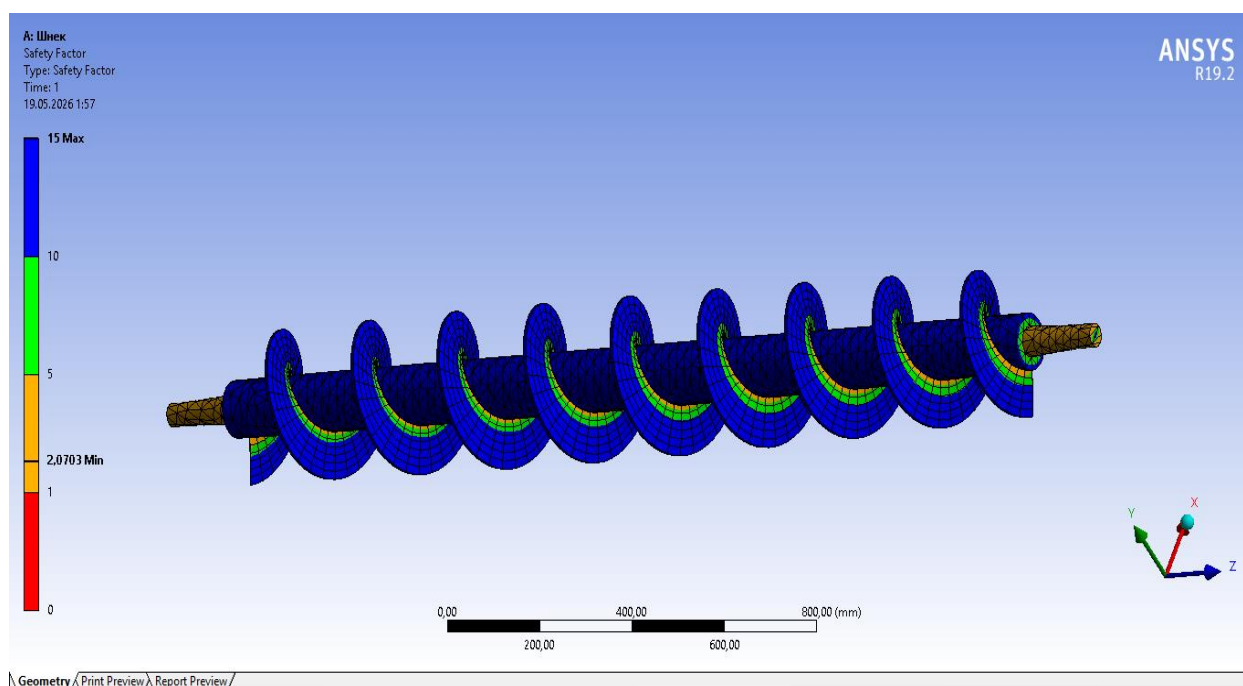


Рисунок 5.11-запас міцності при 32453 N*mm.

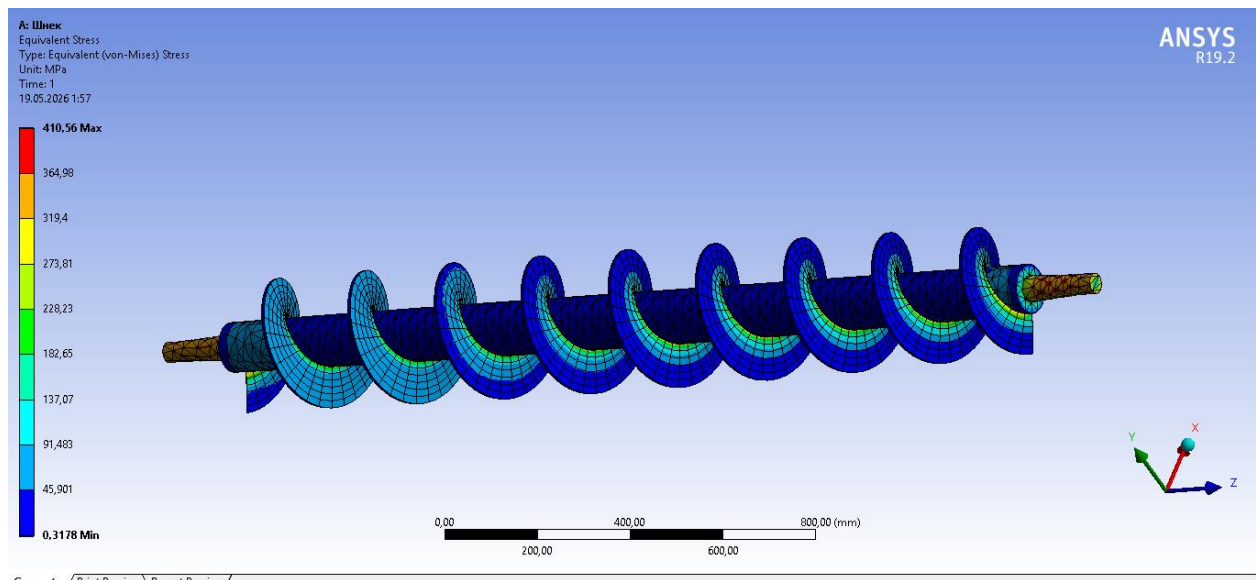


Рисунок 5.12- Еквівалентні напруження від тиску.

Аналіз деформацій та жорсткості шнеку:

Для повної оцінки ефективності шнека було проведено розрахунок загальних переміщень (Total Deformation). Порівняльний аналіз результатів моделювання в ANSYS підтверджує, що конструкція забезпечує вищу стабільність робочих зазорів.

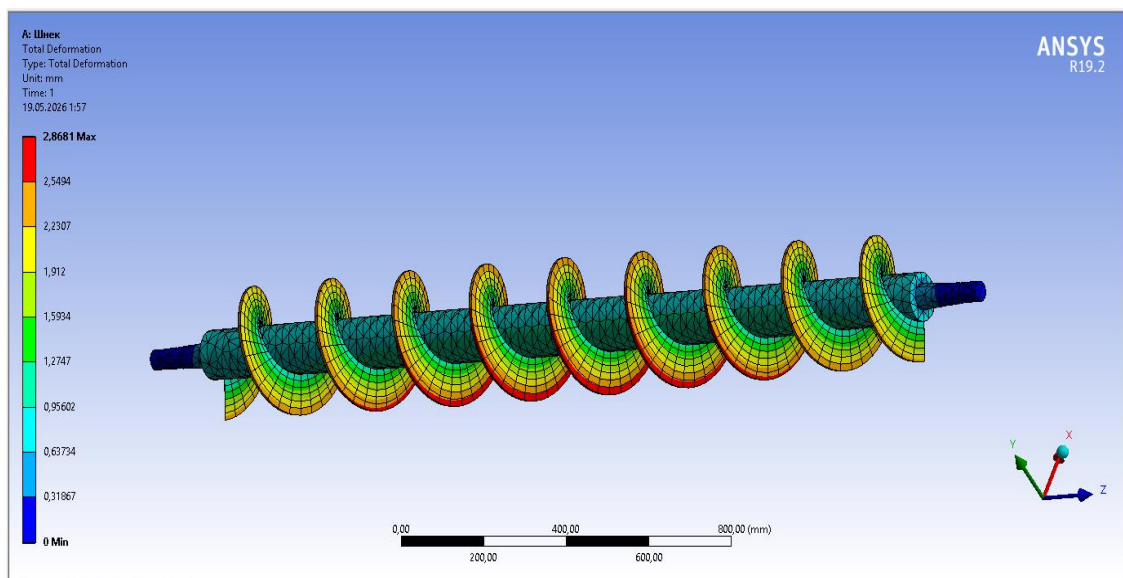


Рисунок 5.13 - Розрахунок загальних переміщень (Total Deformation)

Згідно з уточненими даними, максимальні загальні переміщення базової моделі становлять 2,8681 мм.

5.8 Розрахунки на міцність модернізованого шнеку за допомогою програмного пкомплексу ANSYS

Для підтвердження працездатності модернізованого шнека було проведено аналіз напружено-деформованого стану конструкції методом скінченних елементів у програмному середовищі ANSYS.

Найбільш навантаженими елементами модернізованого вузла є ділянки змішувальної зони, особливо на початку шнеку. Перед початком розрахунків задано характеристики матеріалу конструкції, оскільки даний вузол виготовлений зі сталі 38. Межа текучості матеріалу становить $\sigma_t = 850$ МПа, а межа міцності – $\sigma_B = 900$ МПа.

