

**„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**

«_____» _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

**на тему: «Лінія для пакування негашеного вапна з
модернізацією шнекового дозатора»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЛУ-41мп

Вельганюк Дмитро Миколайович _____

Науковий керівник:

д.ф., доцент. Швачко Денис Григорович _____

Консультант з ТМ та Е

ст. викл. Борщик Сергій Олександрович _____

Консультант з модернізації

д.т.н., проф. Щербина Валерій Юрійович _____

Консультант зі стартап-проєкту

к.е.н., доц. Юдіна Наталія Володимирівна _____

Рецензент:

к.т.н., доц. _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 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 – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання обладнання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Вельганюк Дмитро Миколайович

1. Тема дисертації «Лінія для пакування негашеного вапна з модернізацією шнекового дозатора», науковий керівник дисертації доцент, д.ф., доцент. Швачко Денис Григорович, затверджені наказом по університету від «_» _____ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації
3. Об'єкт дослідження Шнековий дозатор для сипких матеріалів
4. Вихідні дані: Шнековий дозатор для фасування сипучих матеріалів, матеріал — негашене вапно, діаметр шнека 0,2 м, частота обертання шнека 30 об/хв.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Вступ, призначення та сфера експлуатації дозатора, літературно-патентний огляд способів удосконалення конструкції дозатора, аргументація вибору напрямків оновлення пристрою, технічні обчислення, що засвідчують працездатність дозатора, аналіз доцільності проектування та впровадження дозатора, модернізація обладнання.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Базова конструкція стрічкового конвеєра (формат А1); Базова конструкція шнекового дозатору (формат А1); Технологічна лінія виробництва негашеного вапна (формат А1); Модернізований вузол очищення стрічкового конвеєра (формат А1); Модернізований шнек (формат А1); Результати 3D проектування (формат А1); Результати чисельних розрахунків шнека в Ansys (формат А1).
7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви	завдання прийняв
Монтаж і експлуатація	Борщик С.О., ст. викл.		
Модернізація	Щербина В.Ю., проф.		
Стартап-проект	Юдіна Н.В., доц.		

9. Дата видачі завдання р.

Календарний план

№ з / п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ. Опис лінії.	28.10 – 13.11.2022	
2	Літературно-патентний огляд.	13.11 – 20.11.2022	
3	Монтаж та експлуатація	20.11 – 23.11.2022	
4	Стартап	23.11 – 24.11.2022	
5	Охорона праці	24.11 – 25.11.2022	
6	Розрахунки	25.11 – 01.12.2022	
7	Креслення	01.12 – 12.12.2022	
8	Редагування розроблених розділів	13.12 – 14.12.2022	

Студент

Вельганюк Д.М.

Науковий керівник

Швачко Д.Г.

РЕФЕРАТ

Виконано магістерську дисертацію на тему «Лінія для пакування негашеного вапна з модернізацією шнекового дозатора».

Пояснювальна записка магістерської дисертації складається зі вступу, 6 розділів, висновків, 25 таблиць та 28 рисунків. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 102 сторінок. Графічна частина містить 8 креслень формату А1.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення точності дозування сипких матеріалів, зокрема негашеного вапна, а також забезпечення стабільної та безпечної роботи пакувальних ліній у промислових умовах.

Метою магістерської дисертації є розроблення та обґрунтування модернізації шнекового дозатора у складі лінії пакування негашеного вапна з метою підвищення його надійності, точності дозування та ресурсу роботи.

Об'єкт дослідження – технологічна лінія пакування сипких матеріалів.

Предмет дослідження – шнековий дозатор для фасування негашеного вапна з модернізованим робочим органом.

У роботі виконано аналіз конструкції базового шнекового дозатора та умов його експлуатації. Проведено параметричні, кінематичні та міцнісні розрахунки основних елементів шнека. Розроблено тривимірні моделі деталей і вузлів у програмному середовищі SolidWorks та виконано чисельні розрахунки напружено-деформованого стану модернізованої конструкції в програмному комплексі ANSYS.

За результатами моделювання підтверджено працездатність модернізованого шнека за умов експлуатаційних навантажень та отримано значний запас міцності. Розроблено розділи монтажу та експлуатації, охорони праці та стартап-проекту.

Ключові слова: ШНЕКОВИЙ ДОЗАТОР, НЕГАШЕНЕ ВАПНО, ПАКУВАЛЬНА ЛІНІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, МІЦНІСТЬ, ANSYS.

ABSTRACT

A master's thesis entitled

“Packaging Line for Quicklime with Modernization of a Screw Feeder” has been completed.

The explanatory note consists of an introduction, 6 chapters, conclusions, 25 tables, and 28 figures. The total volume of the explanatory note is 102 pages. The graphic part includes 8 A1-format drawings.

The relevance of the research is determined by the need to improve the accuracy and reliability of dosing bulk materials, particularly quicklime, and to ensure stable operation of industrial packaging lines.

The aim of the thesis is to develop and justify the modernization of a screw feeder as part of a quicklime packaging line in order to increase dosing accuracy, structural reliability, and service life.

The object of the study is a technological line for packaging bulk materials.

The subject of the study is a screw feeder for quicklime dosing with a modernized working element.

The thesis includes an analysis of the base screw feeder design and operating conditions. Parametric, kinematic, and strength calculations of the screw elements were performed. Three-dimensional models of components and assemblies were developed in SolidWorks, and numerical stress-strain analyses were carried out using ANSYS.

The simulation results confirmed the structural strength and operational reliability of the modernized screw feeder under working loads. Sections on installation, operation, occupational safety, and a startup project were developed.

Keywords: SCREW FEEDER, QUICKLIME, PACKAGING LINE, MODERNIZATION, STRENGTH ANALYSIS, ANSYS.

ЗМІСТ

1.ОПИС КОНСТРУКЦІЇ БАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ, ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ДОЗАТОРА.....	11
1.1 Призначення та галузь застосування	11
1.2 Опис конструкції, її основних частин та принципу дії	12
1.3 Лінія виробництва з використання шнекового живильника і стрічкового конвеєра.....	14
1.4 Літературно – патентний огляд варіантів модернізації.....	16
1.5 Обґрунтування обраної модернізації	24
2.ПАРАМЕТРИЧНІ Й КІНЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	26
2.1 Кінематичний розрахунок приводу шнекового дозатора пакувального автомату	26
2.2 Розрахунок зубчатої передачі приводу шнекового дозатора	28
2.3 Розрахунки параметрів шнека шнекового живильника	30
2.4 Розрахунок продуктивності та перевіірочні розрахунки шнекового дозатора	32
2.5 Розрахунок шнека на міцність	33
3.МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ	36
3.1 Монтаж і експлуатація.....	36
3.2 Технологія збору горизонтально пакувальної машини	37
3.3 Карта змащення	51

					<i>ЛУ41мп.013186.001-90ПЗ</i>		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.		Вельганюк Д.М.			Лінія для пакування негашеного вапна з модернізацією шнекового дозатора	Літ.	Аркуш
Перевір.		Швачко Д.Г.					7
							104
Н. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Затв.		Сокольський О.Л.					

4.РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	52
4.1.1 Опис ідеї проекту	52
4.1.2 Технологічний аудит ідеї проекту	56
4.1.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	71
4.1.5 Розроблення маркетингової програми стартаппроєкту	77
5.ОХОРОНА ПРАЦІ	85
5.1. Повітря робочої зони	86
5.1.2 Освітлення.....	87
5.1.3 Небезпека ураження електричним струмом	87
5.1.4 Пожежна безпека.....	88
5.1.5 Шум і вібрація	89
5.1.6 Промислове освітлення	90
6.РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНИХ ВУЗЛІВ УСТАНОВКИ.....	92
6.13D-модель модернізації стрічкового живильника.	92
6.23D-модель модернізації шнекового дозатора.	94
6.3Розрахунки модернізації шнекового дозатора	96
6.3.1 Розрахунок не модернізованого вузла	96
6.3.2 Розрахунок модернізованого вузла	98
ВИСНОВКИ.....	101
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	102

					<i>ЛУ-41мп.013186.002-90 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

D, d – зовнішній та внутрішній діаметри, м;
 d_0 – діаметр вала шнека, м;
 S – крок гвинтової лінії шнека, м;
 L – довжина шнека, м;
 F – площа поперечного перерізу, м^2 ;
 V – об'єм, м^3 ;
 Q – об'ємна продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$;
 Q_m – масова продуктивність, $\text{кг}/\text{год}$;
 ρ – густина матеріалу (негашене вапно), $\text{кг}/\text{м}^3$;
 n – частота обертання шнека, об/хв;
 ω – кутова швидкість, $\text{рад}/\text{с}$;
 ψ – коефіцієнт заповнення корпусу;
 η – коефіцієнт корисної дії;
 N – потужність, кВт;
 M – крутний момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$;
 σ – нормальні напруження, МПа;
 τ – дотичні напруження, МПа;
 G – модуль зсуву матеріалу, Па;
 J – полярний момент інерції, м^4 ;
 φ – кут закручування, рад;
 $[\sigma], [\tau]$ – допустимі напруження, МПа;
 k – коефіцієнт запасу міцності;
 t – час, с.

Вступ

Машинобудування для хімічної та суміжних галузей промисловості є однією з ключових сфер інженерної діяльності, що забезпечує проєктування, виготовлення та впровадження технологічного обладнання для переробки, транспортування і дозування різноманітних матеріалів. Значення цієї галузі обумовлене зростаючими вимогами до точності, надійності та безпеки виробничих процесів, особливо при роботі з порошкоподібними і сипучими речовинами. Ефективне управління такими процесами є важливим чинником для стабільної роботи підприємств будівельної, хімічної, гірничої та харчової промисловості, де дозування матеріалів безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції та економічні показники виробництва.

Сипучі матеріали, зокрема негашене вапно, широко застосовуються у виробництві будівельних матеріалів, металургії, хімічній промисловості та при виконанні технологічних процесів, що вимагають точного дозування та контрольованої подачі. Особливості фізико-механічних властивостей таких матеріалів, зокрема їх схильність до пилення, злежування та утворення грудок, висувають підвищені вимоги до конструкції обладнання, яке використовується для їх транспортування та фасування. У зв'язку з цим актуальним є застосування механізмів, здатних забезпечити рівномірну подачу матеріалу при мінімальних втратах і стабільній роботі впродовж тривалого часу.

Одним із найбільш поширених та ефективних засобів подачі і дозування сипучих матеріалів є шнекові дозатори. Їх конструкція дозволяє поєднати функції транспортування та дозування в одному робочому органі, забезпечуючи високу точність подачі та простоту регулювання продуктивності. Сучасні інженерні підходи до проєктування шнекових дозаторів спрямовані на підвищення їх надійності, зниження енергоспоживання та адаптацію до конкретних властивостей матеріалу. Удосконалення таких машин сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, покращенню умов праці та відповідності сучасним вимогам промислової безпеки і сталого розвитку.

1. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ БАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ, ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ДОЗАТОРА

1.1 Призначення та галузь застосування дозатора

Шнековий дозатор призначений для безперервної або порційної подачі сипких, порошкоподібних і дрібногранульованих матеріалів у різноманітні технологічні установки. Принцип його роботи полягає у переміщенні матеріалу вздовж осі обертового шнека, розташованого в циліндричному або жолобоподібному корпусі. Завдяки простоті конструкції, надійності та можливості точного регулювання продуктивності, шнекові живильники широко застосовуються в різних галузях промисловості[1].

Основне призначення шнекового живильника полягає у забезпеченні рівномірної, дозованої подачі матеріалу до технологічного обладнання — реакторів, змішувачів, транспортерів, печей або дозувальних систем. Така подача необхідна для підтримання стабільності технологічного процесу, запобігання перевитраті реагентів, а також для забезпечення необхідного співвідношення компонентів у суміші.

У промисловій практиці шнекові живильники використовуються для дозування таких матеріалів, як цемент, гіпс, зола, вугілля, гранульовані полімери, мінеральні добрива, харчові добавки та негашене вапно (CaO). Зокрема, при роботі з негашеним вапном вони забезпечують контрольовану подачу реагенту у процесах нейтралізації кислотних стічних вод, очищення димових газів, підготовки будівельних розчинів або у виробництві цементу.

Перевагами шнекових живильників є компактність, простота обслуговування, можливість герметизації робочої зони для запобігання пиловиділенню, а також здатність працювати з абразивними й хімічно активними матеріалами. У сучасних установках вони часто інтегруються у автоматизовані системи керування, що дозволяє здійснювати точне дозування за сигналами датчиків маси або витрати.

Таким чином, шнекові живильники є універсальними механізмами подачі сипких матеріалів, ефективність яких суттєво впливає на якість, безпечність та економічність промислових процесів, зокрема при роботі з негашеним вапном у хімічних і будівельних технологіях.

1.2 Опис конструкції, її основних частин та принципу дії

Шнековий живильник є механізмом безперервної дії, призначеним для транспортування й дозованої подачі сипких, порошкоподібних або дрібногранульованих матеріалів у різноманітні технологічні установки. Основними складовими елементами (рис 1.1) такого пристрою є корпус, шнек, привід, завантажувальне та розвантажувальне вікна, а також допоміжні елементи, що забезпечують регулювання подачі матеріалу та герметичність робочої зони[2].

У конструкції шнекового живильника з горизонтальним розташуванням шнека (рисунк а) корпус являє собою циліндричну або жолобоподібну оболонку, всередині якої обертається гвинтова спіраль — шнек, закріплений на приводному валу. Привід, розташований з одного боку корпусу, забезпечує обертання шнека з необхідною частотою. Матеріал надходить у завантажувальне вікно, розташоване у верхній частині корпусу, і під дією обертання гвинтової поверхні поступово переміщується вздовж осі корпусу до розвантажувального вікна. Для регулювання кількості поданого матеріалу може використовуватися заслінка, що змінює площу подачі у завантажувальній зоні. Така конструкція забезпечує рівномірний рух матеріалу, мінімізує його злежування та дозволяє підтримувати стабільну продуктивність.

У шнекових живильниках із вертикальним розташуванням шнека (рисунк б) матеріал подається зверху з бункера у циліндричну втулку, усередині якої обертається вал із закріпленими лопатями або гвинтовими витками. Обертання шнека забезпечує поступальний рух матеріалу у вертикальному напрямку — віднизу вгору або навпаки, залежно від конструкції системи. У нижній частині живильника зазвичай розташований привід, який передає крутний момент на вал через редуктор. Така схема забезпечує рівномірне піднімання або дозовану подачу сипких матеріалів, особливо в умовах обмеженого простору або при необхідності транспортування на висоту.

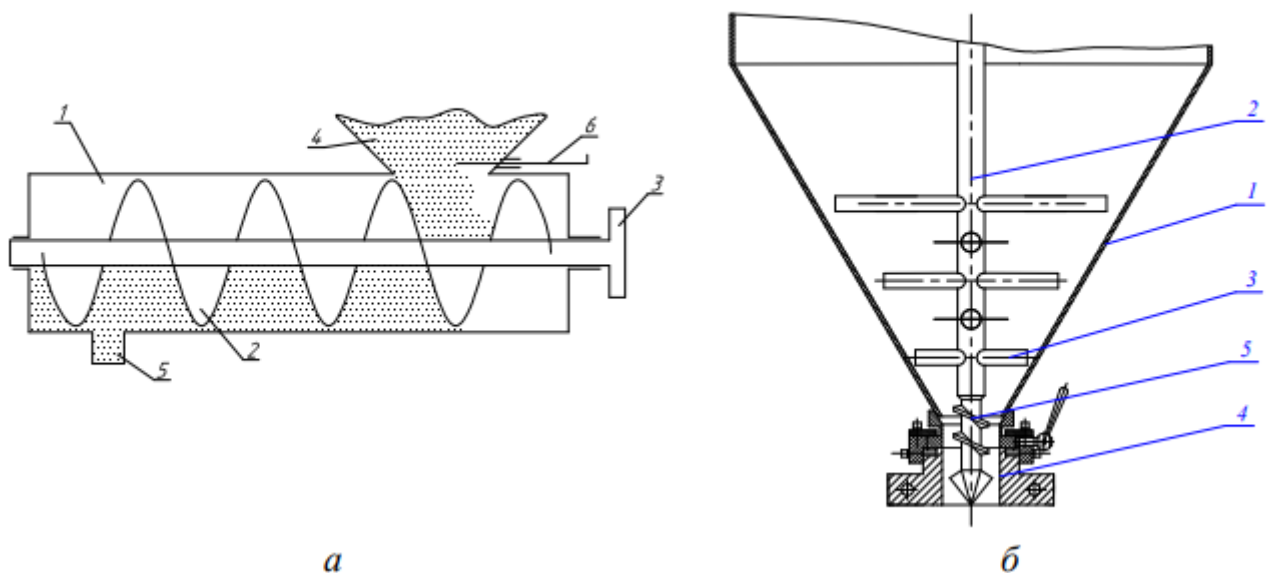


Рисунок 1.1 - Схеми шнекових живильників

Схеми шнекових живильників: а – із горизонтальним розташуванням шнека: 1 – корпус, 2 – шнек, 3 – привід, 4 – завантажувальне вікно, 5 – розвантажувальне вікно, 6 – заслінка; б – із вертикальним розташуванням шнека: 1 – бункер, 2 – вал, 3 – лопаті, 4 – циліндрова втулка, 5 – шнек

Принцип дії шнекового живильника ґрунтується на перетворенні обертального руху шнека на поступальний рух частинок матеріалу вздовж осі корпусу. Під час обертання гвинтової поверхні між витками утворюються замкнені об'єми, у яких матеріал переміщується в напрямку розвантаження. Швидкість подачі визначається кутовою швидкістю обертання шнека, кроком спіралі, діаметром корпусу та фізичними властивостями матеріалу. Завдяки простоті конструкції, герметичності й можливості точного регулювання продуктивності, шнекові живильники широко застосовуються в технологічних процесах транспортування та дозування сипких реагентів, зокрема негашеного вапна.

1.3 Лінія виробництва з використання шнекового живильника і стрічкового конвеєра

Процес переробки вапняку починається з доставки сировини самоскидом (рис. 1.2), який вивантажує вапняк безпосередньо в живильник пластинчастий (1). Цей пристрій забезпечує рівномірну подачу матеріалу на наступний етап. З живильника вапняк надходить на стрічковий конвеєр (2), що транспортує його до щоклової дробарки (3). Тут великі брили вапняку подрібнюються до більш дрібних фракцій, що є критично важливим для подальшої ефективної переробки[3].

Після первинного дроблення матеріал подається на другий стрічковий конвеєр (4), який направляє його у валково-зубчасту дробарку (5). Цей агрегат забезпечує подальше, більш тонке подрібнення, доводячи розмір частинок до необхідного стандарту. Підготовлений матеріал потім знову потрапляє на стрічковий конвеєр (6), що веде до сушильного комплексу (7), де відбувається видалення надлишкової вологи, що є обов'язковим для подальшого помолу.

Висушений вапняк після сушильного комплексу потрапляє на стрічковий конвеєр (8), який транспортує його до магнітного сепаратора (9). На цьому етапі з потоку сировини видаляються металеві домішки, які можуть потрапити у вапняк під час видобутку або транспортування. Очищений матеріал надходить до шнекового дозатора (10), що забезпечує рівномірну, контрольовану подачу вапнякового борошна у пакувальну зону. Завдяки точному регулюванню швидкості обертання шнека забезпечується стабільна маса продукту, що надходить у кожен мішок, що, у свою чергу, підвищує точність фасування та знижує втрати.

Заповнені мішки потрапляють на стрічковий конвеєр (11), який транспортує готову продукцію до зони відвантаження. У кінці лінії погрузчик (12) здійснює перевезення упакованих мішків зі шнекового дозатора або конвеєра на склад готової продукції для тимчасового зберігання або подальшого транспортування.

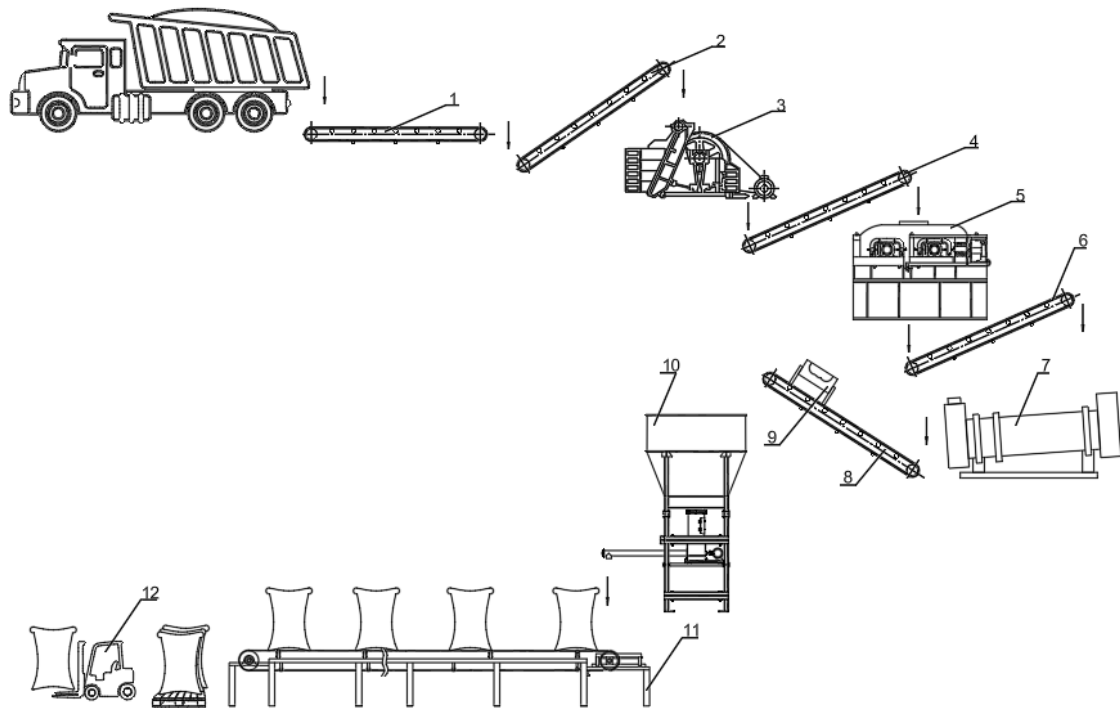


Рисунок 1.2 – Лінія виробництва негашеного вапна

Таким чином, модернізована лінія виробництва вапнякового борошна із застосуванням шнекового дозатора забезпечує точне дозування, стабільну якість готового продукту та зменшення втрат матеріалу, підвищуючи загальну ефективність і автоматизацію виробничого процесу.

1.4 Літературно – патентний огляд варіантів модернізації

Під час підготовки до розроблення удосконаленої конструкції шнекового дозатора та стрічкового живильника було здійснено аналіз технічної, наукової та патентної літератури з метою виявлення сучасного стану техніки, конструктивних особливостей існуючих моделей, їх функціональних можливостей, а також переваг і недоліків різних технічних рішень.

Для визначення напрямів модернізації та усунення виявлених конструктивних недоліків проведено детальне вивчення семи патентних джерел, що охоплюють різні підходи до вдосконалення робочих органів і вузлів шнекових дозаторів та стрічкових живильників. Кожен із розглянутих патентів має власні конструктивні особливості, які по-різному впливають на точність дозування, надійність роботи та зносостійкість основних елементів.

Результати проведеного аналізу дозволили виявити як позитивні технічні рішення, так і характерні недоліки, що потребують усунення. Розглянемо детальніше основні положення та особливості кожного з патентів.

Корисна модель патенту №143343[10] належить до піднімально-транспортного машинобудування і стосується гвинтових конвеєрів для транспортування сипких матеріалів з мінімальними пошкодженнями. Відомі шнеки з еластичною гвинтовою поверхнею мають недолік: при заклинюванні частинок матеріалу прогинається значна частина еластичних секторів, що ускладнює транспортування. Запропонована корисна модель удосконалює конструкцію шнека шляхом виконання периферійної частини еластичних секторів розрізними у вигляді пелюстків, спрямованих під кутом у напрямку руху матеріалу. Нижня частина секторів залишається суцільною для надійного кріплення на несучій смуговій спіралі, а зовнішні поверхні кріпильних елементів виконано напівсферично для підвищення надійності з'єднання. Така конструкція дозволяє зменшити пошкодження сипких матеріалів, забезпечуючи їх плавне переміщення у направляючому кожусі шнека (рис. 1.3).

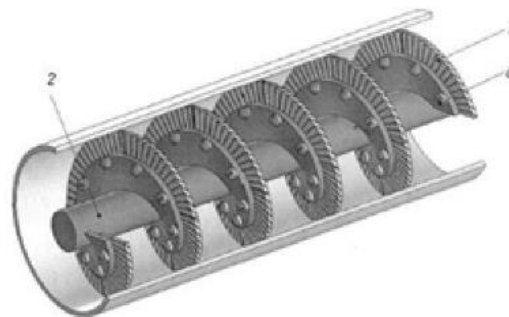
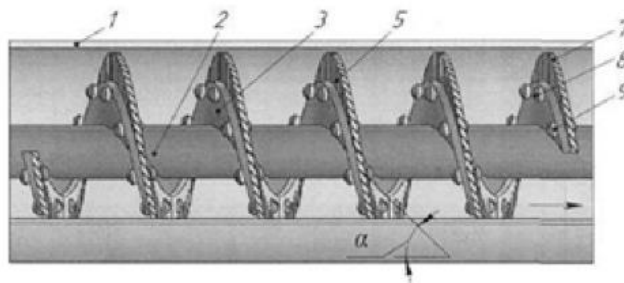


Рисунок 1.3 – Шнек з модульними пелюстками

Конструкція пристрою базується на направляючому кожусі (1), всередині якого розташований центральний вал (2), що виконує роль головного несучого елемента. На валу жорстко зафіксована несуча смугова спіраль (3), яка служить основою для встановлення еластичних секторів (5), причому останні в нижній частині виконані суцільними для забезпечення надійності кріплення. Робоча поверхня секторів по периферії має розрізні пелюстки (7), розташовані під кутом до напрямку транспортування, що дозволяє їм прогинатися та запобігати пошкодженню сировини при заклиненні. Фіксація вузлів здійснюється за допомогою кріпильних елементів (8) з напівсферичною поверхнею для кращого обтікання матеріалом, а для запобігання самовільному розгвинчуванню під час роботи застосовуються гроверні шайби (9).

Корисна модель патенту №112517[11] належить до підйомно-транспортного машинобудування і стосується широкосмугових шнекових механізмів, що можуть використовуватися для транспортування насипних вантажів у різних галузях. Відомі шнеки зі стрічковою гвинтовою спіраллю, жорстко з'єднаною з валом за допомогою ребер, мають недолік — високу трудомісткість виготовлення та ускладнений процес складання, що включає кріплення ребер до вала та спіралі.

Запропонована корисна модель вирішує цю проблему шляхом виконання на внутрішній частині гвинтової спіралі чергування вирізів і суцільних ребер, ширина яких

однакова (рис. 1.4). Зовнішня частина спіралі, розташована над вирізами, залишається суцільною, що забезпечує просте і міцне кріплення до вала. Така конструкція знижує трудомісткість виготовлення, спрощує складання шнека та дозволяє застосовувати безвідходну технологію розкрою початкової смугової заготовки, з якої отримують дві аналогічні стрічки для навивання гвинтової спіралі (рис. 1.5).

Транспортування матеріалів здійснюється за рахунок обертання шнека в кожусі. Запропонована конструкція забезпечує економію матеріалу та енергозатрат, зменшує зусилля на формоутворення спіралі та спрощує технологію виготовлення широкосмугових шнеків.

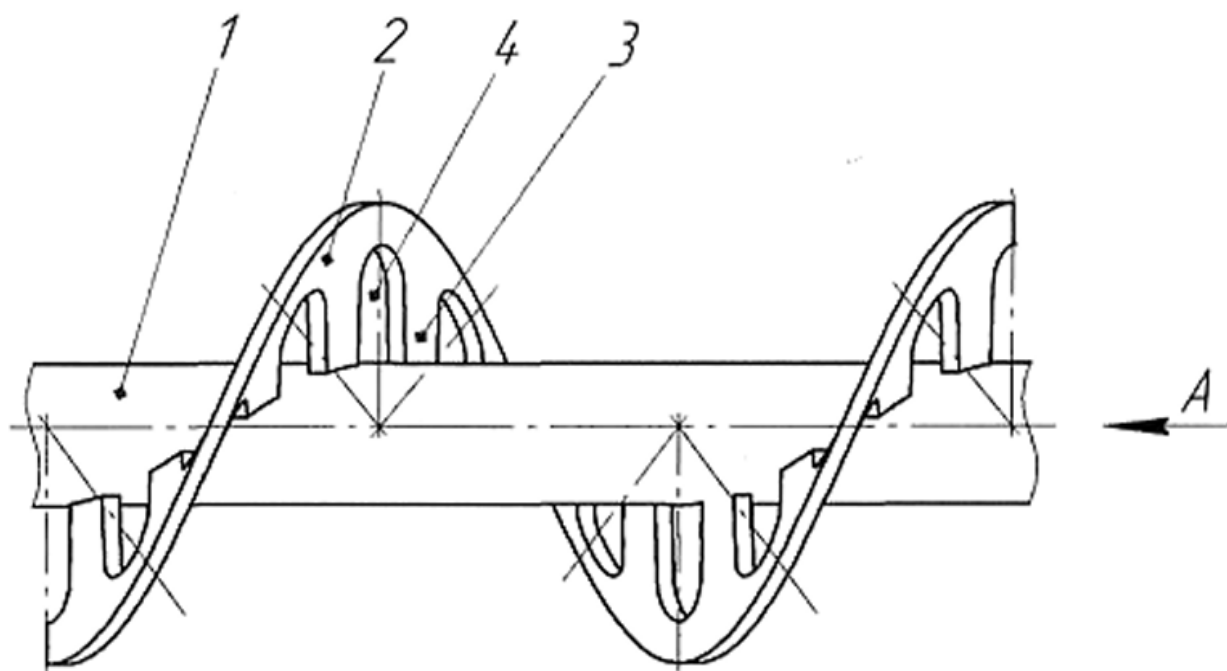


Рисунок 1.4 – Внутрішня частина шнеку

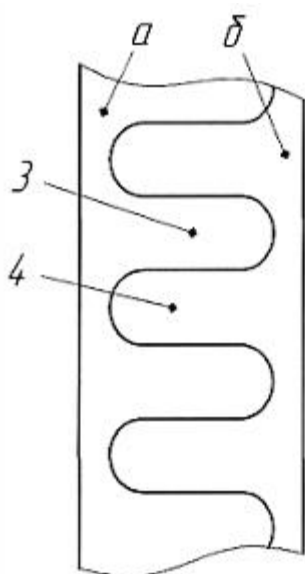


Рисунок 1.5 – Схема розкрою заготовки

Основою механізму є центральний вал (1), на якому за допомогою радіальних ребер (3) нерухомо закріплена гвинтова стрічкова спіраль (2). Особливістю конструкції є те, що ребра (3) виконані як одне ціле з зовнішньою частиною спіралі, чергуючись із вирізами (4) на її внутрішній частині. Така модернізація дозволяє значно знизити трудомісткість виготовлення та зменшити енерговитрати на формоутворення гвинтової поверхні при збереженні необхідної жорсткості всього шнекового вузла.

Винахід №117502[12] патенту належить до будівельної та харчової галузей і призначений для переміщення сипких матеріалів, у тому числі з абразивними частками. Відомі гнучкі шнеки обмежені через високі сили тертя між обертовими лопатями та внутрішньою поверхнею трубопроводу, що призводить до швидкого зношування, зниження продуктивності та неможливості переміщення абразивних матеріалів. Запропонований гнучкий шнек містить робочий орган у вигляді гнучкого дроту з гвинтоподібною лопаттю у формі щітки, щетина якої виготовлена зі зносостійкого матеріалу. Щетина може мати вигляд тонких дротинок або гнучких пружних елементів, що забезпечує необхідну гнучкість (рис. 1.6). Завдяки цьому зменшуються сили контакту між щетиною і абразивними частками, що суттєво знижує інтенсивність зношування робочих поверхонь. Така конструкція підвищує продуктивність шнека та дозволяє переміщувати матеріали з абразивними включеннями без пошкоджень. В результаті забезпечується надійна та довговічна робота гнучкого шнека у різних умовах експлуатації (рис. 1.7).

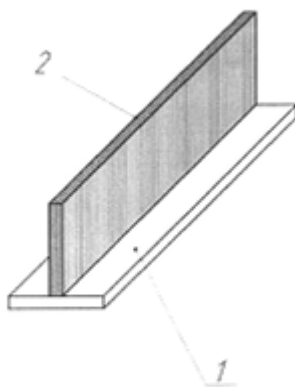


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд широкосмугової гвинтової спіралі

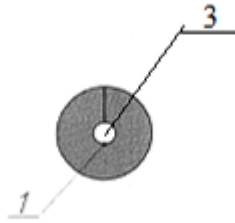


Рисунок 1.7 – Торцевий вигляд шнека

Основою механізму є центральний вал (1), на якому за допомогою радіальних ребер (3) жорстко зафіксована гвинтова стрічкова спіраль (2). Особливість конструкції полягає в тому, що ребра (3) виконані як одне ціле з зовнішньою частиною спіралі, що значно спрощує процес складання та зварювання вузла. Таке рішення дозволяє знизити енерговитрати на виготовлення шнека, оскільки пластичній деформації при навивці підлягає лише зовнішня кромка стрічки.

Корисна модель патенту №121832[13] належить до піднімально-транспортного машинобудування і стосується гвинтових конвеєрів для транспортування різних матеріалів із мінімальним пошкодженням. Відомі пружні шнеки мають недолік: обмежені функціональні можливості та складність регулювання кроку гвинтової спіралі, що зменшує ефективність транспортування. Запропонований шнек пружний двозахідний удосконалено шляхом виконання гвинтової спіралі (2) прямокутноподібної форми з можливістю колового повертання та осевого зміщення відносно центрального вала і регулювання зазору між витками (рис. 1.8). Така конструкція забезпечує формування оптимального контуру шнека, розширює його функціональні можливості (транспортування, змішування та очищення матеріалів) і зменшує пошкодження продуктів під час роботи.

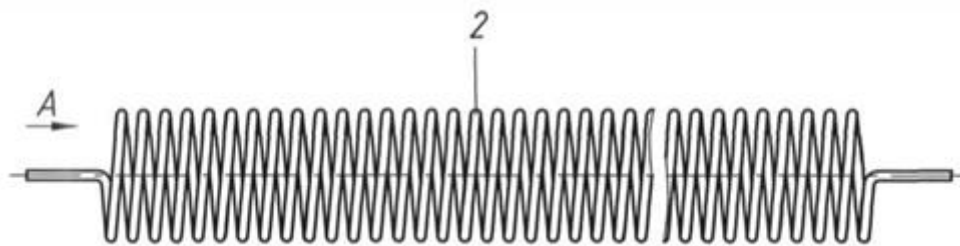


Рисунок 1.8 – Гвинтова спіраль

Корисна модель патенту №KR102119617B1[14] належить до піднімально-транспортного машинобудування і стосується пристрою для очищення стрічкових

конвеєрів, який забезпечує очищення транспортної поверхні стрічки та підвищує точність і безпеку логістичних операцій. Відомі пристрої очищення використовують скребкові елементи, які при тривалій експлуатації можуть пошкоджуватися разом із стрічкою, що знижує ефективність транспортування. Запропонований пристрій складається з ведучого ролика, що передає обертальний рух від стрічки, веденого вала та щіток, встановлених на блокових барабанах, які поділені на півкруглі блоки і можуть індивідуально демонтуватися (рис. 1.9). Така конструкція дозволяє швидко та ефективно очищати стрічку без додаткового приводу, зменшувати знос конвеєра і забезпечує зручне обслуговування пристрою.

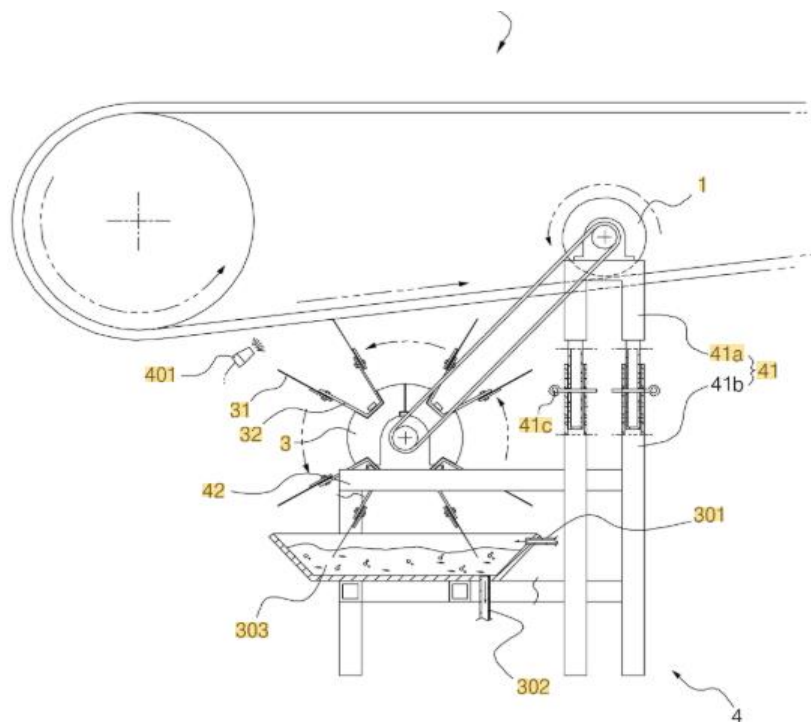


Рисунок 1.9 – Модернізований вузол очищення

Модернізований вузол очищення (рис. 1.9) працює завдяки ведучому ролику 1, який передає обертання від стрічки через ведений вал 301 до блокових барабанів 3. На барабанах закріплені щітки 31 та 32, що очищують поверхню, а їхній притиск регулюється пружинним механізмом 41. Конструкція базується на опорній рамі 4, а знятий бруд накопичується у піддоні 303 для зручного видалення.