Аналіз модернізованої конструкції шнека:

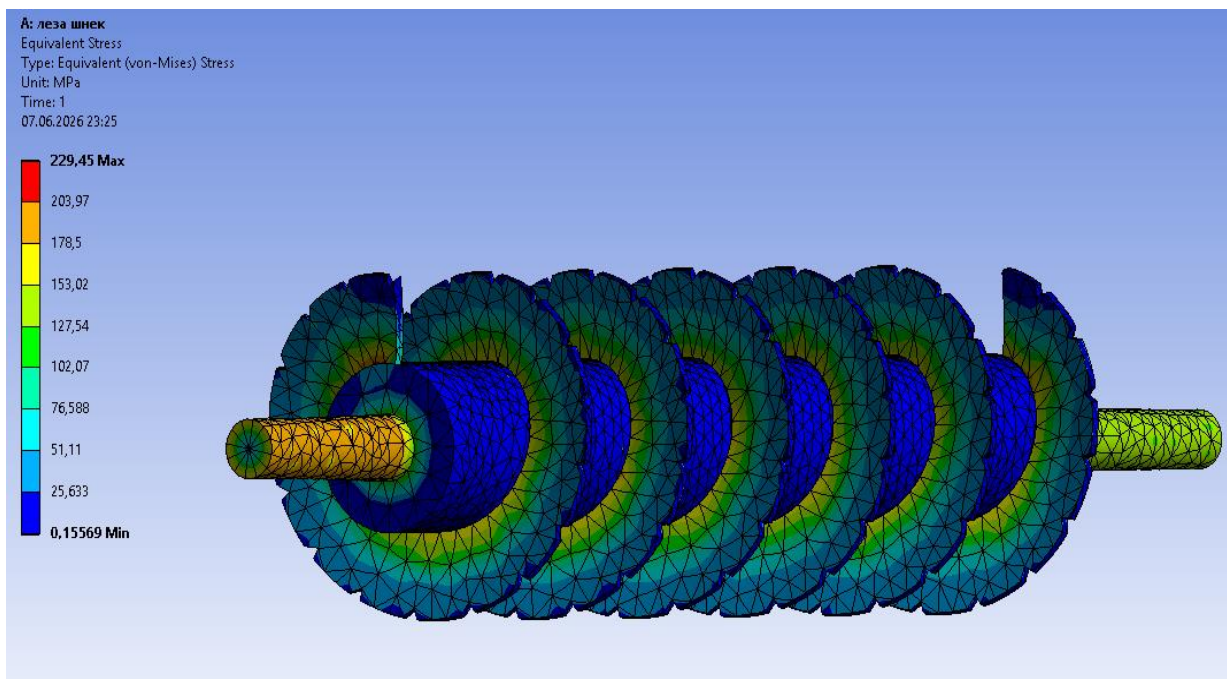


Рис 5.14 Еквівалентні напруження при тиску 0,79191 МПа

Для повної оцінки ефективності шнека було проведено розрахунок загальних переміщень (Total Deformation). Порівняльний аналіз результатів моделювання в ANSYS підтверджує, що конструкція забезпечує вищу стабільність робочих зазорів.

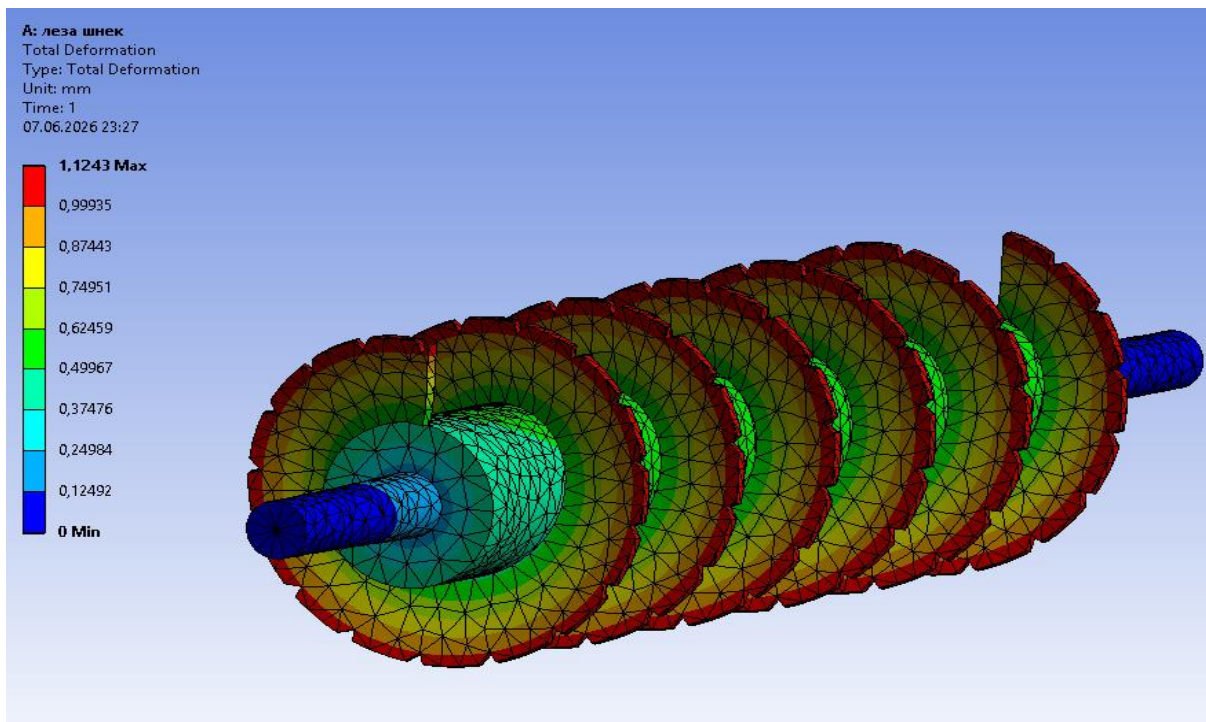


Рис 5.15 Загальні переміщення (Total Deformation)

Згідно з уточненими даними, максимальні загальні переміщення **базової моделі** становлять 1,1243 мм.

Згідно з результатами моделювання базового варіанта (Рис. 5.1), мінімальний коефіцієнт запасу міцності (Safety Factor) становить 3,7045. Це свідчить про високу надійність та якість конструкції, також це показує що модернізована конструкція більш надійна порівняна з базовою моделлю, проте вказує на можливість подальшої оптимізації геометрії для покращення змішувальних характеристик без ризику руйнування.

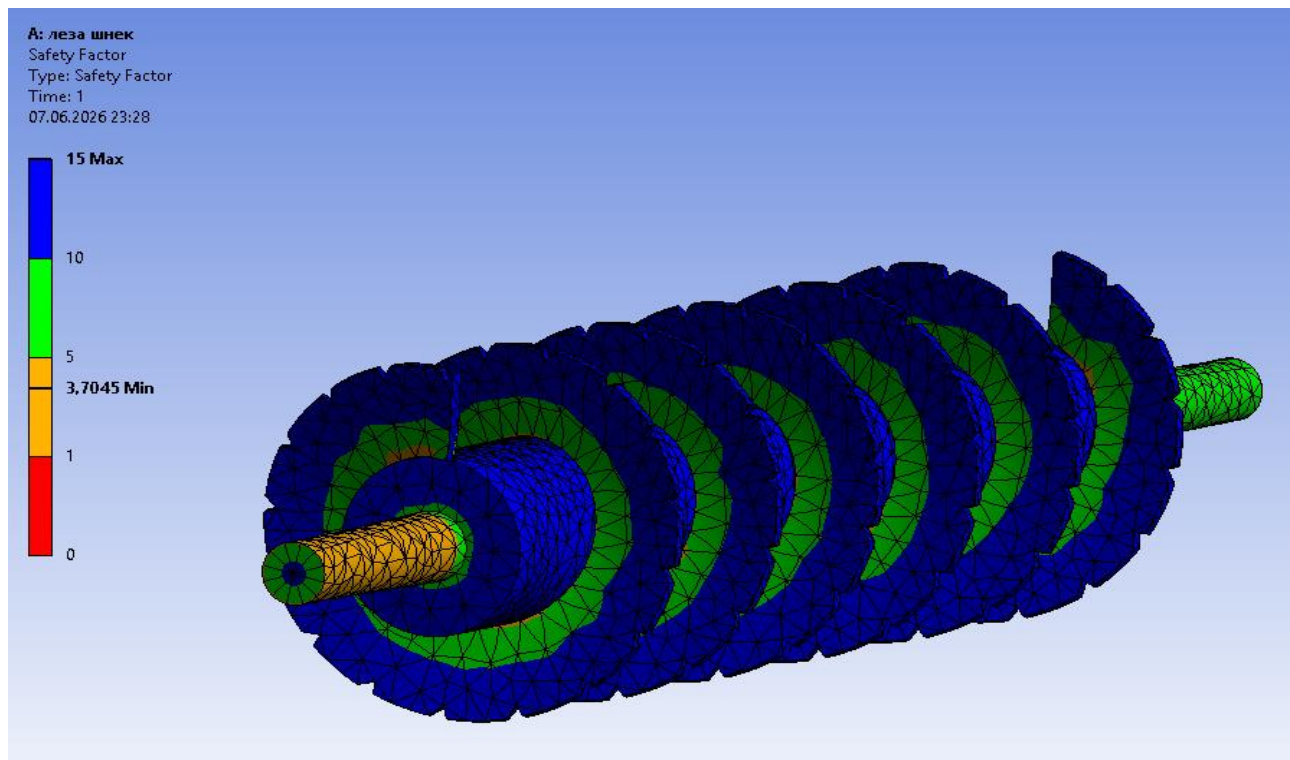


Рис 5.16 Запас міцності при $N \cdot \text{mm}$ 32453

В результаті при виготовленні шнекового живильника з однакового матеріалу та з незмінними навантаженнями модернізована конструкція має розподіл еквівалентного напруження 229,45 МПа порівняно з базовою - 410 МПа. Таким чином, модернізація дозволила знизити рівень еквівалентних напружень приблизно в 1.8 разів, що свідчить про суттєво більш рівномірний розподіл навантаження в елементах конструкції та значне зменшення концентрацій напружень у критичних зонах.