Корисна модель патенту № CN103332449A[15] належить до піднімально-транспортного машинобудування і стосується барабана кліткового типу для стрічкових конвеєрів. Відомі барабани конвеєрів призводять до защемлення та тертя гранульованих матеріалів між стрічкою та поверхнею барабана, що спричиняє здуття стрічки,

локальний знос і скорочення терміну служби конвеєра. Запропонований барабан кліткового типу містить каркас із роликів прутів, на зовнішній поверхні якого виконані прорізи для проходу гранульованих матеріалів (рис. 1.10). Така конструкція дозволяє матеріалам проходити крізь проміжки між прутами, запобігає защемленню та тертю зі стрічкою, продовжує термін служби стрічки і покращує надійність роботи конвеєра.

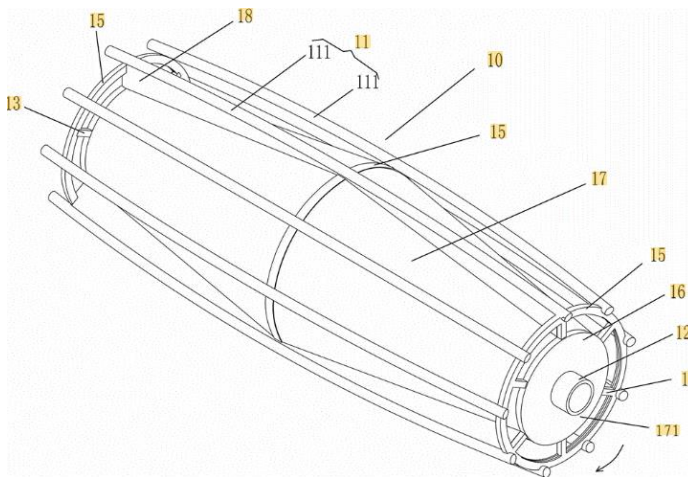


Рисунок 1.10 – Модернізований вузол барабану кліткового типу

Модернізований вузол барабану кліткового типу (рис. 1.10) складається з каркаса 10 із роликів прутів 11, закріплених на опорних дисках 13 за допомогою з'єднувальних елементів 15 та ребер жорсткості 16. Обертання передається через центральний вал 12 зі шпонковим з'єднанням 171, а напрямні пластини 17 та фіксуючі болти 18 забезпечують стабільність конструкції для проходу матеріалів крізь прорізи.

Корисна модель патенту №CN110382378B[16] належить до піднімально-транспортного машинобудування і стосується скребкової системи для стрічкових конвеєрів високої швидкості. Відомі системи очищення стрічки мають обмежену здатність поглинати енергію при раптових змінах властивостей вантажу, що призводить до швидкого зносу скребків і зупинок конвеєра. Запропонована система містить регульований пружно змонтований несучий елемент, на якому встановлені взаємозамінні еластичні скребки, та пружинний механізм з демпфуючою системою, що дозволяє скребкам відхилятися при перевантаженні. Така конструкція забезпечує ефективне очищення стрічки, поглинання ударних навантажень і продовження терміну служби скребкової системи, знижуючи простої конвеєра.

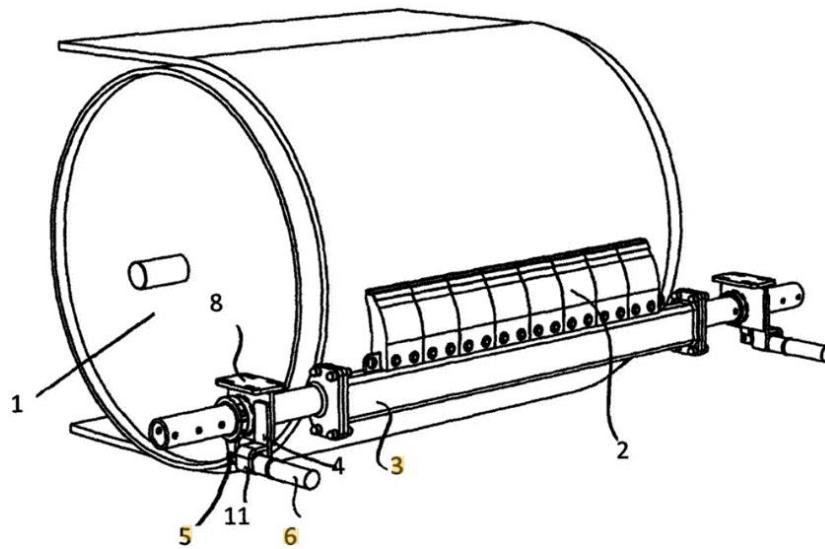


Рисунок 1.11 – Модернізований вузол очищувача стрічки

Модернізований вузол очищувача стрічки (рис. 1.11) складається з несучого елемента 3 із еластичними скребками 2, що взаємодіють із барабаном 1. Робота системи коригується демпфуючим механізмом 4 із елементами 5, 6 та 11, а надійне кріплення вузла забезпечують фіксатори 8.

Корисна модель патенту №CN211520709U[17] стосується стрічкового конвеєра з пристроєм для натягу. Відомі конвеєри при тривалій експлуатації можуть призводити до надмірного розтягування стрічки, що знижує ефективність і скорочує термін служби. Запропонований конвеєр містить опорну раму, ведучий і ведений ролики, кілька опорних роликів, привідний механізм та пристрій натягу, який включає обмежувальну раму з пружними та жорсткими частинами, навколо яких обертається стрічка. Така конструкція дозволяє підтримувати оптимальне натягнення стрічки, запобігати її пошкодженню та забезпечує надійну роботу конвеєра при транспортуванні матеріалів.

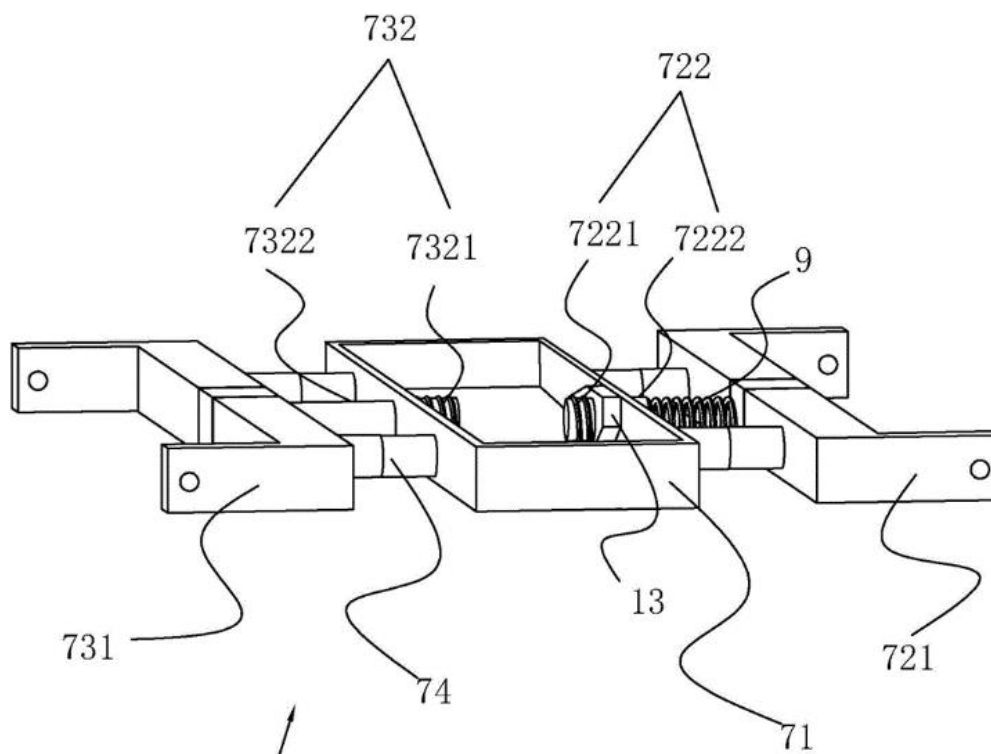


Рисунок 1.12 – Вузол натягу стрічки

Вузол натягу стрічки (рис. 1.12) складається з обмежувальної рами 13, усередині якої розміщені пружинні частини 732 (7321, 7322) та жорсткі елементи 722 (7221, 7222) для регулювання зусилля. Конструкція включає опорні блоки 731 та 721, з'єднані валами 74 та 71, а також фіксуючі болти 9, що разом забезпечують підтримання оптимального натягу стрічки та запобігають її пошкодженню.

1.5 Обґрунтування обраної модернізації

Після аналізу наукових та патентних джерел було обрано модифікацію для вдосконалення механізму регулювання зазору, що спирається на рішення, описані у патентах [10] та [15].

Патент №KR102119617B1 був обраний через його безпосередню релевантність до піднімально-транспортного машинобудування та стрічкових конвеєрів. Він пропонує інноваційну конструкцію пристрою для очищення конвеєрної стрічки, що включає ведучий ролик, ведений вал і щітки на блокових барабанах, які поділені на півкруглі секції та можуть демонтуватися окремо. Така конструкція дозволяє ефективно видаляти залишки матеріалу без додаткового приводу, зменшує знос стрічки та скребків, підвищує надійність і безпеку логістичних процесів, а також спрощує обслуговування і заміну елементів. Завдяки цим властивостям патент демонструє практичну цінність і є прикладом вдосконалення існуючих конвеєрних систем.

Патент №143343 був обраний через його здатність вирішувати ключову проблему гвинтових конвеєрів — пошкодження сипких матеріалів під час транспортування. Запропоноване рішення демонструє ефективний підхід до регулювання еластичності робочого органу шнека, що забезпечує одночасно надійне кріплення та оптимальний контакт із матеріалом. Вибір цього патенту обґрунтований його практичною цінністю для підвищення продуктивності конвеєра, зменшення втрат і пошкоджень вантажу, а також для вдосконалення конструкції шнеків із урахуванням механічних та технологічних вимог виробництва.

2. ПАРАМЕТРИЧНІ Й КІНЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Кінематичний розрахунок приводу шнекового дозатора пакувального автомату

Кінематичний розрахунок приводу виконується з метою визначення необхідної потужності електродвигуна, передаточного числа редуктора та основних кінематичних параметрів приводу шнекового дозатора[4].

Потужність на вихідному валу приводу (на валу шнека) приймається:

$$N_2 = 0,25 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт корисної дії приводу визначається як добуток ККД окремих елементів:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^2$$

де:

η_1 — ККД муфти, $\eta_1 = 0,99$;

η_2 — ККД зубчатої передачі, $\eta_2 = 0,96$;

η_3 — ККД підшипників кочення, $\eta_3 = 0,995$.

Тоді:

$$\eta = 0,99 \cdot 0,96 \cdot 0,995^2 = 0,94$$

Необхідна потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$N_{\text{двн}} = \frac{N_2}{\eta}$$

$$N_{\text{двн}} = \frac{0,25}{0,94} = 0,27 \text{ кВт}$$

З урахуванням запасу по потужності приймаємо:

$$N_{\text{дв}} = 0,37 \text{ кВт}$$

Задана частота обертання шнека:

$$n_2 = 30 \text{ об/хв}$$

Асинхронна частота обертання електродвигуна приймається:

$$n_1 = 1500 \text{ об/хв}$$

Загальне передаточне число приводу:

$$u = \frac{n_1}{n_2}$$

$$u = \frac{1500}{30} = 50$$

Оптимальне передаточне число одноступеневого циліндричного редуктора становить:

$$u_{\text{опт}} = 2 \dots 7,5$$

Оскільки загальне передаточне число значно перевищує оптимальне, привід виконується з використанням **двоступеневого редуктора**[5].

Орієнтовна частота обертання визначається за формулою:

$$n_{\text{дв}}^{\text{ор}} = n_2 \cdot u$$
$$n_{\text{дв}}^{\text{ор}} = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ об/хв}$$

За каталогом вибираємо асинхронний електродвигун з наступними параметрами:

Тип двигуна: **АИР71А2**[6]

Потужність: $N_{\text{дв}} = 0,37 \text{ кВт}$;

Частота обертання: $n_{\text{дв}} = 1500 \text{ об/хв}$;

Діаметр вихідного вала двигуна: $d_{\text{дв}} = 19 \text{ мм}$.

Фактичне передаточне число редуктора:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1500}{30} = 50$$

Потужність на вхідному валу:

$$N_1 = \frac{N_2}{\eta} = \frac{0,25}{0,94} = 0,27 \text{ кВт}$$

Потужність на вихідному валу:

$$N_2 = 0,25 \text{ кВт}$$

$$n_1 = 1500 \text{ об/хв} \quad n_2 = 30 \text{ об/хв}$$

Визначаємо кутові швидкості валів

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с}$$
$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 30}{30} = 3,14 \text{ рад/с}$$

Крутні моменти на валах редуктора

$$T_1 = \frac{N_1 \cdot 10^3}{\omega_1}$$
$$T_1 = \frac{0,27 \cdot 10^3}{157} = 1,72 \text{ Н·м}$$

$$T_2 = \frac{N_2 \cdot 10^3}{\omega_2}$$

$$T_2 = \frac{0,25 \cdot 10^3}{3,14} = 79,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.2 Розрахунок зубчатої передачі приводу шнекового дозатора

Розрахунок зубчатої передачі виконується для визначення основних геометричних параметрів редуктора та перевірки його працездатності за умовою контактної витривалості зубців.

Крутний момент на тихохідному валу (вихідному валу редуктора), отриманий раніше:

$$T_2 = 79,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Передаточне число редуктора:

$$u = 50$$

Для зменшення габаритів та навантажень приймаємо двоступеневу зубчасту передачу, при цьому розрахунок ведемо для одного ступеня з еквівалентним передаточним числом:

$$u_1 = 5$$

Міжосьова відстань визначається з умови контактної витривалості активних поверхонь зубців за формулою:

$$a_w = \sqrt[3]{\frac{K_{HB} \cdot T_2 \cdot (u_1 + 1)}{\psi_{ba} \cdot [\sigma_H]^2}}$$

де:

K_{HB} — коефіцієнт нерівномірності навантаження, $K_{HB} = 1,25$;

ψ_{ba} — коефіцієнт ширини вінця, $\psi_{ba} = 0,8$;

$[\sigma_H]$ — допустиме контактне напруження, МПа.

Для сталевих зубчатих передач приймаємо:

$$[\sigma_H] = 410 \text{ МПа}$$

Підставляємо числові значення:

$$a_w = \sqrt[3]{\frac{1,25 \cdot 79,6 \cdot (5 + 1)}{0,8 \cdot 410^2}}$$

$$a_w = \sqrt[3]{\frac{597}{134480}} = 0,079 \text{ м}$$

$$a_w = 79 \text{ мм}$$

Приймаємо міжосьову відстань зі стандартного ряду:

$$a_w = 80 \text{ мм}$$

Визначення модуля зачеплення

Нормальний модуль зачеплення визначається за емпіричною залежністю:

$$m_n = (0,01 \dots 0,02) \cdot a_w \quad m_n = 0,01 \cdot 80 \dots 0,02 \cdot 80 = 0,8 \dots 1,6$$

Приймаємо стандартне значення:

$$m_n = 1,5 \text{ мм}$$

Для косозубих циліндричних передач попередньо приймаємо кут нахилу зубців:

$$\beta = 30^\circ$$

Визначення числа зубців шестірні та колеса

Число зубців шестірні визначається за формулою:

$$Z_1 = \frac{2a_w \cos \beta}{m_n(u_1 + 1)}$$

Підставляємо значення:

$$Z_1 = \frac{2 \cdot 80 \cdot 0,866}{1,5 \cdot 6} = 15,4$$

Приймаємо:

$$Z_1 = 16$$

Число зубців колеса:

$$Z_2 = Z_1 \cdot u_1 = 16 \cdot 5 = 80$$

Основні геометричні параметри зубчатих коліс

Діаметри ділільних кіл:

$$d_1 = \frac{m_n \cdot Z_1}{\cos \beta}$$

$$d_1 = \frac{1,5 \cdot 16}{0,866} = 27,7 \text{ мм}$$

$$d_2 = \frac{m_n \cdot Z_2}{\cos \beta}$$

$$d_2 = \frac{1,5 \cdot 80}{0,866} = 138,6 \text{ мм}$$

Діаметри вершин зубців

$$d_{a1} = d_1 + 2m_n = 27,7 + 3 = 30,7 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m_n = 138,6 + 3 = 141,6 \text{ мм}$$

Ширина вінця колеса:

$$b_2 = (0,5 \dots 1)a_w$$

$$b_2 = 0,5 \cdot 80 = 40 \text{ мм}$$

Приймаємо:

$$b_2 = 40 \text{ мм}$$

Ширина вінця шестірні:

$$b_1 = b_2 + 5 = 45 \text{ мм}$$

2.3 Розрахунки параметрів шнека шнекового живильника

Шнекові живильники призначені для дозованої та безперервної подачі сипучих матеріалів порошкоподібної структури. Конструктивно даний тип обладнання являє собою закритий циліндричний кожух, у внутрішньому об'ємі якого розміщений гвинтовий робочий орган, що здійснює обертальний рух і забезпечує транспортування матеріалу вздовж осі живильника.

Довжина шнекового живильника:

$$L = 2,0 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр шнека:

$$D = 0,2 \text{ м}$$

Крок шнека:

$$S = 0,2 \text{ м}$$

Частота обертання шнека:

$$n = 30 \text{ об/хв} = 0,5 \text{ об/с}$$

Коефіцієнт заповнення корпуса при подачі порошкоподібних матеріалів:

$$\psi = 0,3$$

Продуктивність гвинтового живильника розраховується за формулою:

$$P_v = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot \psi \cdot 3600 \quad \text{м}^3/\text{год}$$

D – діаметр гвинта, м;

S – крок гвинта, м;

n – число обертів валу, об/с;

ψ – коефіцієнт заповнення корпусу.

Підставляємо значення:

$$P_v = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 3600$$

$$P_v = 0,79 \text{ м}^3/\text{год}$$

Кут нахилу шнека приймаємо:

$$\beta = 0^\circ$$

Найбільше допустиме значення частоти обертання визначаємо за формулою:

$$n_{\text{вм}} = \frac{A}{D} \quad \text{об/хв}$$

A – розрахунковий коефіцієнт, для негашеного вапна приймаємо

$$A = 45$$

Тоді:

$$n_{\text{вм}} = \frac{45}{0,2} = 225 \text{ об/хв}$$

Оскільки:

$$n = 30 < n_{\text{вм}} = 225,$$

умова працездатності виконується.

Діаметр вала шнека:

$$d = 0,4D = 0,08 \text{ м}$$

Крок шнека:

$$S = 0,2 \text{ м}$$

Кут нахилу витка за ГОСТ 2037–65 приймаємо:

$$\beta = 40^\circ$$

Внутрішній діаметр витка шнека визначається за формулою:

$$d_0 = \sqrt{\frac{(S^2 + (\pi D)^2) - (S^2 + (\pi d)^2)}{(\pi D)^2 - (\pi d)^2}}$$

Підставляємо значення:

$$d_0 = \sqrt{\frac{(0,2^2 + (3,14 \cdot 0,2)^2) - (0,2^2 + (3,14 \cdot 0,08)^2)}{(3,14 \cdot 0,2)^2 - (3,14 \cdot 0,08)^2}}$$

$$d_0 \approx 0,09 \text{ м}$$

d – діаметр вала шнека, $d = 0,08$ м.

Потужність, необхідна для приводу гвинтового живильника, визначається за формулою:

$$N_0 = \frac{367 \cdot P_v \cdot L}{\eta_m}$$

P_v – об’ємна продуктивність, м³/год;

L – довжина шнека, м;

η_m – механічний ККД, приймаємо $\eta_m = 0,8$.

Підставляємо значення:

$$N_0 = \frac{367 \cdot 0,79 \cdot 2,0}{0,8} N_0 \approx 5,6 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна визначається з урахуванням ККД приводу:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_0}{\eta} N_{\text{дв}} = \frac{5,6}{0,94} \approx 6,0 \text{ кВт}$$

Приймаємо стандартний електродвигун потужністю:

$$N_{\text{дв}} = 7,5 \text{ кВт}$$

2.4 Розрахунок продуктивності та перевіірочні розрахунки шнекового дозатора

Розрахунок масової продуктивності шнекового дозатора

Масова продуктивність визначається за формулою:

$$Q_m = P_v \cdot \rho$$

$$Q_m = 0,79 \cdot 900 = 711 \text{ кг/год}$$

$$Q_m = 0,71 \text{ т/год}$$

Розрахунок часу заповнення одного мішка

Час дозування одного мішка визначається за формулою:

$$t = \frac{m}{Q_m}$$

$$t = \frac{50}{711} = 0,070 \text{ год}$$

$$t = 4,2 \text{ хв}$$

Розрахунок продуктивності в мішках за годину

Кількість мішків, що фасуються за годину, визначається за формулою:

$$n_m = \frac{Q_m}{m}$$
$$n_m = \frac{711}{50} = 14,2 \text{ мішків/год}$$

Розрахунок лінійної швидкості переміщення матеріалу

Лінійна швидкість переміщення матеріалу вздовж осі шнека визначається за формулою:

$$v_l = S \cdot n$$
$$v_l = 0,2 \cdot 0,5 = 0,10 \text{ м/с}$$

Розрахунок часу перебування матеріалу в шнеку

Час перебування матеріалу в шнеку визначається за формулою:

$$t_{\text{тр}} = \frac{L}{v_l}$$
$$t_{\text{тр}} = \frac{2,0}{0,10} = 20 \text{ с}$$

Перевірка питомої потужності шнекового дозатора

Питома потужність визначається за формулою:

$$N_{\text{пит}} = \frac{N_2}{Q_m} N_{\text{пит}} = \frac{0,25}{0,71} = 0,35 \text{ кВт/т·год}$$

2.5 Розрахунок шнека на міцність

Розрахунок шнека на міцність виконується з метою перевірки працездатності вала шнека при дії крутного моменту, що виникає під час роботи шнекового дозатора.

Визначення крутного моменту на валу шнека

Крутний момент на валу шнека визначається за формулою:

$$M = \frac{9550 \cdot N_2}{n}$$

де:

M — крутний момент на валу шнека, Н·м;

N_2 — потужність на валу шнека, кВт;

n — частота обертання шнека, об/хв.

Підставляємо числові значення:

$$M = \frac{9550 \cdot 0,25}{30}$$

$$M = 79,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Розрахунок дотичних напружень кручення у валу шнека

Максимальні дотичні напруження у суцільному круглому валу визначаються за формулою:

$$\tau = \frac{16M}{\pi d^3}$$

де:

τ — дотичне напруження кручення, Па;

M — крутний момент, Н·м;

d — діаметр вала шнека, м.

$$\tau = \frac{16 \cdot 79,6}{3,14 \cdot 0,08^3}$$

$$\tau = 7,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\tau = 0,79 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності вала шнека

Умова міцності за крученням має вигляд:

$$\tau \leq [\tau]$$

де:

τ — фактичне дотичне напруження, МПа;

$[\tau]$ — допустиме дотичне напруження для матеріалу вала, МПа.

Для сталевих валів приймаємо:

$$[\tau] = 30 \text{ МПа}$$

$$0,79 \leq 30$$

Умова міцності виконується.

Перевірка вала шнека на крутну жорсткість

Кут закручування вала визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{ML}{GJ}$$

де:

φ — кут закручування вала, рад;

M — крутний момент, Н·м;

L — довжина шнека, м;

G — модуль зсуву матеріалу вала, Па;

J — полярний момент інерції поперечного перерізу, м⁴.

Полярний момент інерції визначається за формулою:

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

де:

d — діаметр вала шнека, м.

$$J = \frac{3,14 \cdot 0,08^4}{32}$$

$$J = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$\varphi = \frac{79,6 \cdot 2,0}{8 \cdot 10^{10} \cdot 4,0 \cdot 10^{-6}}$$

$$\varphi = 4,97 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$$

Допустимий кут закручування приймається:

$$[\varphi] = 0,02 \text{ рад}$$

Оскільки:

$$\varphi \leq [\varphi],$$

умова жорсткості виконується.

3. МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ

3.1 Монтаж і експлуатація

Головною метою розділу «Монтаж і експлуатація» є детальне вивчення та систематичний опис процесів складання, монтажу та підготовки до роботи горизонтально пакувальної машини. У цьому розділі приділяється увага конструкції машини в цілому, зокрема її основним складальним одиницям, а також технології встановлення обладнання на фундамент, що забезпечує надійну та безпечну експлуатацію.

Під час роботи над розділом було виконано комплекс заходів, спрямованих на повне розуміння та документальне оформлення процесів монтажу. Було розроблено спрощене креслення загального виду машини з чітким позначенням основних складальних одиниць, що дозволяє наочно представити її конструктивну композицію. Крім того, складено детальну специфікацію до цього креслення, яка включає перелік усіх складових частин та їх характеристики, що є необхідним для точного планування монтажу та забезпечення наявності всіх необхідних компонентів.

Також розроблено схему складання машини, яка визначає послідовність монтажу окремих вузлів і деталей, що сприяє ефективному та безпечному процесу збирання. Було виконано карту ескізів фундаменту та уточнено послідовність монтажу машини на ньому, що дає змогу правильно підготувати основу та забезпечити стабільність і точність установки обладнання. Операційна карта монтажу на фундаменті містить опис основних етапів робіт, а також вимог до їх виконання, що гарантує дотримання технологічної дисципліни та безпеки під час монтажу.

Особлива увага приділена розробці схеми змащення, яка супроводжується таблицею змащення з переліком точок нанесення мастильних матеріалів, їх типів та рекомендованої періодичності застосування. Це дозволяє забезпечити тривалу та надійну роботу всіх рухомих частин машини, знизити знос і продовжити термін служби обладнання, а також гарантує безперебійну експлуатацію в умовах виробничого процесу.

3.2 Технологія збору горизонтально пакувальної машини

Складання вузлів шнекового екструдера є технологічним процесом, який відображає послідовність з'єднання окремих деталей у складальні одиниці, а також подальше об'єднання цих одиниць у функціонально завершений екструдер. Розглянемо як приклад типовий шнековий екструдер із бункером та приводом (див. рис. 3.1). Складання екструдера здійснюється у чітко визначеній послідовності операцій, що відображено на схемі складання, із дотриманням вимог до точності встановлення, регулювання та надійного кріплення всіх елементів, включаючи шнек, підшипники, фланці та привід.

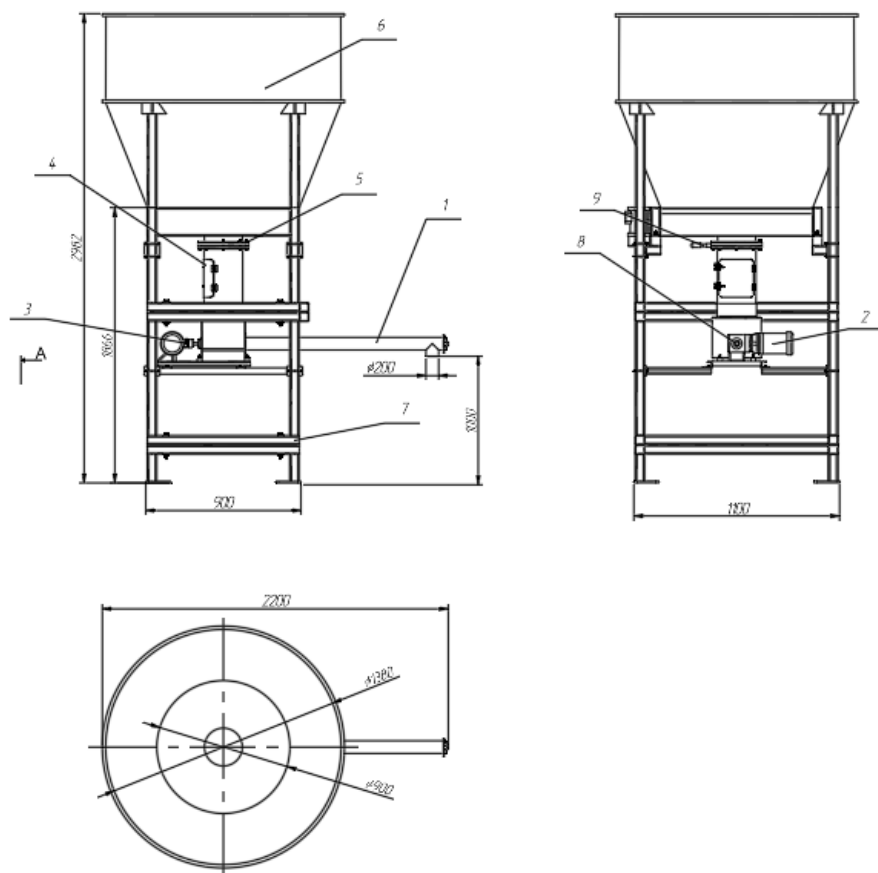


Рисунок 3.1 – Шнековий екструдер

1 — корпус шнека; 2 — електромотор; 3 — муфта; 4 — передні дверцята; 5 — фланець кріплення бункера; 6 — бункер; 7 — рама; 8 — підшипниковий вузол; 9 — шків ведений; 10 — шнек; 11 — плита кріплення шнека; 12 — опорна плита двигуна; 13 — фланець шнекового з'єднання.

Дотримання встановленої технологічної послідовності складання забезпечує коректну роботу шнека та приводного механізму, стабільність процесу дозування та

переміщення матеріалу, а також відповідність експлуатаційних характеристик екструдера вимогам виробничого процесу. Це гарантує надійну і безпечну роботу обладнання, мінімізує знос деталей і дозволяє підтримувати високу точність дозування сипучих або гранульованих матеріалів під час експлуатації.

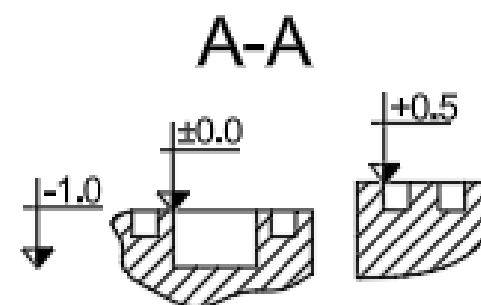
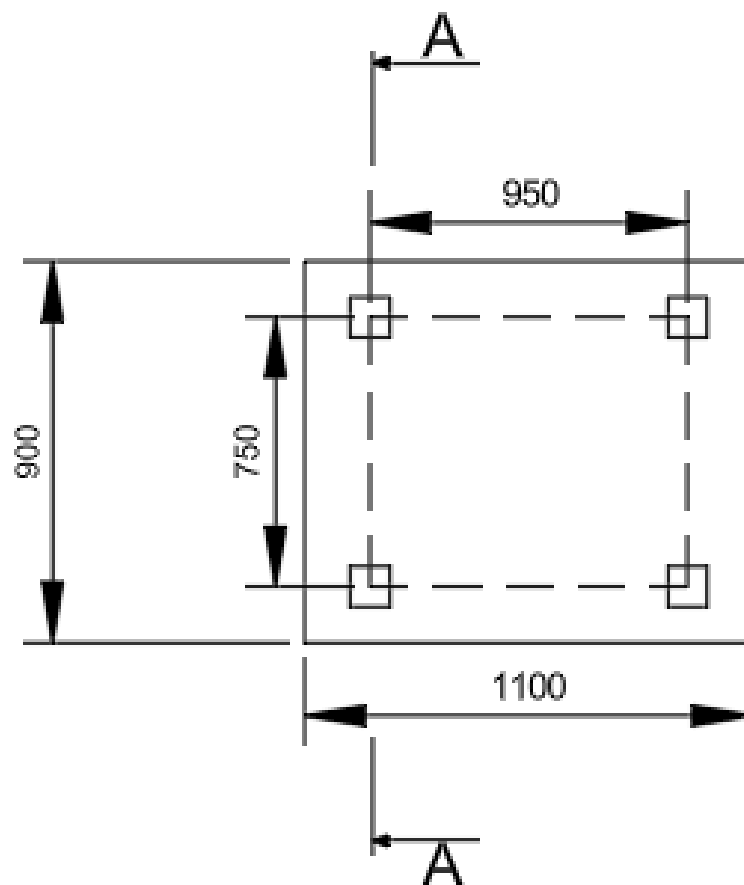
Ф о р м а т	По з .	Позначення			Найменування			К і л .	При мі тка
					<u>Документація</u>				
					Складальне креслення				
					<u>Складальні одиниці</u>				
	1				Корпус шнека			1	
	2				Електромотор			1	
	3				Муфта			1	
	4				Передні дверцята			1	
	5				Фланець кріплення бункера			1	
	6				Бункер			1	
	7				Рама			1	
	8				Підшипниковий вузол			2	
	9				Шків ведений			1	
	10				Шнек			2	
	11				Плита кріплення шнека			1	
	12				Опорна плита двигуна			1	
	13				Фланець шнекового з'єднання			2	
					<u>Стандартні вироби</u>				
	14				Болт М8х25			4	
	15				Гайка М8			4	
Зм	Ар к.	№ докум.	Підп ис	Да та					
Розроб.									
Перев.					Шнековий дозатор	Літ.		Арку ш	Аркуші в
								1	2
Н.контр.									
Затверд.									

[illegible]

Карта ескізів

План розміщення фундаментних болтів

Нижня операція



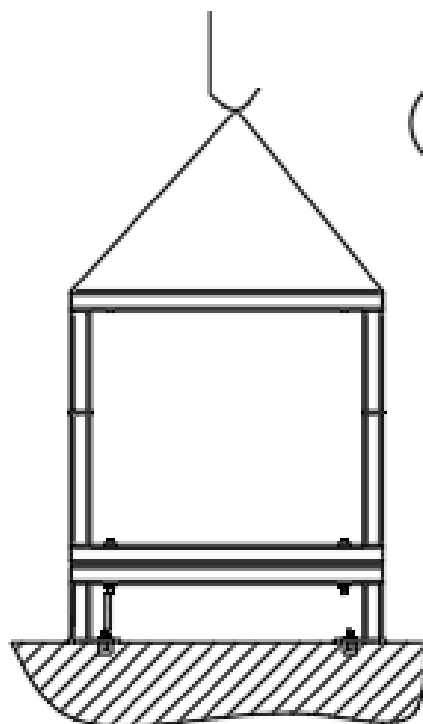
											Розроб.	Вельганок Д.М.			Арх.
											Розроб.	Борщук С.О.			
															Арх.
Зм.	Арх.	Нероумента	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	Нероумента	Підпис	Дата	Начальн.					

Карта ескізів

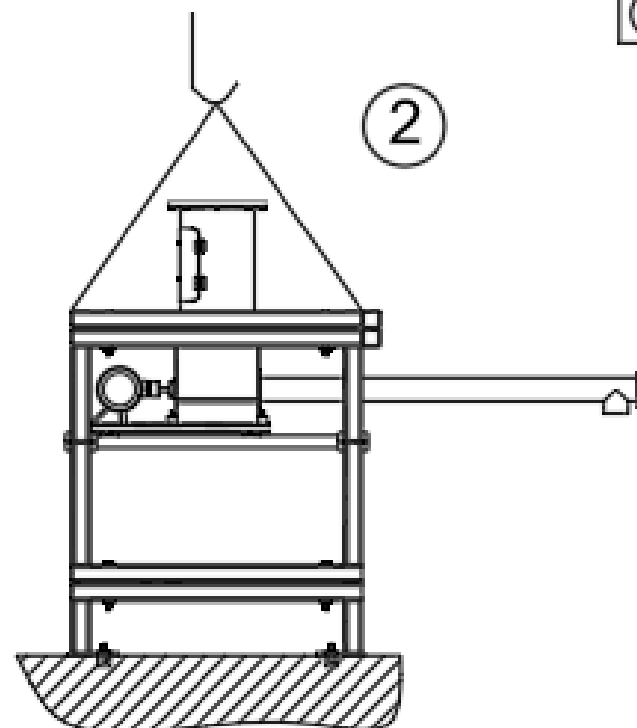
Номер операції

① 1,2

② 3,4,5



1



2

Розроб.