Отриманий результат пояснюється вдосконаленням конструкції шнекового живильника, зокрема застосуванням посиленних опорних вузлів, оптимізацією геометрії спіралі та введенням додаткових елементів жорсткості, які забезпечують кращу адаптацію конструкції до дії крутного моменту та осьових навантажень.

Зниження рівня напружень значно підвищує довговічність шнека та корпусу живильника, зменшує ймовірність виникнення пластичних деформацій, втомного руйнування та зношування витків, що в цілому суттєво покращує надійність, продуктивність та безперебійність роботи технологічної лінії.

5.9 Виконання параметричного розрахунку шнекового живильника за допомогою мови програмування C++

Мета розрахунку:

Виконати параметричний інженерний розрахунок шнекового живильника для транспортування глини, а саме визначити основні технічні характеристики обладнання (продуктивність, потужність, крутний момент, тиск тощо) для забезпечення заданої продуктивності при транспортуванні глинистого матеріалу.

Вихідні дані для параметричного розрахунку шнекового живильника на мові програмування C++(Табл. 5.1).

Лістинг програми наведено у Додатку В.

Результати розрахунку представлені на рис.5.17 .

Блок-схема наведена на рис. 5.18.

Таблиця 5.1– Вихідні дані для параметричного розрахунку на мові програмування C++

№	Вхідні дані	Формула	Результат
1	$D = 0.2 \text{ м}$	-	$D = 0.2 \text{ м}$
2	$S = 0.2 \text{ м}$	-	$S = 0.2 \text{ м}$
3	$\varphi = 0.3$	-	$\varphi = 0.3$
4	$n = 1.2 \text{ с}^{-1}$	-	$n = 1.2 \text{ об/с}$
5	$k_m = 0.4$	-	$k_m = 0.4$
6	$\rho_t = 1700 \text{ кг/м}^3$	-	$\rho_t = 1700 \text{ кг/м}$

```
Microsoft Visual Studio - shneck_calculator.cpp - Консоль відлагодження

=====
Параметричний розрахунок шнекового
живильника для транспортування глини
=====

Введіть діаметр гребеня шнека D (у метрах, напр. 0.2):           0.2
Введіть крок навивки шнека S (у метрах, напр. 0.2):           0.2
Введіть коефіцієнт заповнення корпуса phi (напр. 0.3):         0.3
Введіть частоту обертання шнека n (с^-1, напр. 1.2):           1.2

-----
Крок 1. Об'ємна продуктивність, м^3/с:
GV = (PI/4) * D^2 * S * n * phi
GV = (3.14159/4) * 0.2^2 * 0.2 * 1.2 * 0.3
GV = 0.00226195 м^3/с

-----
Крок 2. Масова продуктивність:
GM = GV * km * rho_t
Введіть коефіцієнт розпушення матеріалу km (напр. 0.4):         0.4
Введіть істинну густину матеріалу rho_t (кг/м^3, напр. 1700):    1700
GM = 0.00226195 * 0.4 * 1700
GM = 1.53812 кг/с
GM = 5.53725 т/год
Добова продуктивність: 132.894 т/добу
132.894 < 140 (Вимога по продуктивності НЕ виконується – збільшіть n або D)

-----
Крок 3. Перевірка крутного моменту:
Крутний момент (з ТЗ): M_kr = 32453 Н·мм
Кутова швидкість: omega = 2*PI*n = 7.53982 рад/с
N = 32.453 * 7.53982 / 0.85 = 287.87 Вт
N = 0.28787 кВт

-----
Крок 4. Тиск матеріалу на корпус:
Осьова швидкість матеріалу: v = S*n = 0.2 * 1.2 = 0.24 м/с
P = 1.175e-05 МПа L/D = 11 (умова жорсткості виконується)
```

Рисунок 5.17 - Скрін результатів параметричного розрахунку на мові програмування C++

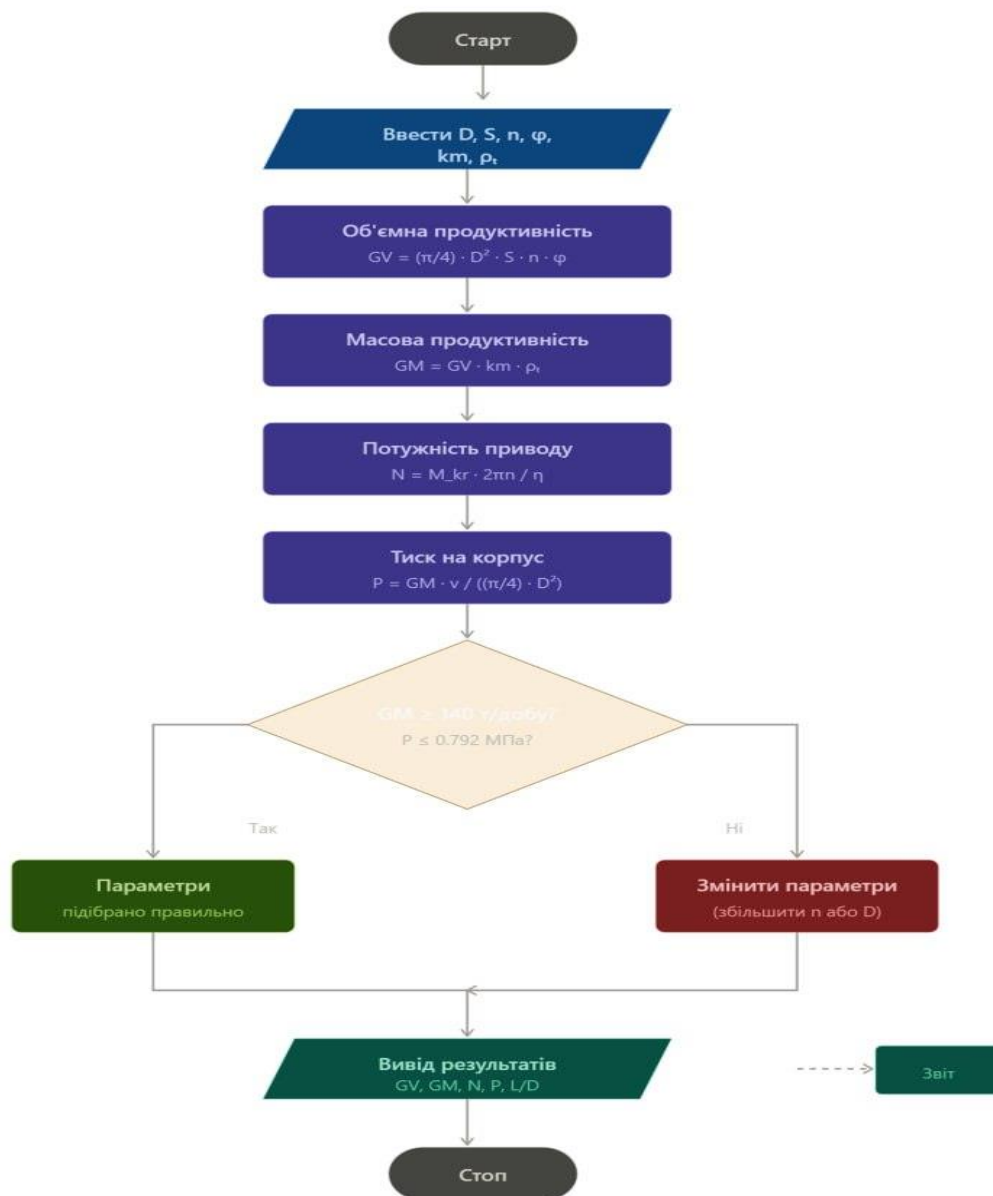


Рисунок 5.18 - Блок-схема до параметричного розрахунку на мові програмування C++

За результатами параметричного розрахунку шнекового живильника для транспортування глини при діаметрі шнека $D = 0,2$ м, кроці навивки $S = 0,2$ м, коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,3$ та частоті обертання $n = 1,2 \text{ с}^{-1}$ отримано такі результати.

Об'ємна продуктивність шнекового живильника становить $GV = 0,00226 \text{ м}^3/\text{с}$. Це означає, що за одну секунду через живильник переміщується приблизно $0,00226 \text{ м}^3$ матеріалу.

Масова продуктивність становить $GM = 1,538 \text{ кг/с}$, що відповідає $5,537 \text{ т/год}$ або $132,894 \text{ т/добу}$. Отримане значення добової продуктивності є меншим за необхідні 140 т/добу , тому умова продуктивності не виконується. Для досягнення заданої продуктивності необхідно збільшити діаметр шнека D або частоту його обертання n .

Під час перевірки приводу визначено необхідну потужність $N = 0,288 \text{ кВт}$. Це мінімальна потужність, яку повинен забезпечувати електродвигун для роботи шнекового живильника за заданих умов.

Розрахунок тиску матеріалу на корпус показав значення $P = 1,175 \times 10^{-5} \text{ МПа}$, що значно менше допустимого значення $0,792 \text{ МПа}$. Отже, умова міцності та жорсткості конструкції виконується.