Вельганок Д.М.

Арх.

Розроб.

Борщук С.О.

Архив

Эл.

Архив

Надокумента

Підпис

Дата

Эл.

Архив

Надокумента

Підпис

Дата

Н.контр

Карта ескізів

3	6
---	---

④	7
---	---



Разработ	Вельганаков Д.М.			Арх.
Разработ	Борщик С.О.			
				Архив
Н.контр				

Инв.№д убл		Підпис і дата		Взам.ін в. №		Инв. № дуб л.		Підпис і дата		ГОСТ 3.1407 – 74 Форма 1а									
				Операційна карта слюсарних, слюсарно-складальних та електромонтажних робіт															
Номер цеха	Номер	Номер	Номер	Найменування операції						Шнековий екструдер									
Номер	Зміст переходу						Технологічний режим		К - т ь	Пристосуван ня (код та найменування)		Інструмент (код, та найменуванн я)		Т о , х в					
1	Застропити раму 7, підняти краном та встановити на фундамент						Рама 7		1	Кран підйомний		Рівень							
	Перевірити горизонтальність і вертикальність конструкції									Q=3т									
										Трос а=20мм									
2	Закріпити раму 7 екструдера до фундаменту.						Рама 7			Кран підйомний		Ключі S=24-36							
	Встановити болти, шайби та гайки, затягнути з необхідним зусиллям						Болт 18		12	Q=3т									
							Гайка 19		12	Трос а=20мм									
							Шайба 20		12										
							Гровер 21		12										
							Фундаментальний												
							Болт 29		12										
3	Застропити та підняти електродвигун 2, встановити його на опорну плиту 12						Електродвигун 2			Кран підйомний		Ключі S=24							
											Розроб..								
											Перевір								

														Ар к.
														1
	Ви м.	Ар к.	№	Підп ис	Да та	В и	Ар к.	№	Підпис ь	Дата	Н. Контр.			

переходу

уч-ка
дуб-та
операції

Инв.№д уб л.	Підпись і дата	Вза.інв №	Инв. № дуб л.	Підпись і дата

ГОСТ 3.1407 – 74 Форма 1а

Номер	Зміст переходу	Технологічний режим	К-ть	Пристосування (код, та найменування)	Інструмент (код, та найменування)	Т о , х в
				Q=3т		
				Трос а=20мм		
4	Закріпити електродвигун 2 на опорній плиті 12 болтами з шайбами	Болт 14	4		Ключі S=24	
	та гайками	Гайка 15	4			
		Шайба 16	4			
		Гровер 17	4			
5	Встановити шнек 10 у корпус шнека 1, сумістити з підшипниковими	Шнек 10	1	Q=3т		
	вузлами 8 та зафіксувати	Корпус 1	1	Трос а=20мм		
		Підшипниковий вузол 8	2			
6	Закріпити підшипникові вузли 8 болтами 18 з гайками та шайбами	Болт 18	4		Ключі S=24	
	Перевірити вільне обертання шнека	Гайка 19	4			
		Шайба 20	4			
		Гровер 21	4			
7	З'єднати вал електродвигуна 2 зі шнеком 10 за допомогою муфти 3	Муфта 3	1		Ключі S= 24	
	та фланців шнекового з'єднання 13, затягнути кріплення	Фланець	1			

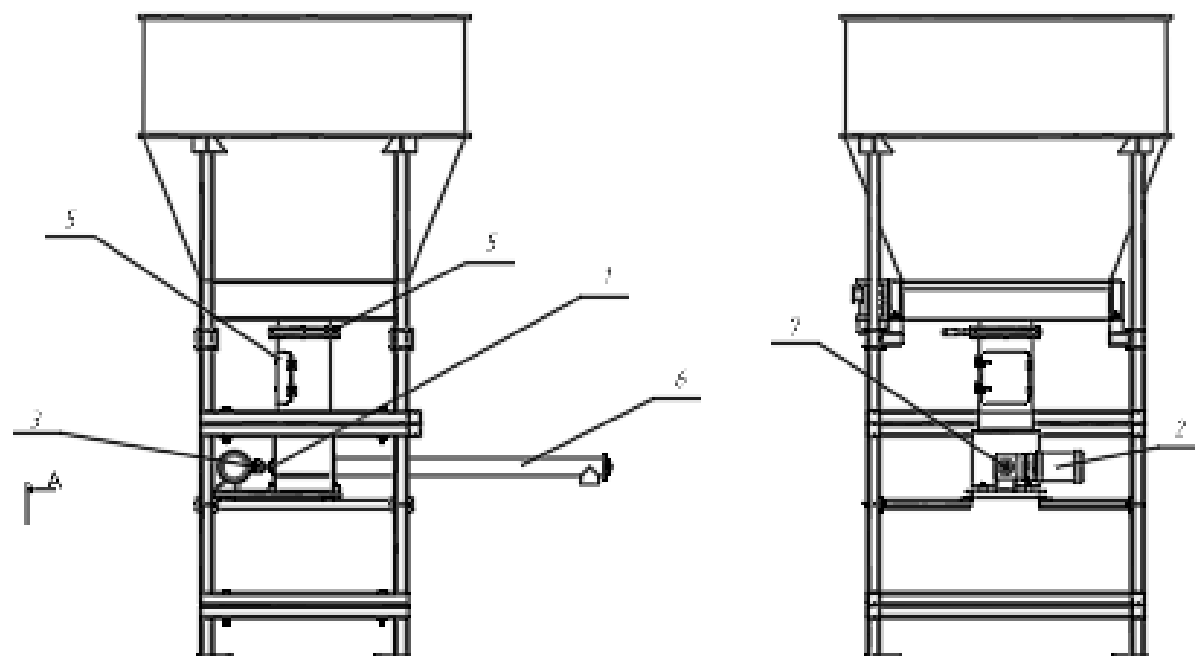
																Ар к.
																2
	Ви м.	Ар к.	№ докум.	Підпис ь	Да та	Ви м.	Ар к.	№ докум.	Підпи сь	Дата	Ви м.	Лис т	№ докум.	Пі дп	Дата	

переходу

[illegible]

																3
<i>Ви м.</i>	<i>Ар к.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис ь</i>	<i>Да та</i>	<i>Ви м.</i>	<i>Ар к.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Ви м.</i>	<i>Лис т</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп ис</i>	<i>Дата</i>		

переходу



ЭБ 06-1001001201-01.01.01	Лист 1	Изм.		

Схема сборки

3.3 Карта змащення

Таблиця 3.1 – Таблиця змащування

№ п/ п	Змащувані місця	Кількість точок змащуванн я	Змазка	Метод змащуванн я	Періодичніст ь
1	Підшипникові вузли шнека	2	Літол-24	Набивання через маслянку	1 раз на 1–2 місяці
2	Підшипники електродвигуна	2	Згідно паспорта двигуна	Набивання	1 раз на 6 місяців
3	Муфта з'єднувальна (за наявності еластичних елементів)	1	Літол-24	Обмазуванн я	1 раз на 3 місяці
4	Опори вала шнека	2	Літол-24	Набивання	1 раз на 1–2 місяці
5	Напрямні та рухомі елементи передніх дверцят	2	Солідол УС-2	Обмазуванн я	1 раз на місяць
6	Контактна поверхня шнека та корпусу (при техобслуговуванн і)	1	Тонкий шар технічног о мастила	Обмазуванн я	Під час розбирання
7	Підшипники веденого шківa	2	Літол-24	Набивання	1 раз на 2 місяці

4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Стартап-проект LimePack Pro передбачає створення модернізованої технологічної лінії для фасування негашеного вапна (CaO) з використанням удосконаленого шнекового дозатора пелюсткового типу. Основна ідея полягає у підвищенні точності дозування, зменшенні пиловиділення, підвищенні зносостійкості робочих органів і автоматизації процесу пакування.

Комерціалізація ідеї передбачається шляхом серійного виробництва та продажу фасувальних ліній LimePack Pro для промислових підприємств, що займаються виробництвом і фасуванням негашеного вапна, сухих будівельних сумішей та сипких матеріалів. Додатково проєкт орієнтований на постачання обладнання “під ключ”, що включає інженерну адаптацію під умови замовника, пусконаладжувальні роботи та сервісну підтримку. Такий підхід дозволяє поєднати виробництво обладнання з інжиніринговими послугами та підвищити комерційну привабливість стартапу.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована лінія пакування негашеного вапна з модернізованим шнековим дозатором	Підприємства будівельних матеріалів	Підвищення точності дозування, зменшення втрат продукції
Вбудований пелюстковий шнек із регульованим зазором	Хімічні підприємства	Стабільна подача матеріалу, зниження зносу обладнання
Герметизована зона дозування та фасування	Виробництво сухих сумішей	Зменшення пиловиділення, покращення умов праці

Стартап-проект має назву LimePack Pro. Варіант логотипу проекту можна побачити на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Логотип LimePack Pro

На основі аналізу конструктивних рішень існуючих шнекових дозаторів, а також результатів вивчення сучасних технічних рішень, виконано порівняльну оцінку запропонованого стартап-проекту з товарами-аналогами та товарами-замінниками (табл. 4.1.2). Це дозволило визначити сильні, слабкі та нейтральні сторони проекту, що є підґрунтям для подальшого формування його конкурентоспроможності.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики	Мій проєкт — LimePack Pro	Конкурент 1 (китайські OEM)	Конкурент 2 (європейські Haver/GEA /Ulma)	Конкурент 3 (застарілі лінії)	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
Енергоефективність	Висока	Середня	Висока	Низька	—	На рівні європейських	Зниження споживання енергії

Продуктивність шнекового дозатора	30–55 т/год	20–35 т/год	50–65 т/год	10–20 т/год	—	Нижча за топ-моделі ЄС	Вища, ніж у китайських
Точність дозування	±1,0 %	±2,5 %	±1,0 %	±4,0 %	—	Відповідає європейським	Висока стабільність маси порції
Рівномірність подачі матеріалу	Висока	Середня	Висока	Низька	—	На рівні кращих аналогів	Оптимізована геометрія шнека
Пилозахищеність вузлів	Дуже висока	Низька	Висока	Дуже низька	—	—	Герметизована камера дозування
Зносостійкість шнека	Підвищена (+35% ресурсу)	Низька	Висока	Дуже низька	—	—	Застосування твердосплавних накладок
Цифровий контроль і діагностика	Є (LimeControl™)	Немає	Частково	Немає	—	—	Повна автоматизація процесу
Складність обслуговування	Низька	Середня	Середня	Висока	—	Середній рівень ринку	Простий доступ до вузлів
Вартість обладнання	Середня	Низька	Дуже висока	Низька	—	—	Краще співвідношення

							ціна/можливість
Універсальність (робота з різною фракцією вапна)	Висока	Середня	Висока	Низька	—	Відповідає топ-аналогам	Стабільність при зміні вологості та фракції

Сильні сторони стартап-проекту LimePack Pro:

- Висока точність дозування ($\pm 1,0$ %), що відповідає рівню провідних європейських виробників.
- Значно краща пилозахищеність вузлів у порівнянні з китайськими та застарілими лініями.
- Підвищена зносостійкість шнека (+35 % ресурсу) завдяки конструктивній модернізації.
- Повна автоматизація процесу фасування та цифровий контроль параметрів (LimeControl™).
- Оптимальне співвідношення вартості та технічних можливостей у порівнянні з європейськими аналогами.
- Висока універсальність роботи з різною фракцією та вологістю негашеного вапна.

Слабкі сторони стартап-проекту:

- Продуктивність нижча, ніж у топових європейських моделей Haver & Boecker та GEA.
- Вартість вища за китайські OEM-лінії, що може бути критичною для малих підприємств.
- Менша впізнаваність бренду порівняно з міжнародними виробниками.

Визначені сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї стартап-проекту підтверджують конкурентоспроможність розробленої фасувальної лінії на ринку обладнання для фасування сипких матеріалів.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

З метою оцінювання можливості практичної реалізації стартап-проекту LimePack Pro було проведено технологічний аудит. Його завданням є визначення реальності впровадження запропонованого технічного рішення з огляду на наявні виробничі технології, рівень їх доступності та необхідність додаткових розробок. На основі отриманих результатів формуємо обґрунтований вибір оптимальної технології реалізації проекту (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Комерціалізація через серійне виготовлення та адаптацію лінії LimePack Pro під конкретні виробничі умови	Високоточне фрезерування корпусів дозатора, токарна обробка шнекових валів	Наявні	Доступні
2	Виготовлення деталей складної геометрії (шнекові лопаті, напрямні, елементи герметизації)	3D-друк із технічних полімерів та металів	Наявні, потребують адаптації	Доступні через партнерські виробничі підприємства
3	Підвищення зносостійкості робочих	Лазерне наплавлення зносостійких матеріалів	Наявні, потребують доопрацювання	Доступні

	поверхонь шнека і дозувальної камери			
4	Забезпечення необхідних механічних властивостей валів та робочих елементів	Високотемпературна термообробка і загартування	Наявна	Доступна
5	Інтеграція цифрових систем контролю і діагностики	ПЛК-контролери, тензодатчики, датчики рівня, промислові мережі	Наявні	Доступні

Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: комплексна технологія виготовлення з використанням стандартних машинобудівних процесів та адаптованих рішень для пилонепроникних вузлів і автоматизованого контролю дозування.

Для обґрунтування доцільності виведення проєкту LimePack Pro на ринок виконаємо попередній аналіз стану галузевого ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10–15 великих виробників
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	≈ 1,5–2,0 млрд грн/рік
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Високі інвестиції, необхідність сертифікації
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги ДСТУ, ISO, директиви ЄС
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	18–25 %

Аналіз показав, що ринок обладнання для фасування негашеного вапна є привабливим для входження, оскільки характеризується стабільним попитом та позитивною динамікою розвитку. Після цього визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (сегменти ринку)	Відмінності у поведінці потенційних клієнтів	Вимоги споживачів до товару (до продукції / до постачальника)
1	Автоматизація фасування негашеного вапна	Вапняні заводи та підприємства з виробництва будівельних сумішей	Орієнтація на надійність та безперервну роботу	До продукції: стабільна точність дозування, пилозахищеність. До постачальника: сервісна підтримка, навчання персоналу
2	Зменшення втрат матеріалу під час пакування	Підприємства будівельних матеріалів середнього масштабу	Чутливість до витрат та окупності обладнання	До продукції: мінімальні втрати матеріалу, простота обслуговування. До постачальника: гарантія, доступні запчастини
3	Підвищення продуктивності лінії	Великі промислові комбінати	Орієнтація на максимальну швидкість лінії	До продукції: висока пропускна здатність, стабільність роботи. До постачальника: швидке реагування сервісу
4	Підвищення безпеки персоналу	Підприємства з підвищеними	Орієнтація на відповідність	До продукції: герметичність, аспіраційні системи. До

		вимогами до охорони праці	стандартам безпеки	постачальника: сертифікація, відповідність ДСТУ та ISO
5	Зменшення впливу людського фактора	Автоматизовані виробничі комплекси	Перевага рішень із високою автоматизацією	До продукції: інтеграція з АСУТП. До постачальника: програмна підтримка та модернізація

Після визначення потенційних груп клієнтів було проведено аналіз зовнішнього ринкового середовища. Для цього сформовано перелік факторів, що можуть перешкоджати реалізації проекту (табл. 4.6) та факторів, що сприяють впровадженню проєкту (табл. 4.7).

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока запиленість виробничого середовища	Прискорений знос вузлів дозатора	Використання зносостійких матеріалів та герметизованих вузлів
2	Конкуренція з імпортним обладнанням	Наявність дешевших китайських аналогів	Акцент на якості, сервісі та адаптації під клієнта
3	Нестабільність цін на енергоресурси	Зростання експлуатаційних витрат	Впровадження енергоефективних приводів і режимів роботи
4	Жорсткі вимоги екологічного контролю	Ризик штрафів та обмежень виробництва	Інтеграція аспіраційних систем і фільтрів

5	Обмежений досвід автоматизації у клієнтів	Складність експлуатації обладнання	Навчання персоналу та сервісний супровід
6	Воєнні дії на території країни	Порушення виробничих процесів і збуту	Розміщення виробництва у відносно безпечних регіонах
7	Енергетична нестабільність	Відключення електроенергії, простої	Можливість роботи з резервним живленням
8	Порушення логістичних ланцюгів	Затримки постачання комплектуючих	Диверсифікація постачальників
9	Процеси мобілізації	Дефіцит кваліфікованого персоналу	Спрощення конструкції, автоматизація
10	Валютні коливання	Подорожчання імпортованих компонентів	Максимальна локалізація виробництва

Загрози для стартап-проєкту мають системний характер і охоплюють технічні, економічні, логістичні та геополітичні чинники. Найбільш критичними є вплив воєнних дій, енергетична нестабільність, порушення логістики та дефіцит кадрового потенціалу внаслідок мобілізаційних процесів. Для мінімізації ризиків стартап орієнтується на підвищення автономності обладнання, локалізацію виробництва, застосування енергоефективних рішень та створення гнучких сервісних моделей обслуговування клієнтів.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання будівельного ринку	Підвищення попиту на будматеріали	Масштабування виробництва
2	Державні програми підтримки промисловості	Компенсація інвестицій, гранти	Участь у державних та міжнародних програмах
3	Потреба в імпортозаміщенні	Інтерес до українського обладнання	Локалізація виробництва
4	Тренд на автоматизацію	Перехід на автоматичні лінії	Розвиток цифрових модулів LimeControl™
5	Посилення вимог до охорони праці	Попит на безпечні рішення	Позиціонування як безпечного виробника
6	Воєнна релокація підприємств	Створення нових виробничих майданчиків	Постачання обладнання “під ключ”
7	Енергетична криза	Попит на енергоефективні машини	Акцент на низькому споживанні енергії
8	Скорочення імпорту обладнання	Менше іноземних конкурентів	Заміщення імпортних ліній
9	Післявоєнна відбудова	Масовий попит на будматеріали	Підготовка до зростання замовлень
10	Підтримка локальних виробників	Пріоритет українських компаній	Формування партнерств з клієнтами

Можливості розвитку стартап-проєкту формуються як під впливом технологічних трендів (автоматизація, енергоефективність, безпечні

виробництва), так і макроекономічних та геополітичних чинників (імпортозаміщення, релокація підприємств, післявоєнна відбудова). Реалізація цих можливостей дозволяє стартапу зміцнити конкурентні переваги, розширити ринкову присутність, запропонувати комплексні інженерні рішення та закласти основу для масштабування виробництва в середньо- та довгостроковій перспективі.

Наступним етапом є оцінювання рівня конкуренції на ринку обладнання для фасування сипких лужних матеріалів. Для цього проведено ступеневий аналіз характеру конкурентного середовища (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
1. Тип конкуренції: монополістична	На ринку фасувального та пакувального обладнання присутня значна кількість виробників; продукція виконує схожі функції, але відрізняється рівнем автоматизації, точністю дозування, пилозахищеністю та сервісним супроводом	Необхідність диференціації LimePack Pro за технічними параметрами (точність, герметизація, енергоефективність) і післяпродажним сервісом
2. Рівень конкурентної боротьби: національний та частково міжнародний	Українські виробники конкурують між собою, при цьому на ринку присутні імпортні аналоги (китайські OEM та європейські бренди)	Розвиток дилерської та сервісної мережі в Україні, позиціонування як вітчизняного обладнання з кращою адаптацією та короткими термінами обслуговування

3. Галузева ознака: внутрішньогалузева конкуренція	Конкуренція відбувається між підприємствами, що спеціалізуються на виготовленні пакувальних машин і дозувальних систем для сипких матеріалів	Постійне удосконалення конструкції, модернізація вузлів, підвищення ресурсу обладнання
4. Види конкуренції: товарно-родова, товарно-видова та між бажаннями споживача	Товарно-родова – між різними типами пакувальних машин; товарно-видова – між моделями Flow-Pack; між бажаннями – прагнення клієнта зменшити витрати, підвищити якість пакування і безпеку виробництва	Формування унікальних технічних переваг, демонстрація економічного ефекту та зниження експлуатаційних витрат
5. Характер конкурентних переваг: нецінова з елементами цінової	Основна боротьба ведеться за рахунок якості пакування, стабільності роботи, пилозахищеності та автоматизації; ціна залишається важливим, але не визначальним фактором	Інвестиції у надійність вузлів, автоматизацію процесів, підвищення точності дозування при збереженні помірної ціни
6. Інтенсивність конкуренції: марочна	На ринку присутні відомі міжнародні бренди, тоді як локальні виробники лише формують власну репутацію	Формування бренду, акцент на стабільній якості, сервісі та довгостроковій співпраці з клієнтами

Результати ступеневого аналізу свідчать, що ринок горизонтальних пакувальних машин типу Flow-Pack характеризується монополістичною конкуренцією з помірно високою інтенсивністю, поєднанням національної та міжнародної конкурентної боротьби, а також переважанням нецінових факторів у формуванні конкурентних переваг. Для стартап-проєкту ключовими

чинниками успішного виходу на ринок є диференціація продукту за технічними характеристиками, орієнтація на енергоефективність, пилозахищеність і стабільність роботи, а також розвиток сервісної підтримки та формування власного бренду. У поєднанні з тенденціями імпортозаміщення та зростанням попиту на автоматизовані рішення це створює передумови для зміцнення конкурентних позицій стартапу на внутрішньому ринку та подальшого розширення його присутності.

Після попереднього аналізу конкурентного середовища доцільно здійснити більш детальну оцінку умов конкуренції в галузі за моделлю п'яти сил М. Портера (табл. 4.9). Такий підхід дозволяє визначити інтенсивність конкурентної боротьби, ступінь впливу постачальників і споживачів, загрози з боку товарів-замінників та бар'єри входу на ринок. Отримані результати використовуються для формування вимог до конкурентоспроможності стартап-проєкту LimePack Pro.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за моделлю М. Портера

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Характеристика	Імпортні лінії фасування сипких матеріалів (Китай, ЄС), локальні виробники простих	Нові інжинірингові компанії, що можуть вийти на ринок автоматизованих ліній	Постачальники електродвигунів, підшипників, сталі, датчиків	Виробники вапна, цементу, сухих будівельних сумішей	Ручні та напівавтоматичні фасувальні системи

	фасувальних систем				
Бар'єри входу	Високі інвестиції в обладнання, потреба в досвіді та сертифікації	Складність розробки дозатора для агресивного середовища	Обмежена кількість якісних постачальників в вузлів	Високі вимоги до якості та безпеки	Низька ціна альтернативних рішень
Фактори сили	Висока технологічна оснащеність конкурентів	Можливість залучення іноземного капіталу	Можуть впливати на строки постачання	Можуть диктувати вимоги до ціни та сервісу	Простота впровадження замінників
Висновки	Конкуренція висока	Існують можливості входу на ринок, але з часовим лагом 1–3 роки для нових гравців	Постачальники частково диктують умови (ціни, строки)	Клієнти мають помірну силу впливу	Замінники обмежують верхній рівень ціни

На основі результатів аналізу моделі п'яти сил М. Портера, а також із врахуванням технічних характеристик проєкту, вимог споживачів та факторів маркетингового середовища, було сформовано перелік ключових факторів конкурентоспроможності (табл. 4.10). Вони відображають параметри, які є вирішальними для вибору обладнання клієнтами.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування значущості
1	Точність дозування	Визначає якість фасування та мінімізує перевитрати негашеного вапна
2	Надійність роботи в агресивному середовищі	Вапно створює високу абразивність і запиленість, що впливає на ресурс вузлів
3	Енергоефективність	Впливає на собівартість експлуатації обладнання
4	Рівень автоматизації	Дає можливість інтеграції у сучасні виробничі лінії
5	Безпека персоналу	Герметичність і аспірація впливають на відповідність стандартам охорони праці
6	Гнучкість налаштувань	Дає можливість працювати з різними форматами мішків і масами дозування
7	Сервісна підтримка	Зменшує простої обладнання та підвищує довіру клієнтів
8	Вартість володіння	Важлива для середніх та великих виробників

Наступним етапом проведено порівняльну оцінку сильних та слабких сторін стартап-проєкту LimePack Pro у зіставленні з основними конкурентними рішеннями, представленими на ринку пакувального обладнання для сипких матеріалів. Аналіз виконано за визначеними факторами конкурентоспроможності шляхом рейтингового порівняння конкурентів відносно LimePack Pro, який прийнято за нульову точку відліку (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Китайські ОЕМ	Haver	GEA
1	Точність дозування	–2	+1	–3

2	Надійність в агресивному (пиловому) середовищі	-2	+1	-3
3	Енергоефективність	-1	+1	-2
4	Рівень автоматизації	-2	+2	-3
5	Безпека експлуатації	-1	+1	-2
6	Гнучкість технологічних налаштувань	-1	+2	-2
7	Сервісна доступність в Україні	-1	-2	+1
8	Вартість володіння (ціна + експлуатація)	+1	-2	-1

Сильні сторони проєкту LimePack Pro:

- Вища точність дозування та стабільність роботи порівняно з китайськими OEM-аналогами.
- Краща адаптація до пилового та абразивного середовища, ніж у застарілих пакувальних ліній.
- Оптимальне співвідношення вартості володіння та рівня автоматизації.
- Вища сервісна доступність на внутрішньому ринку порівняно з європейськими виробниками.
- Достатній рівень енергоефективності та безпеки експлуатації для сучасних виробничих умов.

Слабкі сторони проєкту LimePack Pro:

- Поступання європейським виробникам за рівнем автоматизації та гнучкості налаштувань.
- Менш відомий бренд у порівнянні з міжнародними лідерами ринку.

- Обмежений досвід масштабної промислової експлуатації на старті комерціалізації.

Фінальним етапом аналізу ринкових можливостей впровадження стартап-проєкту є складання SWOT-матриці (табл. 4.12), що дозволяє комплексно оцінити внутрішні сильні та слабкі сторони LimePack Pro, а також зовнішні можливості й загрози ринкового середовища. SWOT-аналіз сформовано на основі результатів порівняльної оцінки конкурентоспроможності (табл. 4.13), аналізу факторів загроз і можливостей маркетингового середовища та умов конкуренції на ринку.

Таблиця 4.12 – SWOT-аналіз

Сильні сторони (Strengths, S): • Оптимальне співвідношення продуктивності та вартості серед аналогів українського ринку • Висока точність дозування негашеного вапна (до $\pm 1-1,5$ %) • Стабільна робота шнекового дозатора в умовах високої запиленості • Підвищена зносостійкість робочих органів завдяки використанню твердосплавних накладок • Зменшення коливань подачі матеріалу (до 3 %) • Адаптивна PLC-система керування з можливістю цифрової діагностики • Високий рівень пилозахищеності вузлів дозування • Низька енергозатратність у порівнянні із застарілими лініями • Простота доступу до основних вузлів для обслуговування • Гнучкість налаштувань під різну фракцію та вологість матеріалу	Слабкі сторони (Weaknesses, W): • Потреба у значних початкових інвестиціях для запуску серійного виробництва • Менша відомість бренду порівняно з міжнародними виробниками • Поступання топовим європейським моделям за рівнем «преміальної» автоматизації • Обмежена сервісна та дилерська мережа на початковому етапі • Необхідність навчання персоналу замовника роботі з автоматизованою системою • Триваліший цикл укладання перших контрактів з промисловими клієнтами • Залежність від постачання окремих комплектуючих • Обмежений досвід масштабної експлуатації на старті комерціалізації
--	--

Можливості (Opportunities, O): • Зростання попиту на автоматизовані пакувальні-дозувальні системи • Розширення малого та середнього виробництва будівельних матеріалів • Модернізація застарілих фасувальних ліній на промислових підприємствах • Можливість виходу на суміжні ринки (цемент, гіпс, сухі суміші) • Державні та міжнародні програми підтримки промислової модернізації • Низька кількість локальних високоточних аналогів на внутрішньому ринку • Зростання інтересу підприємств до автоматизації та цифровізації • Можливість імпортозаміщення обладнання європейського походження • Поширення дрібних і середніх виробників будматеріалів • Попит на енергоефективне та екологічно безпечне обладнання • Релокація підприємств у безпечніші регіони України • Підсилення кооперації між українськими виробниками • Експортні можливості після стабілізації ситуації в країні	Загрози (Threats, T): • Висока цінова конкуренція з дешевими імпортними (китайськими) аналогами • Підвищення вартості комплектуючих та ризик їх дефіциту • Складність виходу на великих промислових замовників • Технічні ризики при роботі з матеріалами змінної фракції • Економічна нестабільність та зниження інвестиційної активності • Ускладнення процедур сертифікації обладнання • Військові ризики та загрози безпеці виробничої діяльності • Нестабільність енергетичної системи • Мобілізація та кадровий дефіцит кваліфікованого персоналу • Порушення логістики та затримки імпортних поставок • Коливання валютних курсів • Ризик копіювання технічних рішень конкурентами
---	--

Проведений SWOT-аналіз свідчить, що стартап-проект має значний потенціал комерціалізації на українському ринку пакувального обладнання для сипких матеріалів. Поєднання високої точності дозування, адаптації до агресивних умов експлуатації та помірної вартості володіння створює передумови для успішної конкуренції з імпортними та застарілими рішеннями. За умови поступового усунення слабких сторін і ефективного використання

ринкових можливостей проєкт здатний зайняти стійку позицію на національному ринку з перспективою подальшого розширення. На основі отриманих результатів SWOT-аналізу було сформовано кілька альтернатив ринкової поведінки стартап-проєкту. Ці альтернативи базуються на різних сценаріях залучення ресурсів, темпах виходу на ринок та ступені ризику. Подальший аналіз передбачає оцінювання ймовірності отримання необхідних ресурсів та строків реалізації кожної альтернативи.

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки (комплекс заходів)	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Поступовий вихід на ринок через пілотні проєкти на локальних підприємствах із подальшим масштабуванням	Висока	6–12 місяців
2	Агресивний вихід на національний ринок через партнерство з великими інжиніринговими компаніями	Середня	12–24 місяці
3	Орієнтація на експортні ринки через участь у міжнародних виставках та тендерах	Низька	18–36 місяців

За результатами порівняльного аналізу найбільш доцільною для реалізації проєкту LimePack Pro є альтернатива №1 – поступовий вихід на ринок через пілотні проєкти. Даний варіант характеризується найвищою ймовірністю отримання необхідних ресурсів та найменшими строками впровадження, що знижує загальні ризики проєкту та дозволяє адаптувати продукт до реальних умов експлуатації.

4.3 Розроблення ринкової стратегії проєкту

На основі попереднього аналізу попиту, конкурентного середовища та характеристик цільових клієнтів (табл. 4.14) було здійснено сегментацію ринку з метою визначення найбільш перспективних груп споживачів для стартап-проєкту. За результатами оцінки готовності споживачів, рівня конкуренції та бар'єрів входу сформовано таблицю вибору цільових сегментів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит у сегменті	Інтенсивність конкуренції	Простота входу у сегмент
1	Вапняні заводи та комбінати	Висока	Високий	Середня	Середня
2	Цементні підприємства	Висока	Середній	Висока	Низька
3	Будівельні сумішеві заводи	Середня	Середній	Середня	Середня
4	Агропідприємства (вапнування ґрунтів)	Середня	Низько–середній	Низька	Висока

Основними цільовими сегментами для проєкту LimePack Pro обрано вапняні заводи та підприємства будівельних сумішей. Стратегія охоплення ринку: диференційований маркетинг (робота з декількома сегментами з адаптованими пропозиціями).

На підставі обраної стратегії охоплення ринку та результатів аналізу конкурентних переваг LimePack Pro сформовано базову стратегію розвитку проєкту (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Характер конкурентної переваги	Базова стратегія розвитку
1	Розробка та впровадження лінії фасування негашеного вапна з модернізованим шнековим дозатором	Диференційований маркетинг	Точність дозування ($\pm 1-1,5\%$); стабільність подачі матеріалу в умовах високої запиленості; зносостійкість робочих органів; пилозахисність вузлів	Перевага за технічною якістю процесу дозування та експлуатаційною надійністю	Стратегія диференціації
2	Організація серійного виробництва обладнання	Диференційований маркетинг	Повторюваність параметрів якості виробів; модульність конструкції; адаптація під вимоги замовника; простота технічного обслуговування	Перевага за стабільністю якості, гнучкістю конфігурації та зручністю експлуатації	Елементи стратегії спеціалізації
3	Розширення функціоналу обладнання (дистанційний моніторинг, автоматизація)	Диференційований маркетинг	Цифровий контроль параметрів дозування; PLC-керування; сенсорний моніторинг стану	Перевага за керованістю процесу, інформаційною прозорістю та	Стратегія інноваційного розвитку

			вузлів; автоматична діагностика	інноваційністю	
--	--	--	---------------------------------	----------------	--

Аналіз узгодженої системи стратегічних рішень, наведений у таблиці 4.3.2, дозволяє зробити висновок, що для стартап-проєкту найбільш доцільною є стратегія диференціації з елементами спеціалізації та інноваційного розвитку. Її реалізація забезпечує формування стійкої конкурентної переваги у вузькому сегменті ринку — автоматизованому фасуванні та дозуванні негашеного вапна в умовах підвищеної запиленості та абразивного впливу матеріалу. Кожен із цих факторів безпосередньо впливає на ефективність експлуатації обладнання та є критично важливим для підприємств будівельної галузі.

Поєднання технічних рішень (підвищення точності та стабільності дозування, оптимізація конструкції для роботи в агресивному середовищі), організаційних заходів (серійне виробництво, модульність, сервісна адаптація) та цифрових інструментів (PLC-керування, автоматична діагностика, дистанційний моніторинг) формує цілісну модель розвитку стартапу.

Таким чином, обрана система стратегічних рішень є внутрішньо узгодженою, відповідає ринковим умовам і дозволяє стартап-проєкту цілеспрямовано розвивати власні сильні сторони, ефективно використовувати ринкові можливості та мінімізувати вплив зовнішніх загроз.

З урахуванням стану конкуренції, рівня технологічної новизни проєкту та можливостей підприємства визначено базову стратегію конкурентної поведінки LimePack Pro (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Визначення стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку	Чи буде компанія шукати	Чи буде копіювання характеристик	Основні характеристики, які не	Стратегія конкурентної поведінки
---	---------------------------------------	-------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------

		нових споживачів або перехоплюва ти клієнтів у конкурентів	ик конкурентів	копіюються, а вдосконалюютьс я	
1	Частково: технологічно вдосконалене рішення на базі існуючих ліній	Перехоплення клієнтів у виробників застарілих ліній	Ні	Точність шнекового дозування; пилозахист; ресурс вузлів	Стратегія виклику лідера
2	Ні (ринок існує)	Пошук нових підприємств, які модернізують виробництво	Частково	Автоматизація процесу; цифровий контроль; енергоефективніс ть	Комбінована стратегія
3	Так (у частині цифровізації процесу)	Формування нового попиту на «розумні» лінії фасування	Ні	Інтеграція Smart- систем; адаптивне керування подачею	Елементи стратегії лідера

На основі результатів аналізу вимог споживачів (табл. 4.1.5), обраної базової стратегії розвитку стартап-проєкту (табл. 4.1.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.1.16) було сформовано систему позиціонування проєкту (табл. 4.1.17). Вона спрямована на створення у свідомості цільових споживачів чіткої ринкової позиції продукту як високотехнологічного, надійного та адаптивного рішення для фасування негашеного вапна.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключові)
1	Висока точність дозування негашеного вапна	Стратегія диференціації	Модернізований шнековий дозатор з адаптивною подачею	Точність, стабільність, надійність
2	Стійкість обладнання до агресивного пилового середовища	Стратегія диференціації	Пилозахищена конструкція та зносостійкі матеріали	Міцність, захист, довговічність
3	Мінімізація простоїв та технічного обслуговування	Стратегія спеціалізації	Модульна конструкція та швидкозмінні вузли	Зручність, швидкість, сервісність
4	Висока автоматизація процесу фасування	Стратегія інноваційного розвитку	Інтеграція PLC-систем та цифрових датчиків	Інтелектуальність, контроль, ефективність
5	Гнучкість налаштування під різні формати упаковки	Комбінована стратегія	Програмна адаптація режимів та переналаштування без демонтажу	Гнучкість, адаптивність, універсальність

Таким чином, розроблена стратегія позиціонування стартап-проєкту формує у споживачів стійку асоціацію продукту з високою точністю дозування, надійністю роботи в складних умовах та сучасним рівнем автоматизації. Узгоджені рішення щодо ринкової поведінки створюють основу для ефективного виведення продукту на ринок та забезпечують передумови для

формування конкурентних переваг у сегменті промислових ліній фасування сипких матеріалів.