Відношення довжини шнека до його діаметра становить $L/D = 11$, що відповідає рекомендованим конструктивним параметрам для даного типу обладнання.

Висновок: конструкція шнекового живильника забезпечує необхідну міцність і працездатність, проте її продуктивність становить $132,894 \text{ т/добу}$, що менше заданих 140 т/добу . Для виконання вимог за продуктивністю необхідно збільшити діаметр шнека або підвищити частоту його обертання.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Згідно зі статтею 153 Кодексу законів про працю України та Законом України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, стан обладнання та засобів захисту повинні відповідати вимогам нормативних актів з охорони праці.

У рамках дипломного проєкту «Шнековий живильник для дозованого подавання рідкої глини» в даному розділі розглянуто умови праці на ділянці живлення, де здійснюється дозоване транспортування та подавання рідкої глини шнековим живильником.

Об'єктом аналізу є технологічна ділянка шнекового живильника, діаметром шнека 80 мм та довжиною 2100 мм. Живильник розміщено в закритому технологічному приміщенні розміром 8×5 м; площа ділянки становить 40 м², висота приміщення – 3,8 м, об'єм – 152 м³. Ділянка працює у три зміни при температурі навколишнього середовища від –20 до +35 °С та відносній вологості повітря 55–98 %.

На ділянці на працівників діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ), перелік яких та їх нормативні обмеження наведено в таблиці 6.1.

Основними факторами є підвищена вологість, можливе розбризкування глиняного розчину, шум і вібрація від роботи шнека, механічні небезпеки рухомих частин, несприятливий мікроклімат, а також електрична небезпека (Табл. 6.1).

Талиця 6.1 - Основні фактори і їх характеристики

Фактор	Характеристика нормативів
Пил / аерозоль	ГДК пилу глини – 6 мг/м ³ (наказ МОЗ від 09.07.2024 № 1192)
Шум і вібрація	Шум – не більше 80 дБА (ДСН 3.3.6.037-99); вібрація – ДСН 3.3.6.039-99
Механічні небезпеки	Огородження – ДСТУ EN 953:2014; безпечні відстані – ДСТУ EN ISO 13857:2021
Мікроклімат	Оптимальні параметри за ДСН 3.3.6.042-99 (категорія робіт IIa)
Пожежна небезпека	НАПБ А.01.001-2014; ДСТУ 8828:2019 (низький рівень ризику)
Електробезпека	ДСТУ Б В.2.5-82:2016, ПУЕ; опір заземлення – не більше 4 Ом

6.1. Запиленість та забруднення повітря робочої зони

Згідно з наказом МОЗ України від 09.07.2024 № 1192 гранично допустима концентрація пилу глини у повітрі робочої зони становить 6 мг/м³.

Оскільки глина подається у рідкому (вологодому) стані, утворення сухого пилу є мінімальним. Фактична концентрація пилу/аерозолі в зонах завантаження та вивантаження становить 8–25 мг/м³. Основними джерелами забруднення є розбризкування глиняного розчину та незначне утворення аерозолі при інтенсивному перемішуванні.

Рекомендації:

Колективний захист: встановити локальну витяжну вентиляцію в зонах завантаження та вивантаження; використовувати захисні кожухи навколо шнека для запобігання розбризкуванню.

Індивідуальний захист: респіратори FFP2 або FFP3 (3M Aura), захисні окуляри з боковим захистом (Uvex Pheos), гумові фартухи та костюми.

Після впровадження заходів рівень забруднення повітря знижується до нормативних значень.

6.2. Шум і вібрація

Допустимий рівень шуму – 80 дБА (ДСН 3.3.6.037-99).

Під час роботи шнекового живильника рівень шуму досягає 84–91 дБА. Основними джерелами є електродвигун (4 кВт), редуктор та тертя шнека об в'язку глиняну масу.

Колективний захист: динамічне балансування шнека, віброізолювальні опори під привод і корпус, шумопоглинальний кожух.

Індивідуальний захист: протишумові навушники 3М Peltor Optime III.

Після реалізації заходів рівень шуму знижується до 74–79 дБА.

6.3 Механічні небезпеки

Основну небезпеку становить обертовий шнек (діаметр 80 мм), який може затягнути руку, одяг або інструмент, а також ризик ковзання на мокрій підлозі через розбризкування глини.

Рекомендації:

Встановити суцільні захисні кожухи на шнек та решітки на завантажувальному бункері.

Передбачити кнопки аварійної зупинки та тросові вимикачі.

Використовувати захисні каски, взуття з металевим підноском та антиковзною підошвою, спецодяг, що щільно прилягає.

6.4 Мікроклімат

Роботи належать до категорії Па (ДСН 3.3.6.042-99). Підвищена вологість (до 98 %) та можливість розбризкування рідкої глини створюють додаткове навантаження на організм працівників.

Рекомендації: забезпечити природну та штучну вентиляцію, організувати регламентовані перерви, видати вологостійкий утеплювальний спецодяг та змінне взуття.

6.5 Пожежна та електрична безпека

Рідка глина є негорючим матеріалом, тому пожежна небезпека на дільниці є низькою. Основну небезпеку становить електрообладнання в умовах підвищеної вологості.

Рекомендації:

- Виконати захисне заземлення всіх металевих частин (опір ≤ 4 Ом).
- Застосувати електрообладнання зі ступенем захисту IP55.
- Встановити пристрої захисного відключення (ПЗВ).
- Перед обслуговуванням – повне знеструмлення з вивішуванням попереджувальних табличок.
- Мати порошкові вогнегасники ВП-5 (2 шт.) на випадок загоряння електрообладнання.

6.6 Охорона навколишнього середовища

Основними негативними впливами є можливе розтікання рідкої глини, забруднення ґрунту та стічних вод.

Рекомендації:

- Встановити піддони-уловлювачі під шнеком та в зонах можливого розбризкування.
- Передбачити систему збирання та повернення пролітої глини у виробничий процес.
- Відходи глини та промивні води спрямовувати на локальні очисні споруди відповідно до вимог Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про управління відходами».

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1. Технологія виготовлення деталі «Корпус підшипника»

Під час виконання розділу «Технологія машинобудування» дипломного проекту було розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Корпус підшипника», а також спроектовано необхідне технологічне оснащення.

У процесі роботи визначено раціональну послідовність технологічних операцій, здійснено вибір відповідного устаткування та ріжучого інструменту для кожної операції, а також виконано розрахунки режимів різання (швидкості, подачі та глибини різання).

У подальших підрозділах детально викладено порядок розробки та всі основні етапи створення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус підшипника».

7.2 Опис і призначення деталі «Корпус підшипника»

Корпус підшипника є відповідальною деталлю підшипникового вузла гвинтового живильника. Він призначений для встановлення та фіксації радіально-упорного підшипника, сприймання та передачі радіальних і осьових навантажень від обертового вала на раму машини.

Деталь має складну просторову форму: зовнішній циліндр Ø280 мм, внутрішній розточений отвір Ø100 мм з різьбою, допоміжний отвір Ø80 мм, кільцеву канавку Ø106 мм, ступінчасті торцеві поверхні з фасками. Наявність різьби та точних посадкових поверхонь висуває підвищені вимоги до точності обробки та якості поверхонь.

Матеріал деталі: Сталь 40Х ГОСТ 22353-77 – легована конструкційна сталь підвищеної міцності та зносостійкості. Застосовується для деталей, що працюють

під значними навантаженнями. Добре обробляється різанням. Твердість у стані поставки – HB 180–200.

7.3. Вибір заготовки

В результаті технологічного контролю креслення «Корпус підшипника» встановлено: на кресленні вказано всі необхідні розміри; шорсткість поверхонь зазначена за ГОСТ 2789-73; допуски та відхилення – за ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82; допуски форми та розташування поверхонь – за ГОСТ 24643-81.

З огляду на складну форму деталі, наявність великих внутрішніх порожнин та значний перепад діаметрів, як заготовку обрано виливок у піщано-глиняній формі. Такий спосіб отримання заготовки дозволяє максимально наблизити форму заготовки до форми готової деталі та знизити витрати матеріалу порівняно з використанням прокату.

Маса заготовки $m_z = 6,37$ кг, маса готової деталі $m_d = 3,76$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{BM} = m_d / m_z = 3,76 / 6,37 = 0,59$$

Значення $K_{BM} = 0,59$ є характерним для литих заготовок складної форми з подальшою механічною обробкою по більшості поверхонь.

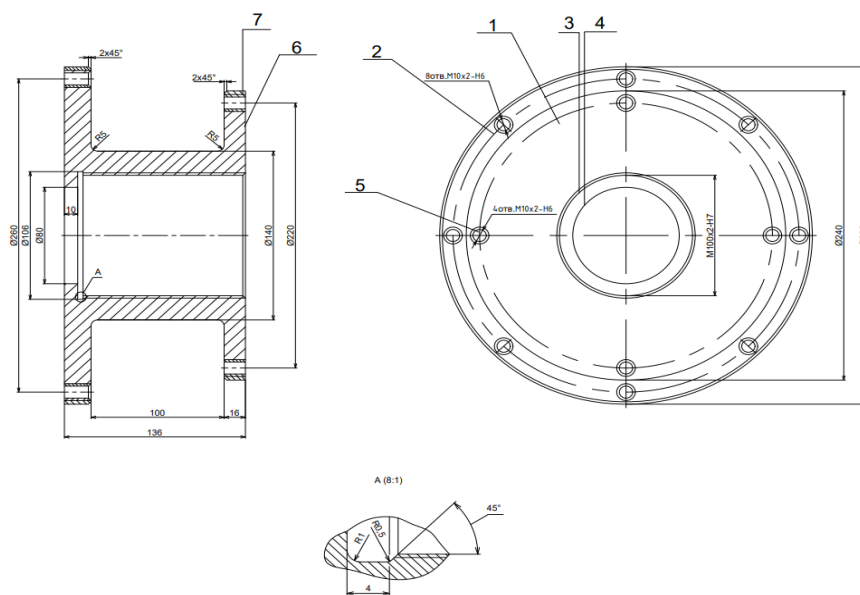


Рисунок 7.1. - Ескіз деталі «Корпус підшипника»

Деталь виготовляється зі Сталі 40Х, яка використовується для виготовлення деталей, що потребують підвищеної твердості, і важить $m_d = 3,76$ кг.

Заготовку для виготовлення деталі отримують шляхом лиття в піщано- глиняній формі. Застосування Сталі 40Х дає можливість отримання круглих профілів з мінімальними гарантованими мінусовими допусками і покращеними механічними властивостями.

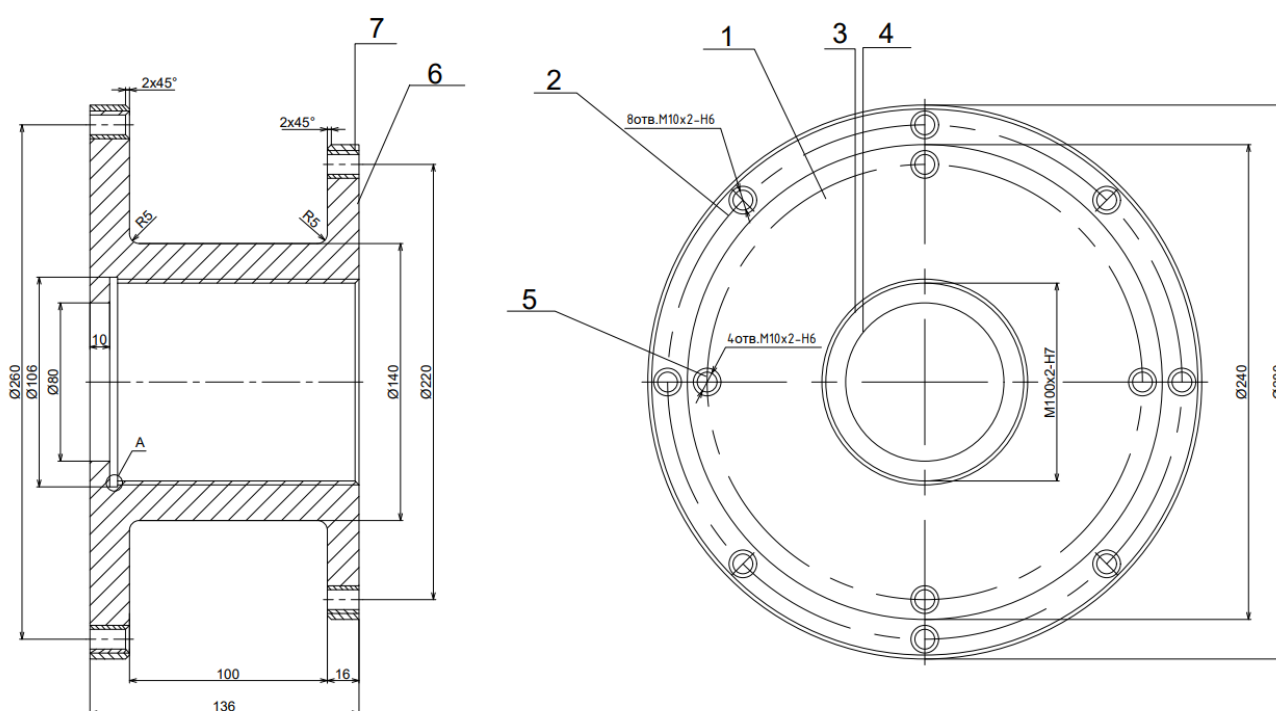


Рисунок 7.2 - Деталь «Корпус підшипника»

Технологічний процес виготовлення деталі "Корпус підшипника", який був розроблений в процесі виконання дипломного проекту, представлений в маршрутній карті, картах ескізів та операційних картах.

Для операцій 005, 010 та 015 використаємо токарно-револьверний верстат з ЧПУ 16К20П, інструмент – фреза торцева Т15К6; для операції 020 використаємо універсальний свердлильний верстат 2Н135, інструмент – свердла Ф10.

Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Розробив	Кушнар'єв Р.О.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФАПІЕ		015			
Перевірів	Борщик С.О.								
Н. контр.				КОРПУС ПІДШИПНИКА			Н		

Technical drawing of a bearing housing (КОРПУС ПІДШИПНИКА) showing a cross-section. The drawing includes dimensions: outer diameter 240, inner diameter 236, top flange thickness 16, bottom flange thickness 20, central bore diameter 140, and overall width 280. Fillets with radius R5 are shown on the top and bottom flanges. Section lines 4 and 5 are indicated for the central bore.

KE

Обробка різанням

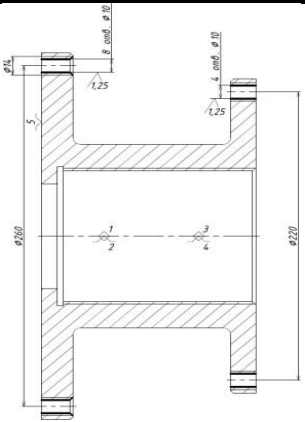
Дубл.														
Взамін.														
Підпис														
										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Кушнар'єв Р.О.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФАПІЕ								
Перевірів	Борщик С.О.													
										КОРПУС ПІДШИПНИКА			Н	005
Н. контр.														
					Назва операції				Матеріал					
					Токарна				Сталь 40Х ГОСТ 22353-77					
					Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ		Коод		
						кє	3,76			6,37		1		
					Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми					
					Токарно-револьверний верстат з ЧПУ 16К20П									
					То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР					
									Емульсія					
Р					ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v		
P01	1. Підрізати торці 126 начорно і начисто													
T02	2. Розточити отвір Ø100													
O3	3. Нарізати різьбу Ø100													
O04	4. Зрізати фаску Ø104													
T05	5. Розточити канавку Ø106													
T06	6. Розточити отвір Ø80													
P07														
O8														
O9														
O10														
OK	Обробка різанням													

Дубл.														
Взамін.														
Підпис														
										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Кушнар'ов Р.О.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ								
Перевірів	Борщик С.О.													
Н. контр.								КОРПУС ПІДШИПНИКА			Н		010	
				Назва операції				Матеріал						
				Токарна				Сталь 40Х ГОСТ 22353-77						
				Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри			МЗ		Коод		
					ка	3,76				6,37		1		
				Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми						
				Токарно-револьверний верстат з ЧПУ 16К20П										
				То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР						
								Емульсія						
Р					ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v		
P01	1. Підрізати торець 136 начорно і начисто													
T02														
03														
O04														
T05														
T06														
P07														
08														
09														
O10														
OK	Обробка різанням													

Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Кушнар'єв Р.О.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФАПІЕ								
Перевірів	Борщик С.О.													
Н. контр.								КОРПУС ПІДШИПНИКА				Н		015
						Назва операції				Матеріал				
						Токарна				Сталь 40Х ГОСТ 22353-77				
						Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ		Коод	
							кє	3,76			6,37		1	
						Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми				
						Токарно-револьверний верстат з ЧПУ 16К20П								
						То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР				
				Емульсія										
Р						ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v	
P01	1. Точити поверхні Ø280, R5, Ø140, R5, Ø240 начорно і начисто													
T02	2. Підрізати торці 20 і 16 начорно і начисто													
O03	3. Зрізати фаски Ø276 і Ø236													
O04														
T05														
T06														
P07														
O08														
O09														
OK	Обробка різанням													

Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

Розробив	Кушнар'єв Р.О.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФАПІЕ	КОРПУС ПІДШИПНИКА	Н	020
Перевірів	Борщик С.О.						
Н. контр.							



Назва операції			Матеріал		
Свердлильна			Сталь 40Х ГОСТ 22353-77		
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		Коод
	кє	3,76			1
Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми	
Універсальний свердлильний верстат 2Н135					
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР	
				Емульсія	

Р	ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1. Розточити отвори Ø10							
T02	2. Нарізати різьби Ø10							
O3	3. Зрізати фаску Ø14							
O04								
T05								
T06								
P07								
O8								
O9								
O10								

OK	Обробка різанням
----	------------------

7.3 Вибір пристосування для обробки деталі «корпус підшипника»

Відповідно до креслення деталі «Корпус підшипника» необхідно виконати операцію свердління кріпильних отворів на передньому та задньому торцях виробу. На передньому торці передбачено виконання чотирьох отворів, а на задньому – восьми отворів діаметром Ø10 мм.