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

На основі результатів попереднього аналізу конкурентоспроможності, технічних та економічних характеристик стартап-проекту було сформовано маркетингову концепцію потенційного товару. Вона ґрунтується на поєднанні функціональної ефективності обладнання, зниженні витрат експлуатації та підвищенні стабільності технологічного процесу пакування негашеного вапна. Узагальнення ключових переваг концепції товару наведено в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Точне дозування сипкого матеріалу	Зменшення втрат сировини та стабільна маса пакета	Адаптивна система дозування Smart-Tension™
2	Надійна робота в агресивному пиловому середовищі	Підвищення ресурсу обладнання	Пилозахищені вузли та зносостійкі покриття
3	Висока швидкість пакування	Зростання продуктивності лінії	Оптимізована кінематика подавання плівки
4	Простота технічного обслуговування	Скорочення простоїв у роботі	Модульна конструкція та швидкозмінні вузли
5	Автоматизація та контроль процесу	Зменшення впливу людського фактору	PLC-керування та цифрова діагностика в режимі реального часу

Після визначення ключових переваг концепції товару було сформовано трирівневу модель продукту, яка дозволяє комплексно описати його як рішення для споживача: від базової ідеї до реальних характеристик та післяпродажної підтримки. Такий підхід забезпечує чітке позиціонування товару на ринку та формує додаткову споживчу цінність. Результати подано в таблиці 4.19.

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Базова потреба: ефективне, безпечне та точне фасування негашеного вапна. Функціональна вигода: зменшення втрат матеріалу та стабільність технологічного процесу. Властивості/характеристики: 1) висока точність дозування; 2) пилозахищене виконання; 3) стабільна робота при високих навантаженнях. Якість: відповідність стандартам безпеки промислового обладнання, заводські випробування вузлів. Пакування: захисна транспортна металева тара та антикорозійне пакування.
II. Товар у реальному виконанні	Марка: стартап-компанія LimeTech + продукт LimePack Pro. Металевий корпус, промислові приводи, PLC-панель керування, цифрові датчики тиску і температури, система Smart-Tension™.
III. Товар із підкріпленням	До продажу: технічні консультації, підбір конфігурації під клієнта, демонстраційні тести. Після продажу: гарантійне та післягарантійне обслуговування, навчання персоналу, сервісна підтримка, постачання запасних частин. Захист від копіювання: авторські технічні рішення (ноу-хау), програмні алгоритми PLC-керування, комплексна інтеграція конструктивних і цифрових рішень.

Наступним етапом формування маркетингової програми є визначення орієнтовних меж ціноутворення продукту. Для цього використано експертний метод оцінювання, що базується на порівнянні рівня цін на товари-аналоги, товари-замінники, а також аналізі фінансових можливостей цільових груп споживачів. Узагальнені результати подано в таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни для LimePack Pro

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на LimePack Pro
1	Низький – спрощені фасувальні машини: 450 000 – 700 000 грн	Середній – вітчизняні промислові пакувальні комплекси: 900 000 – 1 300 000 грн	Середній та високий (будівельні та хімічні підприємства з оборотом від 20 млн грн/рік)	Нижня межа: 850 000 грн (на рівні верхнього сегмента локального ринку) Верхня межа: 1 100 000 грн (премія за підвищену точність і автоматизацію)
2	Середній – напівавтоматичні дозувальні лінії: 700 000 – 1 000 000 грн	Високий – імпортні автоматизовані лінії (Haver, GEA): 1 800 000 – 3 200 000 грн	Середній та високий	Ціновий діапазон: 950 000 – 1 250 000 грн залежно від комплектації (PLC, аспірація, сервісний пакет)
3	Застарілі технологічні рішення: 300 000 – 500 000 грн	Сучасні автоматизовані системи: 1 500 000 – 2 500 000 грн	Середній	Оптимальна ціна позиціонування: 900 000 – 1 050 000 грн, що на 35–50 % нижче імпортних аналогів при

				співставних технічних характеристиках
--	--	--	--	--

Аналіз цін на товари-замінники, аналоги та платоспроможність цільової групи споживачів свідчить, що стартап-проект LimePack Pro доцільно позиціонувати у середньо-преміальному сегменті ринку промислового пакувального обладнання.

Запропонований діапазон ціни 850 000 – 1 250 000 грн забезпечує баланс між доступністю для вітчизняних підприємств та можливістю формування доданої вартості за рахунок підвищеної точності дозування, автоматизації процесу та зносостійкої конструкції. При цьому вартість LimePack Pro залишається істотно нижчою за імпортні автоматизовані лінії (на 35–50 %), що формує чітку конкурентну перевагу в умовах імпортозаміщення. Гнучка цінова політика з диференціацією за рівнем комплектації дозволяє адаптувати пропозицію під фінансові можливості різних категорій споживачів і зменшує бар'єри входу на ринок, що є критично важливим для стартап-проекту на етапі комерціалізації.

На основі аналізу поведінки цільових клієнтів, особливостей промислових закупівель та результатів сегментації ринку було визначено оптимальну систему збуту для стартап-проекту. Під час формування системи збуту враховано необхідність технічних консультацій, індивідуального підбору комплектації та високий рівень відповідальності закупівельних рішень. За результатами цього аналізу обґрунтовано глибину каналу збуту та доцільність залучення посередників (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної	Функції збуту, які має виконувати	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
----------	----------------------------	--------------------------------------	-------------------------	-----------------------------

	поведінки цільових клієнтів	постачальник товару		
1	Раціональна, техніко-економічно обґрунтована	Технічні консультації, підбір конфігурації	Короткий канал (0–1 рівень)	Власна система збуту (прямі продажі)
2	Закупівлі через тендери та комерційні пропозиції	Підготовка ТКП, участь у переговорах	Однорівневий	Власні менеджери з продажу + технічні спеціалісти
3	Орієнтація на надійність постачальника	Гарантійні зобов'язання, сервісні контракти	Короткий	Прямі контракти із замовниками
4	Довгий цикл ухвалення рішення	Будування довіри, демонстраційні випробування	0 рівень	Прямі B2B-продажі без посередників
5	Закупівлі через інтеграторів та підрядників	Технічна координація, адаптація обладнання	1 рівень	Залучення спеціалізованих інжинірингових посередників

З урахуванням обраної стратегії позиціонування стартап-проекту, а також специфіки поведінки цільових клієнтів було розроблено концепцію маркетингових комунікацій. Основний акцент зроблено на раціональних аргументах вибору продукту: економічній ефективності, технологічній надійності та інноваційності конструктивних рішень. Узагальнені елементи концепції наведено в таблиці 4.22.

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки	Канали комунікацій, якими користуютьс	Ключові позиції, обрані для	Завдання рекламного	Концепція рекламного звернення
--------------	----------------------------	--	------------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

	цільових клієнтів	я цільові клієнти	позиціонування	повідомлення	
1	Орієнтація на технічні характеристики	Професійні виставки, галузеві конференції	Точність, надійність, інноваційність	Інформування про технічні переваги	«LimePack Pro — точність і стабільність у кожній упаковці»
2	Прийняття рішень на основі розрахунків	Професійні сайти, e-mail	Економія ресурсів	Формування економічних аргументів	«Зменште втрати та витрати з LimePack Pro»
3	Довіра до експертних рекомендацій	Технічні консультації, вебінари	Технологічне лідерство	Побудова довіри до бренду	«Інженерні рішення нового покоління»
4	Орієнтація на реальні кейси	Кейси, відгуки клієнтів	Практична ефективність	Демонстрація результатів	«Перевірено промисловістю»
5	Консервативність у зміні постачальника	Прямі переговори	Надійність постачальника	Зняття бар'єрів недовіри	«Надійний партнер для вашого виробництва»

У результаті розроблення маркетингової програми стартап-проекту LimePack Pro сформовано комплексну систему рішень щодо товарної політики, збуту, просування та орієнтовного ціноутворення. Програма ґрунтується на потребах цільових споживачів, виявлених конкурентних перевагах продукту, та результатах аналізу ринкового середовища, що забезпечує узгодженість ринкової поведінки стартап-компанії та підвищує ймовірність успішного виведення продукту на ринок.

ВИСНОВКИ:

У ході виконання маркетингового та конкурентного аналізу стартап-проєкту LimePack Pro було встановлено, що проєкт має реальні передумови для успішної ринкової комерціалізації. Аналіз попиту показав наявність стабільної потреби у високоточному обладнанні для фасування негашеного вапна, особливо серед підприємств будівельної, хімічної та гірничо-металургійної галузей. Динаміка розвитку суміжних ринків свідчить про зростання потреби в автоматизації та підвищенні точності дозування, що формує сприятливі умови для виходу продукту на ринок. Попередня оцінка економічної ефективності підтвердила потенційну рентабельність впровадження проєкту.

Проведений аналіз потенційних груп клієнтів засвідчив наявність чітко сформованих цільових сегментів, які характеризуються високою зацікавленістю у модернізованих технологічних рішеннях. Бар'єри входження на ринок оцінюються як середні, оскільки для входу необхідні технічна репутація, сертифікація обладнання та налагодження сервісної інфраструктури, однак ці бар'єри є досяжними для стартап-компанії за умови правильної організації діяльності. Стан конкуренції характеризується як помірно інтенсивний: на ринку присутні як локальні, так і міжнародні виробники, однак модернізований шнековий дозатор та технічні переваги LimePack Pro забезпечують проєкту належний рівень конкурентоспроможності.

За результатами SWOT-аналізу та оцінки альтернатив ринкового впровадження найбільш доцільною визнано стратегію поетапного виходу на ринок через цільові промислові сегменти з прямими B2B-продажами та індивідуальною адаптацією обладнання під потреби замовників. Такий варіант дозволяє мінімізувати ризики, оптимізувати витрати на маркетинг і водночас забезпечити формування позитивної репутації бренду на початковому етапі життєвого циклу проєкту.

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна зробити висновок, що стартап-проект LimePack Pro є комерційно перспективним, має належний рівень технологічної готовності та конкурентні переваги. Впровадження проекту доцільне, оскільки воно відповідає реальним потребам ринку, має сформовані цільові сегменти споживачів і може забезпечити стабільний економічний ефект за умови поетапної та стратегічно обґрунтованої імплементації.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно з чинним законодавством у сфері охорони праці, виробничі приміщення, технологічне обладнання та процеси пакування повинні відповідати нормативним вимогам щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці для персоналу. Особлива увага приділяється виробництвом, пов'язаним з обробкою та транспортуванням хімічно активних сипких матеріалів, до яких належить негашене вапно (CaO).

Тема дипломного проєкту – «Лінія для пакування негашеного вапна з модернізацією шнекового дозатора» – спрямована на підвищення ефективності дозування та стабільності процесу пакування матеріалу, що характеризується підвищеною лужною активністю та пиловиділенням. Оператор здійснює керування процесом з пульта управління, розміщеного в ізольованій зоні на відстані приблизно 3 м від вузла подачі матеріалу. Площа виробничого приміщення становить $S = 700 \text{ м}^2$, а об'єм – $V = 4200 \text{ м}^3$, що забезпечує можливість організації необхідної вентиляції та безпечних проходів.

Усі розроблені вузли та механізми, зокрема модернізований шнековий дозатор, повинні відповідати вимогам безпеки праці, промислової санітарії та ергономіки. Особливістю цього виробництва є необхідність захисту працівників від пилу негашеного вапна, який може спричиняти подразнення слизових оболонок, шкіри та органів дихання.

Розділ з охорони праці охоплює правові, організаційні та технічні заходи, спрямовані на запобігання травматизму, професійним захворюванням і аварійним ситуаціям. До основних шкідливих і небезпечних виробничих факторів належать:

- запиленість повітря робочої зони частинками негашеного вапна;
- підвищений рівень шуму та вібрації від роботи шнекового механізму;
- небезпека контакту з обертовими частинами обладнання;
- ризик опіків та хімічного подразнення при потраплянні вапна на шкіру або в очі;
- фактори пожежної та електричної безпеки.

5.1. Повітря робочої зони

Робота операторів лінії для пакування негашеного вапна належить до категорії фізично напружених, оскільки передбачає постійне обслуговування мобільних та стаціонарних вузлів, контроль роботи шнекового дозатора і виконання допоміжних операцій у двозмінному режимі. У процесі роботи працівники перебувають в умовах підвищеного рівня шуму та значної запиленості повітря робочої зони, що негативно впливає на загальний стан організму.

Характер праці є виснажливим, оскільки енергетичні витрати під час виконання робіт можуть перевищувати 293 Вт, що вимагає організації спеціально обладнаного приміщення для короткочасного відпочинку персоналу, а також дотримання регламентованих перерв у роботі.

У таблиці 5.1, згідно з ГОСТ 12.1.005 – 88, наведені нормативні параметри мікроклімату робочої зони операторів.

Таблиця 5.1– Рекомендовані параметри мікроклімату в робочій зоні операторів

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Важка фізична робота	18–20	40–60	до 0,3
Теплий	Важка фізична робота	20–23	40–60	до 0,5

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005–88, у робочій зоні повинні підтримуватися оптимальні мікрокліматичні параметри: температура, відносна вологість та швидкість руху повітря. У теплий період року необхідний

мікроклімат забезпечується системами загальнообмінної та місцевої вентиляції, а в холодний період – регулюванням температури теплоносія в системі водяного опалення в межах 70–90 °С.

Згідно з вимогами ДСН В.2.5–67:2013, під час експлуатації обладнання для фасування сипких лужних матеріалів особливу увагу необхідно приділяти герметизації робочих зон та транспортувальних каналів. Це дозволяє мінімізувати виділення пилу негашеного вапна в повітря виробничого приміщення та запобігти його негативному впливу на органи дихання та шкіру працівників.

5.2 Освітлення

Виробниче приміщення має природне освітлення за рахунок бокових світлових прорізів у зовнішніх стінах у світлу пору доби. Контроль та обслуговування обладнання лінії фасування, відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018, відноситься до VI розряду зорових робіт, підрозділ «а».

Нормована освітленість робочої зони оператора повинна становити не менше:

$E_{\text{норм}} = 150 \text{ лк.}$

Оскільки виробництво працює у безперервному режимі в три зміни, розрахунок штучного освітлення проводиться для темного періоду доби. Для загального освітлення застосовуються люмінесцентні світильники типу ЛДЦ-40 потужністю 40 Вт, зі світловим потоком $F = 2100 \text{ лм.}$

Розрахунок виконаний методом коефіцієнта використання світлового потоку із застосуванням ламп розжарювання типу Г зі світловим потоком $F = 8300 \text{ лм,}$ потужністю 500 Вт і напругою 220 В. У результаті забезпечується фактична освітленість:
 $E_f = 170 \text{ лк,}$ при загальній кількості світильників 40 шт., що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:201.

5.3 Небезпека ураження електричним струмом

Обладнання лінії для пакування негашеного вапна розміщується у сухому виробничому приміщенні з нормованими параметрами температури та вологості повітря. Підлогове покриття виконане з бетону, що підвищує вимоги до заходів електробезпеки.

Електроживлення обладнання здійснюється від трифазної мережі із глухозаземленою нейтраллю напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. Потенційна небезпека ураження електричним струмом може виникати внаслідок:

- появи напруги на струмопровідних частинах при помилковому вмиканні установки;
- виникнення крокової напруги у разі замикання струмопровідника на землю;
- появи напруги на металевих корпусах обладнання при пошкодженні ізоляції;
- випадкового дотику до відкритих частин, що перебувають під напругою.

Для запобігання електротравматизму застосовуються такі технічні заходи безпеки:

- захисне заземлення металевих корпусів обладнання із опором контуру не більше 0,5 Ом;
- автоматичне аварійне відключення живлення при коротких замиканнях;
- занулення струмопровідних частин;
- розміщення небезпечних елементів у захисних кожухах та огорожах;
- використання розділювальних трансформаторів.

Персонал забезпечується індивідуальними засобами захисту: діелектричними рукавичками, гумовими килимками та ізольованим інструментом. Забороняється виконання робіт на несправному або незаземленому обладнанні, а також допуск до роботи осіб без відповідного навчання та інструктажу.

5.4 Пожежна безпека

У процесі пакування негашеного вапна можлива поява джерел пожежної

небезпеки, пов'язаних із:

- мастильними матеріалами;
- промасленими ганчірками;
- електродвигунами та апаратурою;
- пошкодженою електропроводкою.

Негашене вапно (оксид кальцію) не є горючою речовиною, однак при контакті з водою або вологою виділяється значна кількість тепла, що може створювати умови для займання горючих матеріалів навколо обладнання.

Виробниче приміщення відноситься до категорії пожежної небезпеки «В» згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та має клас зони П-Па за ПУЕ, ступінь вогнестійкості будівлі — III відповідно до ДБН В.1.1-7:2016.

Основні причини можливого виникнення пожежі:

- короткі замикання;
- перевантаження електромереж;
- підвищений перехідний опір у контактних з'єднаннях;
- утворення іскор під час ремонту обладнання.

Для запобігання пожежам застосовуються організаційні та технічні заходи: використання негорючих матеріалів, регулярне прибирання пилу, правильне зберігання мастильних матеріалів, планові огляди обладнання.

Для ліквідації пожежі передбачено використання:

- порошкових вогнегасників САМ-9 – 8 шт.;
- вогнегасників ОП-10 – 4 шт. для гасіння електроустановок.

У приміщенні встановлена теплова пожежна сигналізація. Відповідно до СНиП 2.09.02-85, передбачено не менше двох евакуаційних виходів. Ширина шляхів евакуації становить не менше 1,0 м, а ширина дверей — не менше 0,8 м.

5.5 Шум і вібрація

Основними джерелами шуму під час роботи лінії для пакування негашеного вапна є електродвигуни шнекового дозатора, редуктори, вентилятори аспіраційної системи та транспортуючі механізми. Середній рівень

шуму в робочій зоні становить до 75 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

Для зниження рівня шуму передбачені такі заходи:

- встановлення шумопоглинальних кожухів на електродвигунах та приводах;
- монтаж звукоізоляційних екранів між обладнанням та робочими місцями;
- регулярне технічне обслуговування та змащування рухомих вузлів;
- своєчасна заміна зношених підшипників і деталей.

Персонал забезпечується індивідуальними засобами захисту органів слуху: протишумовими вкладишами та навушниками, які знижують рівень шуму на 18–25 дБА.

Джерелами вібрації є обертові частини шнекового дозатора, електроприводи та вузли кріплення обладнання до фундаменту. Вібрація виникає внаслідок дисбалансу обертових елементів та неточностей монтажу. Рівень загальної технологічної вібрації не перевищує допустимих значень, установлених ДСН 3.3.6.039-99.

Для зменшення впливу вібрації передбачено:

- встановлення обладнання на вібропоглинальні гумові та пружинні опори;
- застосування демпфувальних прокладок між обладнанням і фундаментом;
- використання підсилених металоконструкцій із підвищеною жорсткістю;
- регулярне балансування обертових частин.