Для забезпечення високої точності розташування отворів відносно осі деталі, підвищення продуктивності обробки та дотримання вимог щодо співвісності доцільно використовувати спеціальне верстатне оснащення – кондуктор.

Кондуктор являє собою технологічне пристосування, призначене для надійного базування та закріплення заготовки, а також точного спрямування різального інструменту під час виконання свердлильних операцій. Такі пристосування широко застосовуються на свердлильних, радіально-свердлильних і фрезерно-свердлильних верстатах для підвищення точності та стабільності обробки.

Обґрунтування застосування кондуктора

Використання традиційних методів розмітки та свердління без спеціального оснащення в умовах серійного або дрібносерійного виробництва є малоефективним. Це пояснюється такими факторами:

- можливістю виникнення похибок у взаємному розташуванні отворів;
- значними витратами часу на виконання розмічальних робіт для кожної заготовки;
- труднощами із забезпеченням необхідної перпендикулярності отворів до торцевих поверхонь;
- збільшенням ймовірності отримання бракованих деталей.

Застосування кондуктора дозволяє суттєво скоротити допоміжний час, підвищити точність обробки та забезпечити стабільну якість готових виробів.

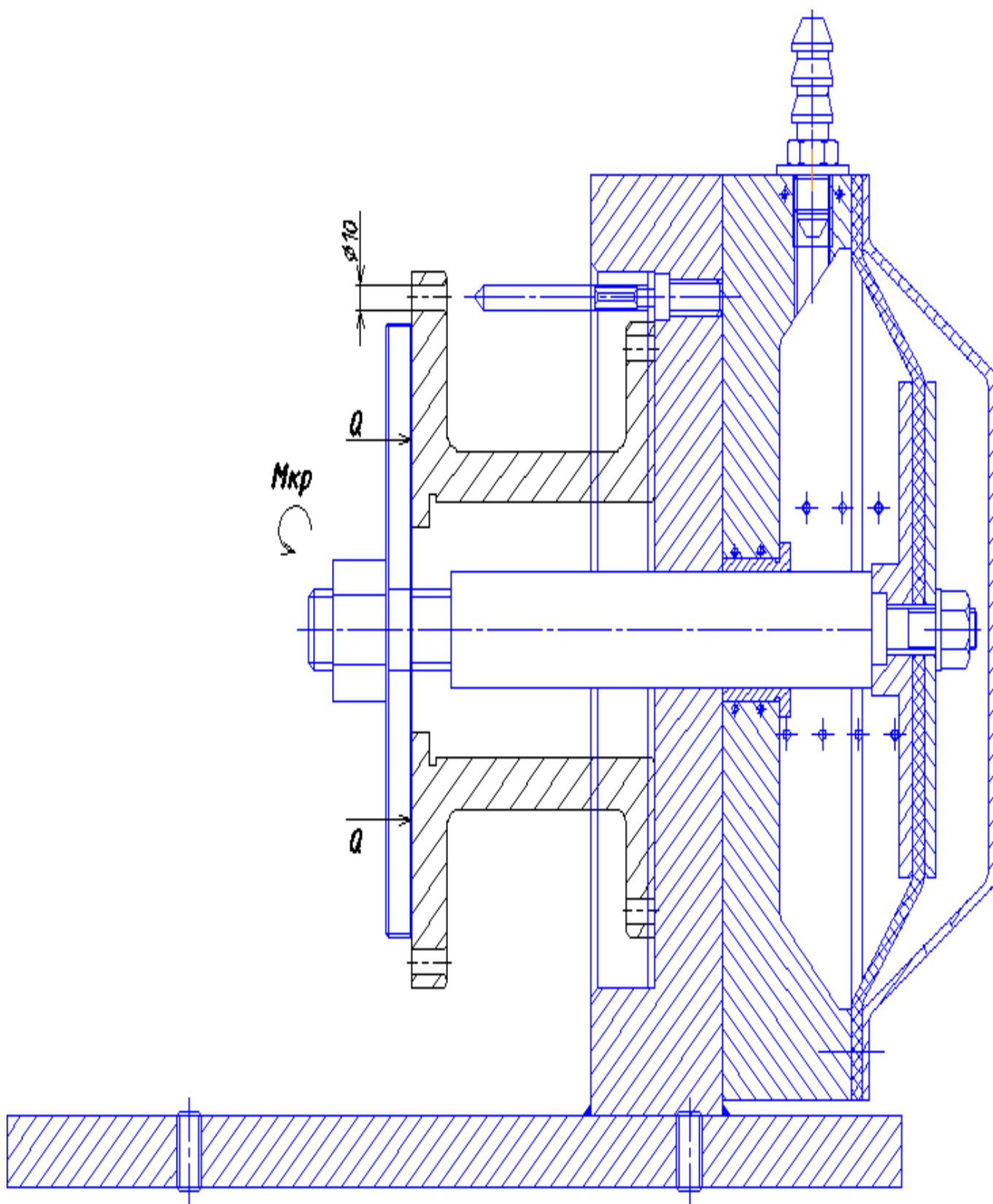


Рисунок 7.3 - Схема затискання і сили, що діють на деталь

ВИСНОВКИ

Під час виконання розділу «Технологія машинобудування» дипломного проекту було вирішено комплекс технологічних задач щодо виготовлення деталі «Корпус підшипника». Зокрема, проведено аналіз конструкції деталі, розроблено ескіз та креслення заготовки, спроектовано раціональний технологічний процес її виготовлення.

Для забезпечення необхідної точності розташування отворів обрано та обґрунтовано спеціальне верстатне пристосування – кондуктор для свердління чотирьох і восьми отворів Ø10 мм. Також розроблено схему базування та затискання заготовки в кондукторі, проаналізовано сили, що діють на деталь під час обробки, та виконано розрахунок сили закріплення, необхідної для надійного фіксування заготовки від зміщення під впливом сил різання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті виконана модернізація шнекового живильника для транспортування глини шляхом вдосконалення конструкції шнека. Метою роботи було підвищення надійності та стабільності роботи вузла в умовах експлуатації з в'язкопластичними абразивними матеріалами. В результаті виконання проєкту:

Проведено аналіз призначення, технічної характеристики та принципу дії шнекового живильника в технологічній лінії виробництва цегли.

Виконано літературно-патентний огляд, на основі якого обрано найбільш перспективний варіант модернізації – застосування додаткових лез (ножів) на витках шнека відповідно до патенту CN 224046241 U. Це рішення забезпечує активне розпушування матеріалу, запобігання злежуванню, налипанню та закупорюванню.

Розроблено 3D-моделі базового та модернізованого шнека в системі SolidWorks.

Виконано параметричні та міцнісні розрахунки. За результатами моделювання методом скінченних елементів у ANSYS встановлено, що модернізована конструкція шнека має максимальне еквівалентне напруження 229,45 МПа проти 410 МПа у базовій конструкції. Таким чином, рівень напружень знижено приблизно в 1.8 разів що свідчить про більш рівномірний розподіл навантажень та зменшення концентраторів напружень у критичних зонах.

Розроблено заходи з охорони праці та навколишнього середовища, які забезпечують зниження впливу шкідливих факторів (запиленість, шум, вібрація, механічні небезпеки) до нормативних значень.

Розроблено технологічний процес виготовлення відповідальної деталі «Корпус підшипника», включаючи вибір заготовки, маршрутну технологію та спеціальне пристосування (кондуктор).

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої модернізації шнека. Застосування лез на витках шнека дозволяє підвищити надійність та забезпечити стабільність роботи шнеку.

За темою дипломного проекту підготовлено та опубліковано тезу за матеріалами XXIII Всеукраїнської науково-практичної конференції 8-9 червня 2026 р., м. Київ [11].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / І. О. Мікульонюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 3,31 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 174 с.

2. Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Гондляр О.В. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Лінії для виготовлення листових і профільних полімерних виробів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 113 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>

3. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондляр О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4573>

4. Шнековий живильник : пат. UA 112517 U Україна, МПК B65G 33/00 / заявник та патентовласник; заявл. 13.06.2016 ; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24. 4 с.

5. Еластичний шнек : пат. 124951 U Україна / Р. Б.Гевко, І. Г.Ткаченко, Ю. Б. Гладько, С. З.Залуцький, Б. В. Погрішук. № 124951 U ; заявл. 27.11.2017 ; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8. 4 с.

6. Шарнірний шнек : пат. UA 142736 U Україна, МПК B65G 33/00, B65G 33/16 / Р. Б. Гевко, Р. Я. Лещук, Н. І. Хомик та ін. ; заявл. 24.12.2019 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 4 с.

7. Шнековий пристрій : пат. 45000 A Україна / А. О. Парієв, В. В. Сухоруков, В. П. Шепелева. – № 45000 A ; заявл. 07.12.2000 ; опубл. 15.03.2002, Бюл. № 3. 5 с.

8. Шнековий живильник : пат. 19505 U Україна / Р. Б. Гевко, І. Б. Гевко, І. Й. Назар та ін. – № 19505 U ; заявл. 12.11.2000 ; опубл. 21.02.2001, Бюл. № 3. 3 с.

9. Шнековий транспортер з активним розпушуванням та системою проти закупорювання : пат. CN224046241 U Китай / Yung Yujia, Wang Rui. –; заявл. 2025.03.13; опубл. 2026.03.27, Бюл. № 3. 5 с.

10. Технологічні комплекси для виробництва керамічних виробів пластичним способом. Доступ з екрану: <https://studfile.net/preview/5198493/page:4/>

11. Дозатори, шнекові живильники. URL: <https://technik.ua/produktsiia/shnekovi-transportery/dozatori-zhivilniki-shnekoviji>

12. Chemical powder spiral conveyor : pat. CN 224046241 U China / Yang Yujia, Wang Rui ; Applicat. 13.05.2025 ; Publ. 27.03.2026, 8 p.

13. Технологія машинобудування : навч. посіб. / кол. авторів. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 280 с.

14. Кушнар'ов Р.О., Стерпу А.Е., Казак І.О. Удосконалення конструкції шнекового живильника на основі застосування шнеку гребінчастою структурою для забезпечення стабільного транспортування матеріалу / Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки: зб. наук. праць за матеріалами XXIII Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Київ, 8-9 червня 2026 р.). К: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2026, С.93-94.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця огляду патентів

№ п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Мета заявленого технологічного рішення та його використання
1	Широкосмуговий шнек з гвинтовою стрічковою спіраллю	UA 112517 U	Широкосмуговий шнек з гвинтовою стрічковою спіраллю, яка з'єднана з валом за допомогою інтегрованих ребер. Основна відмінність – на внутрішній частині смуги гвинтової спіралі виконані вирізи, що чергуються з ребрами. Ребра виконані суцільними з зовнішньою частиною спіралі. Ширина ребер і вирізів на недеформованій частині смуги однакові.
2	Шарнірний шнек	UA 142736 U	Шарнірний шнек для транспортування сипких матеріалів (зокрема сільськогосподарських) по криволінійних трасах у замкнутих (еластичних) кожухах. Складається з шарнірно з'єднаних гвинтових секцій.
3	Шнековий пристрій для рівномірного вивантаження сипких матеріалів	UA 45000 A (корисна модель)	Винахід відноситься до транспортуючих засобів. Мета: забезпечення рівномірності потоку вивантажуваного сипкого матеріалу (сухі комбікорми) по всій довжині корпусу за рахунок трикутних розвантажувальних вікон з регульованою площею.
4	Еластичний шнек	UA 124951 U	Еластичний шнек для транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів з мінімальним пошкодженням у замкнутих кожухах.
5	Шнек з лезами	CN224046241	Шнек для транспортування або перемішування рідких і тістоподібних матеріалів з наявністю твердих фракцій.

ДОДАТОК Б

Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
		<u>Документація</u>		
	ЛП21. 106185. 001-70ТС	Технологічна схема		
		Складальні одиниці		
1	ЛП21. 106185. 001.01	Ескаватор	1	
2	ЛП21. 106185. 001.02	Відкрите сховище	1	
3	ЛП21. 106185. 001.03	Навантажувач	1	
4	ЛП21. 106185. 001.04	Глинорозпушувач	1	
5	ЛП21. 106185. 001.05	Ящиковий живильник	1	
6	ЛП21. 106185. 001.06	Шнековий живильник	1	
7	ЛП21. 106185. 001.07	Дірчасті вальці	1	
8	ЛП21. 106185. 001.08	Глинорозтирач	1	
9	ЛП21. 106185. 001.09	Глинозапасник	1	
10	ЛП21. 106185. 001.10	Вальці тонкого помелу	1	
11	ЛП21. 106185. 001.11	Фільтруюча голівка	1	
12	ЛП21. 106185. 001.12	Вакуумний прес	1	
13	ЛП21. 106185. 001.13	Автомат різання	1	
14	ЛП21. 106185. 001.14	Сушильна вагонетка	1	
15	ЛП21. 106185. 001.15	Камерні сушилки	1	
16	ЛП21. 106185. 001.16	Випалювальні вагонетки	1	
17	ЛП21. 106185. 001.17	Піч	1	
18	ЛП21. 106185. 001.18	Піддон	1	
19	ЛП21. 106185. 001.19	Майданчик відвантаження	1	
Зм.	Лист	ПІБ	Підп.	Дата
Розробн.	Кушнар'єв Р.О.			
Керівник	Казак І.О.			
Консульт				
Н.контр				
Зав.каф	Сокольський. О.Л			
ЛП21. 106185. 001-70ТС				
Технологічна лінія виробництва керамічної цегли			Лит.	Лист
				1
			Листів	
			КПІ ім. Ігоря Сікорського	

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ДОДАТОК В

Лістинг програми на ЕОМ

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <Windows.h>

using namespace std;

int main()
{
    SetConsoleCP(1251);
    SetConsoleOutputCP(1251);

    // =====
    // ВХІДНІ ДАНІ ДО ПАРАМЕТРИЧНОГО РОЗРАХУНКУ
    // Шнековий живильник для транспортування рідкої глини
    // Студент: Кушнар'ов Р.О., група ЛП-21
    // =====

    const double PI = 3.14159265358979;

    double D;      // діаметр гребеня шнека, м
    double S;      // крок навивки шнека, м
    double phi;    // коефіцієнт заповнення корпуса матеріалом
    double n;      // частота обертання шнека, с-1

    cout << "=====" << endl;
    cout << "  Параметричний розрахунок шнекового" << endl;
    cout << "  живильника для транспортування глини" << endl;
    cout << "=====" << endl;
    cout << endl;

    // --- Введення діаметра шнека ---
    cout << "Введіть діаметр гребеня шнека D (у метрах, напр. 0.2): ";
    cin >> D;

    // --- Введення кроку навивки ---
    cout << "Введіть крок навивки шнека S (у метрах, напр. 0.2): ";
    cin >> S;

    // --- Введення коефіцієнта заповнення ---
    cout << "Введіть коефіцієнт заповнення корпуса phi (напр. 0.3): ";
    cin >> phi;

    // --- Введення частоти обертання ---
    cout << "Введіть частоту обертання шнека n (с-1, напр. 1.2): ";
    cin >> n;

    cout << endl;

    // КРОК 1: ОБ'ЄМНА ПРОДУКТИВНІСТЬ
    // GV = (PI / 4) * D^2 * S * n * phi

    cout << "-----" << endl;
    cout << "Крок 1. Об'ємна продуктивність, м3/с:" << endl;
    cout << "GV = (PI/4) * D^2 * S * n * phi" << endl;

    double GV = (PI / 4.0) * D * D * S * n * phi;

    cout << "GV = (3.14159/4) * " << D << "^2 * " << S
        << " * " << n << " * " << phi << endl;
    cout << "GV = " << GV << " м3/с" << endl;
    cout << endl;
```

```

// КРОК 2: МАСОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ
// GM = GV * km * rho_true
// де km – коефіцієнт розпушення, rho_true – істинна густина

double km;          // коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу
double rho_t;        // істинна густина матеріалу, кг/м^3

cout << "-----" << endl;
cout << "Крок 2. Масова продуктивність:" << endl;
cout << "GM = GV * km * rho_t" << endl;

cout << "Введіть коефіцієнт розпушення матеріалу km (напр. 0.4): ";
cin >> km;

cout << "Введіть істинну густина матеріалу rho_t (кг/м^3, напр. 1700): ";
cin >> rho_t;

double GM = GV * km * rho_t;

cout << "GM = " << GV << " * " << km << " * " << rho_t << endl;
cout << "GM = " << GM << " кг/с" << endl;
cout << endl;

// Переведення в т/год для зручності
double GM_t_h = GM * 3600.0 / 1000.0;
cout << "GM = " << GM_t_h << " т/год" << endl;
cout << endl;

// Перевірка відповідності технічному завданню (140 т/день = ~5.83 т/год)
double GM_t_day = GM_t_h * 24.0;
cout << "Добова продуктивність: " << GM_t_day << " т/добу" << endl;

if (GM_t_day >= 140.0) {
    cout << GM_t_day << " >= 140 (Вимога по продуктивності виконується)" << endl;
}
else {
    cout << GM_t_day << " < 140 (Вимога по продуктивності НЕ виконується)" << endl;
}
cout << endl;

// КРОК 3: КРУТНИЙ МОМЕНТ НА ВАЛУ ШНЕКА
// M_kr = (F0 * D) / 2
// Навантаження на шнек від матеріалу: F0 = rho_bulk * g * GV * L / v
// Спрощена форма: M_kr задана з T3 = 32453 Н·мм

cout << "-----" << endl;
cout << "Крок 3. Перевірка крутного моменту:" << endl;

double M_kr_TZ = 32453.0; // Н·мм – з технічного завдання
double d_val = 80.0;      // мм – діаметр осердя вала (з T3)

// Потужність приводу: N = M_kr * omega / eta
// omega = 2*PI*n (рад/с), eta = 0.85 (ККД редуктора)
double omega = 2.0 * PI * n; // рад/с
double eta = 0.85;
double N_kW = (M_kr_TZ * 1e-3 * omega) / (eta * 1000.0); // кВт

cout << "Крутний момент (з T3): M_kr = " << M_kr_TZ << " Н·мм" << endl;
cout << "Кутова швидкість: omega = 2*PI*n = " << omega << " рад/с" << endl;
cout << "Потужність приводу: N = M_kr * omega / eta" << endl;

```

```

cout << "N = " << M_kr_TZ * 1e-3 << " * " << omega
    << " / " << eta << " = " << N_kW * 1000 << " Вт" << endl;
cout << "N = " << N_kW << " кВт" << endl;
cout << endl;

// =====
// КРОК 4: ТИСК НА СТИНКИ КОРПУСУ
//  $P = (4 * G_M * v) / (\pi * D^2)$ 
// де v – осьова швидкість матеріалу = S * n
// =====

cout << "-----" << endl;
cout << "Крок 4. Тиск матеріалу на корпус:" << endl;
cout << "P = (4 * G_M) / (\pi * D^2 * v^-1)" << endl;

double v_axial = S * n; // осьова швидкість матеріалу, м/с
double P_Pa = (G_M * v_axial) / (PI / 4.0 * D * D);

cout << "Осьова швидкість матеріалу: v = S*n = "
    << S << " * " << n << " = " << v_axial << " м/с" << endl;
cout << "P = " << P_Pa / 1e6 << " МПа" << endl;
cout << endl;

// Перевірка відповідності T3 (P_TZ = 0.79191 МПа)
double P_TZ = 0.79191;
if (P_Pa / 1e6 <= P_TZ * 1.05) {
    cout << P_Pa / 1e6 << " МПа <= " << P_TZ
        << " МПа (Умова по тиску виконується)" << endl;
}
else {
    cout << P_Pa / 1e6 << " МПа > " << P_TZ
        << " МПа (Перевірте параметри)" << endl;
}
cout << endl;

// =====
// КРОК 5: ДОВЖИНА КОНСТРУКЦІЇ – ПЕРЕВІРКА
// =====

cout << "-----" << endl;
cout << "Крок 5. Довжина конструкції:" << endl;

double L_mm = 2200.0; // мм – з технічного завдання
double d_mm = 80.0; // мм – діаметр осердя

// Умова гнучкості: L/D <= 20 (для шнеків без проміжних опор)
double flex_ratio = L_mm / (D * 1000.0);

cout << "L = " << L_mm << " мм" << endl;
cout << "D = " << D * 1000.0 << " мм" << endl;
cout << "Відношення L/D = " << flex_ratio << endl;

if (flex_ratio <= 20.0) {
    cout << flex_ratio << " <= 20 (Умова жорсткості виконується)" << endl;
}
else {
    cout << flex_ratio << " > 20 (Потрібна проміжна опора!)" << endl;
}
cout << endl;

// =====
// ПІДСУМОК
// =====

cout << "-----" << endl;

```

```

cout << "ПІДСУМОК ПАРАМЕТРИЧНОГО РОЗРАХУНКУ:" << endl;
cout << "-----" << endl;
cout << "Діаметр гребеня шнека D      = " << D * 1000 << " мм" << endl;
cout << "Діаметр осердя вала d      = " << d_mm << " мм" << endl;
cout << "Крок навивки шнека S      = " << S * 1000 << " мм" << endl;
cout << "Довжина конструкції L      = " << L_mm << " мм" << endl;
cout << "Частота обертання n      = " << n << " с^-1" << endl;
cout << "Об'ємна продуктивність GV = " << GV << " м^3/с" << endl;
cout << "Масова продуктивність GM = " << GM << " кг/с" << endl;
cout << "                                = " << GM_t_h << " т/год" << endl;
cout << "                                = " << GM_t_day << " т/добу" << endl;
cout << "Крутний момент M_kr      = " << M_kr_TZ << " Н·мм" << endl;
cout << "Потужність приводу N      = " << N_kW << " кВт" << endl;
cout << "Тиск на корпус P      = " << P_Pa / 1e6 << " МПа" << endl;
cout << "-----" << endl;

```

```

return 0;

```

```

}

```

ДОДАТОК Г

Удосконалення конструкції шнекового живильника на основі застосування шнеку гребінчастою структурою для забезпечення стабільного транспортування матеріалу

Кушнар'ов Р.О., студ., Стерпу А.Е., студ., Казак І.О., к.п.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

З метою запобігання закупорювання при транспортуванні матеріалу, зниження ризику злежування та утворення грудок, а також підвищення надійності роботи запропонована удосконалена конструкція шнека. Конструкція включає шнек з гребінчастою структурою витків. Таке технічне рішення дозволяє здійснювати безперервне очищення стінок шнекового живильника, забезпечуючи стабільне транспортування навіть вологих та схильних до злежування матеріалів.

Ключові слова: шнековий живильник, шнек, витки з гребінчастою структурою, стабільне транспортування, підвищення надійності.

Вступ. Шнекові живильники широко застосовуються в хімічній, будівельній, фармацевтичній та харчовій промисловості завдяки компактності конструкції, герметичності, відносній простоті виготовлення та експлуатації, можливості точного дозування матеріалу та роботі під кутом.

Шнековий живильник призначений для рівномірної та контрольованої подачі сипких, порошкоподібних, гранульованих та навіть в'язких матеріалів. Принцип роботи доволі простий: матеріал із бункера надходить на обертовий шнек, який транспортує його до виходу з корпусу шнекового живильника. Швидкість подачі визначається частотою обертання шнека та його конструкцією [1].

Перевагами шнекових живильників є: конструктивна простота з механічної точки зору, легкість в обслуговуванні і проведенні ремонтів, продуктивність, герметичність.

Недоліками шнекових живильників являються: підвищене стирання механічних частин обладнання (шнека і корпусу), явища ущільнень між витками шнеку, закупорювання при транспортуванні матеріалу.

За результатами літературно-патентного огляду для удосконалення шнекового живильника на основі прототипу [2] була обрана конструкція шнеку з гребінчастою структурою витків, яка представлена на рис.1.

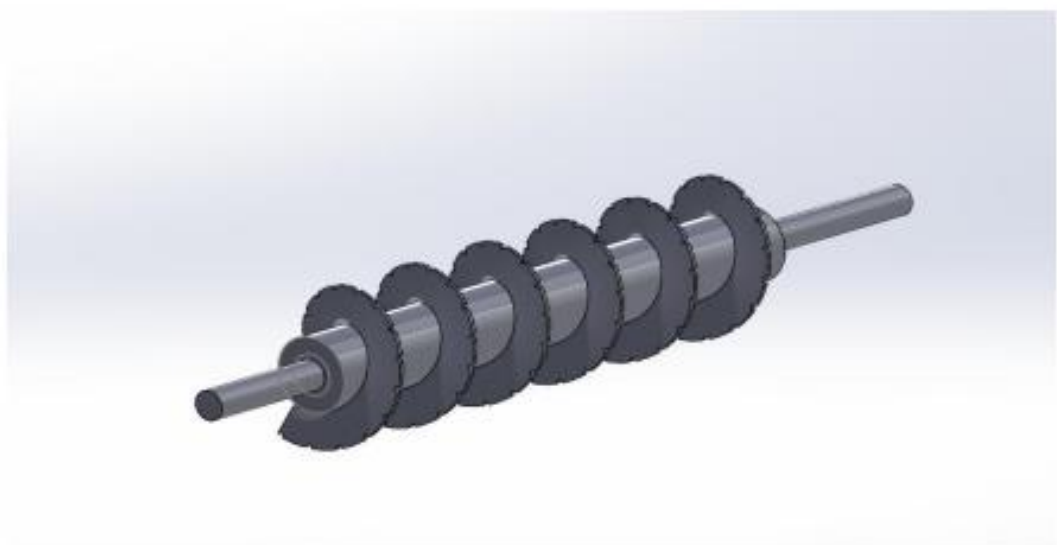


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція шнеку з гребінчастою структурою витків

Принцип роботи шнекового живильника з удосконаленим шнеком: ведучий вал шнеку обертається від електродвигуна. Витки шнеку з гребінчастою структурою транспортують матеріал, що дозволяє очищувати стінки корпусу шнекового живильника та розрихлювати матеріал, руйнуючи грудки.

На рис.2 представлено вид збоку витків удосконаленого шнеку з гребінчастою структурою.



Рисунок 2 – Вид збоку витків удосконаленого шнеку з гребінчастою структурою

Запропонований шнек для шнекового живильника, який містить корпус з вхідним та вихідним патрубками, всередині якого розташований обертовий шнек з зубчастими (пилоподібними) витками з зовнішнього краю витків шнеку, транспортує матеріал.

На основі удосконалення шнеку з гребінчастою структурою можна отримати:

- значного зниження ймовірності зупинок шнекового живильника через закупорювання;
- зменшення трудомісткості обслуговування та очищення;
- підвищення продуктивності та надійності та стабільного транспортування вологих та схильних до злежування матеріалів;
- подовження міжремонтного періоду [2].

Висновки. Запропонована конструкція шнеку з гребінчастою структурою витків дозволяє підвищити ефективність та надійність роботи шнекового живильника. Конструкція удосконаленого шнеку забезпечує запобігання закупорюванню, стабільне транспортування не тільки сипких навіть вологих матеріалів. Розробка може бути рекомендована для впровадження на підприємствах хімічної, будівельної, фармацевтичної та інших галузей промисловості.

Перелік посилань

1. Дозатори, шнекові живильники. URL: <https://technik.ua/produksiia/shnekovi-transportery/dozatori-zhivilniki-shnekovi>
2. Chemical powder spiral conveyor : pat. CN 224046241 U China / Yang Yujia, Wang Rui ; Applicat. 13.05.2025 ; Publ. 27.03.2026, 8 p.