Для контролю рівнів шуму та вібрації застосовуються прилади типу ВШВ-003 та шумовіброзамірювальний комплекс ШВК-1. Тривалість безперервного впливу вібрації на персонал не перевищує 15–20 хвилин, загальний час роботи у вібраційних умовах — не більше 2/3 зміни. Передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю не менше 40 хвилин.

5.6 Промислове освітлення

Освітлення приміщення лінії пакування негашеного вапна здійснюється природним та штучним способом. У денний час природне освітлення забезпечується через бокові світлові прорізи у зовнішніх стінах.

У приміщенні операторської передбачено два вікна розмірами $1,5 \times 2,3$ м. Згідно з вимогами ДБН, роботи, що виконуються оператором, відносяться до IV розряду зорових робіт, підрозділ «в». Нормована освітленість робочої зони становить: $E_{\text{норм}} = 200$ лк.

У вечірній та нічний час використовується штучне освітлення. Для освітлення прийняті люмінесцентні лампи типу ЛБ-40 потужністю 40 Вт зі світловим потоком 2850 лм, встановлені у світильники типу ЛПО 02-2×40/П-20.

Розрахунок кількості світильників

Кількість світильників визначається за формулою:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{n \cdot F \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 50 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{2 \cdot 2850 \cdot 0.57} = 5$$

де: $E = 200$ лк — нормована освітленість; $S = 50$ м² — площа операторської; $k = 1,5$ — коефіцієнт запасу; $z = 1,1$ — коефіцієнт нерівномірності; $n = 2$ — кількість ламп у світильнику; $F = 2850$ лм — світловий потік однієї лампи; $\eta = 0,57$ — коефіцієнт використання світлового потоку.

Таким чином, для забезпечення нормованого освітлення в операторській необхідно встановити 5 світильників, що повністю відповідає вимогам ДБН

В.2.5-28-2006.

6. РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНИХ ВУЗЛІВ УСТАНОВКИ

Для створення 3D-моделі модернізованих частин (рис. 6.1, рис. 6.5), було обрано програмне забезпечення SolidWorks.

6.1 3D-модель модернізації стрічкового живильника.



Рисунок 6.1 – Модель модернізованого вузла очищення стрічки

Тривимірна модель модернізованого вузла очищення стрічки (рис. 6.1) розроблена за допомогою системи автоматизованого проєктування SolidWorks. Використання інструментів твердотільного моделювання дозволило точно відтворити конструкцію лопатевого очисника та привідного механізму з урахуванням геометричних параметрів усіх деталей.

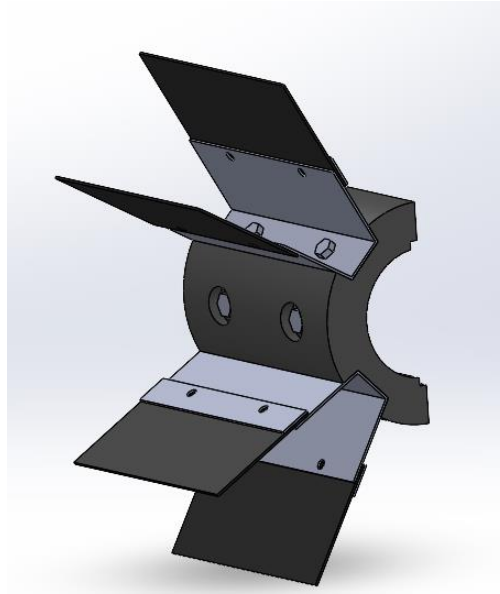


Рисунок 6.2 – Кріплення пластин на півмісяці

Даний вузол демонструє спосіб фіксації еластичних очисних пластин на жорсткій основі за допомогою болтових з'єднань (рис. 6.2). Деталізація кріплень необхідна для розрахунку напружень у зонах контакту та визначення надійності фіксації пластин під час тертя об стрічку.

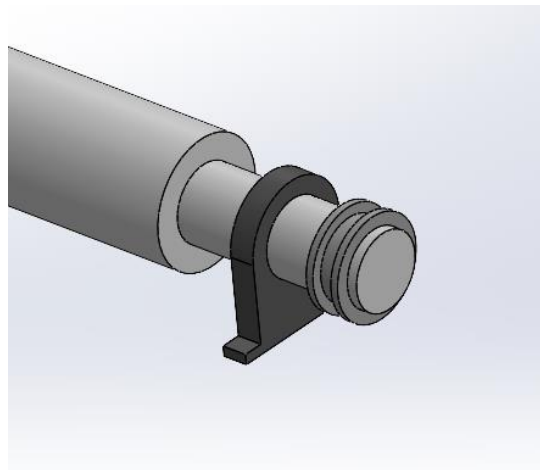


Рисунок 6.3 – Підшипниковий вузол

Модель підшипникового вузла (рис. 6.3) з опорою забезпечує базу для розрахунку динамічних навантажень на вісь привода. Точне відтворення геометрії корпусу та посадкових поверхонь дозволяє провести перевірку вузла на вібростійкість та визначити термін служби підшипників.



Рисунок 6.4 – Рознесений вид вузла

Вид із рознесеними компонентами (рис. 6.4) наочно демонструє послідовність збирання та специфікацію всіх деталей пристрою. Ця модель служить основою для створення монтажних схем та проведення перевірки на відсутність геометричних перетинів між деталями при їх взаємодії.

6.2 3D-модель модернізації шнекового дозатора.

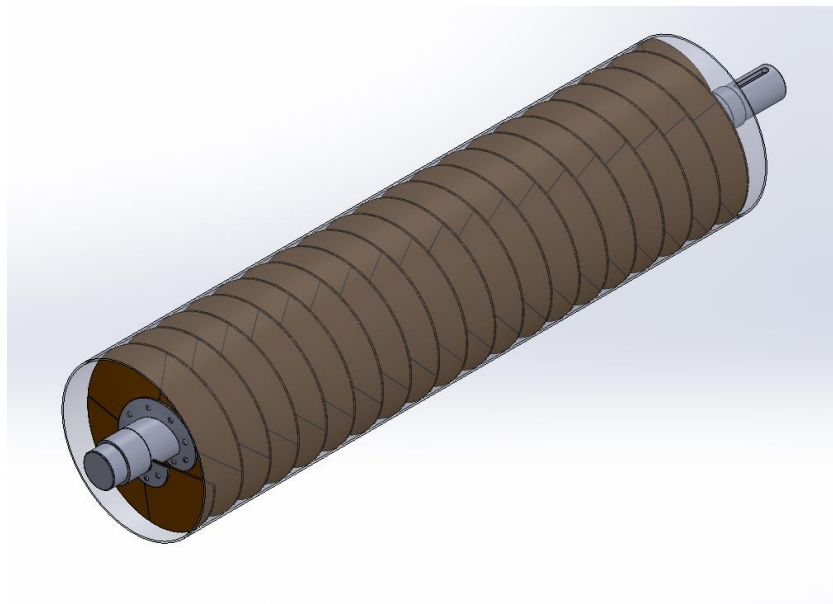


Рисунок 6.5 – Модернізований шнек

Завдяки використанню SolidWorks було створено прецизійну модель модернізованого шнека (рис. 6.5), що враховує реальні геометричні параметри гвинтової поверхні, товщину витків та масово-інерційні характеристики вала.

Такий рівень деталізації дозволяє використовувати дану модель як базу для подальшого комп'ютерного моделювання експлуатаційних навантажень

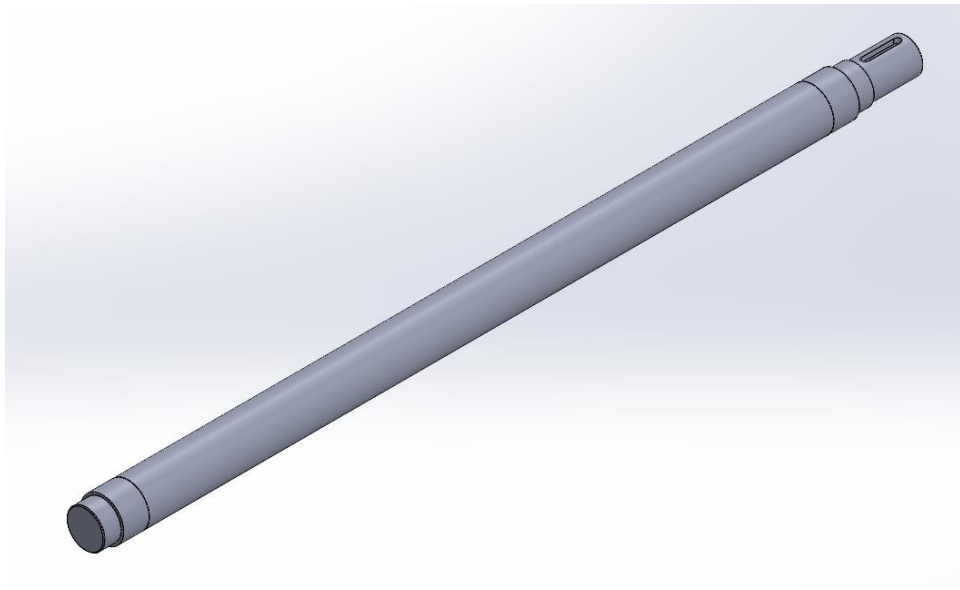


Рисунок 6.6 – Вал

Вал (рис. 6.6) є головним несучим елементом, що забезпечує передачу крутного моменту та жорсткість конструкції. Деталізація посадкових місць у 3D-моделі необхідна для проведення подальших перевірочних розрахунків на міцність та деформацію під навантаженням.

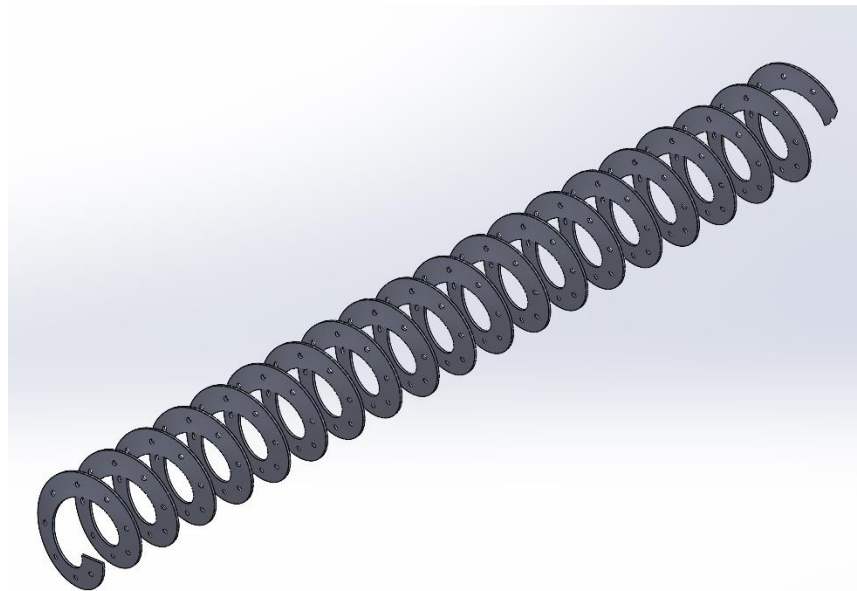


Рисунок 6.7 – Спіраль

Спіраль (рис. 6.7) визначає крок навивки та служить основою для кріплення робочих сегментів шнека. Її прецизійна геометрія дозволяє точно прорахувати кінематику руху матеріалу та забезпечити правильне позиціонування еластичних елементів.

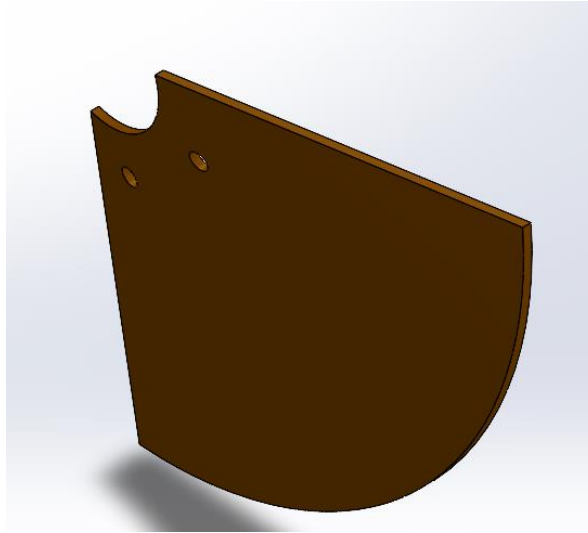


Рисунок 6.8 – Сегмент пелюстка

Сегмент-пелюстка (рис. 6.8) є ключовим модернізованим вузлом для дбайливого транспортування сировини. Створена модель дозволяє виконати подальший аналіз методом скінченних елементів для визначення оптимальної деформації пелюстки під тиском.

6.3 Розрахунки модернізації шнекового дозатора

Розрахунок міцності шнекового дозатора виконано з використанням програмного комплексу ANSYS Workbench. Геометричні моделі шнека та вала були попередньо побудовані в середовищі SolidWorks та імпортовані в ANSYS у форматі STEP із збереженням основних конструктивних розмірів.

У розрахунку розглянуто шнековий дозатор для транспортування негашеного вапна з такими вихідними параметрами: частота обертання шнека

Розрахункова схема передбачає жорстке закріплення вала шнека з боку приводу. На вал прикладено крутний момент, що відповідає робочому режиму дозатора при заданій частоті обертання. Навантаження від матеріалу змодельовано у вигляді рівномірно розподіленого тиску на поверхню шнека.

6.3.1 Розрахунок не модернізованого вузла

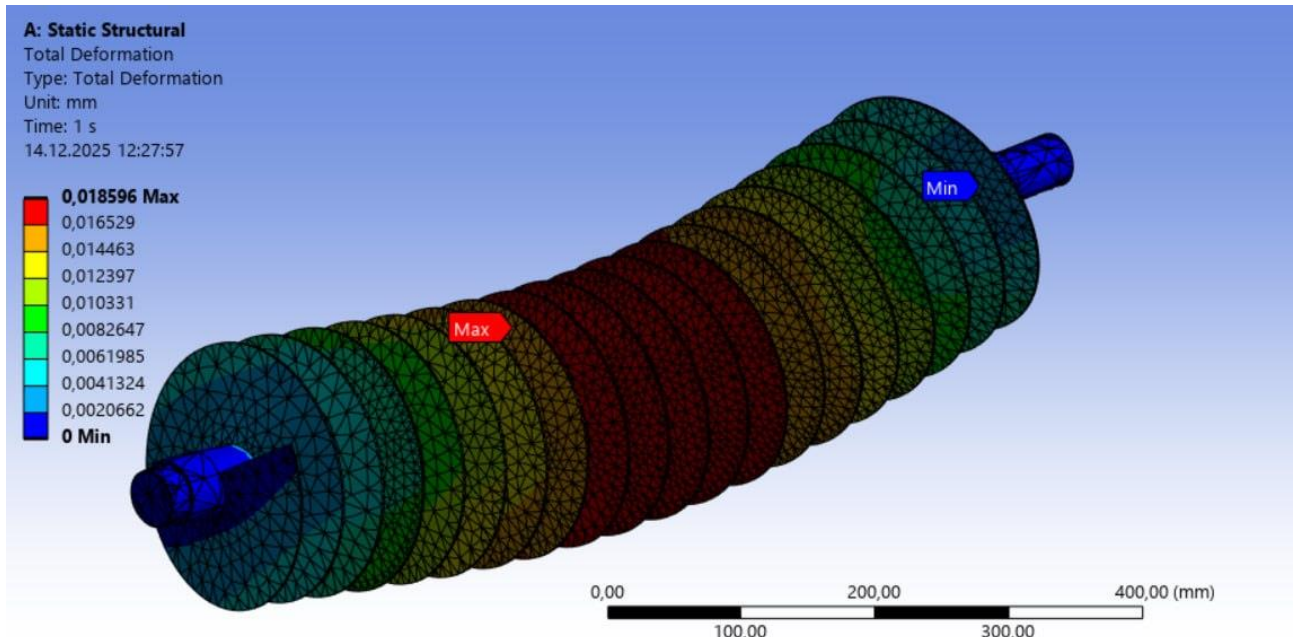


Рисунок 6.9 Результат розрахунку деформації по осі Y

Епюра показує розподіл лінійних переміщень конструкції (рис.6.9), де червоні зони вказують на максимальний прогин у центральній частині шнека. Розрахунок підтверджує, що величина деформації є допустимою і не призведе до заклинювання робочого органу в корпусі.

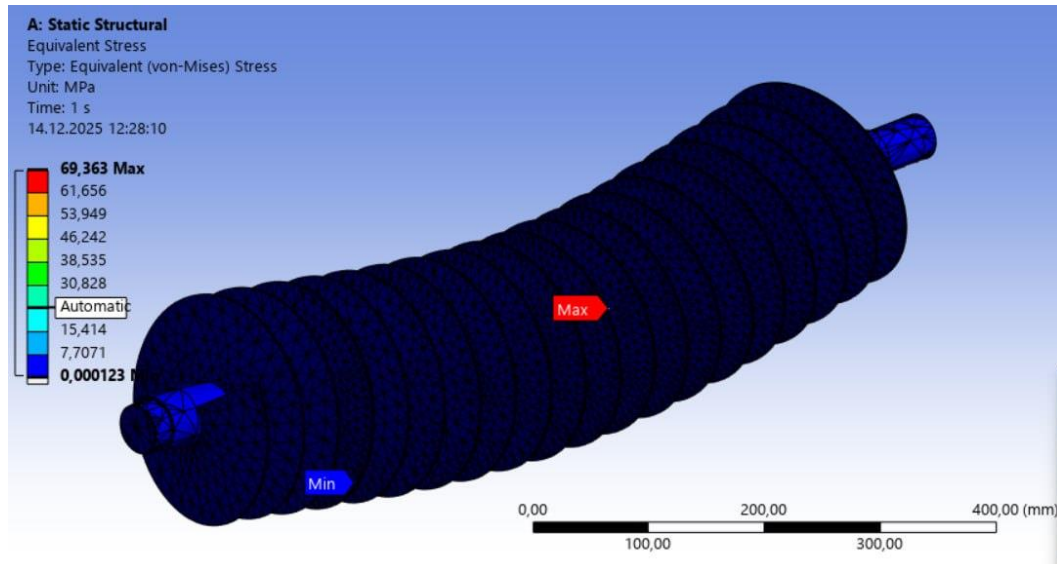


Рисунок 6.10 Результат розрахунку еквівалентних напружень

Візуалізація розподілу напружень за фон Мізесом (рис.6.10) дозволяє виявити локальні зони концентрації навантаження на витках шнека. Отримані значення (69,3 МПа) знаходяться в межах пружної деформації матеріалу, що гарантує цілісність конструкції.

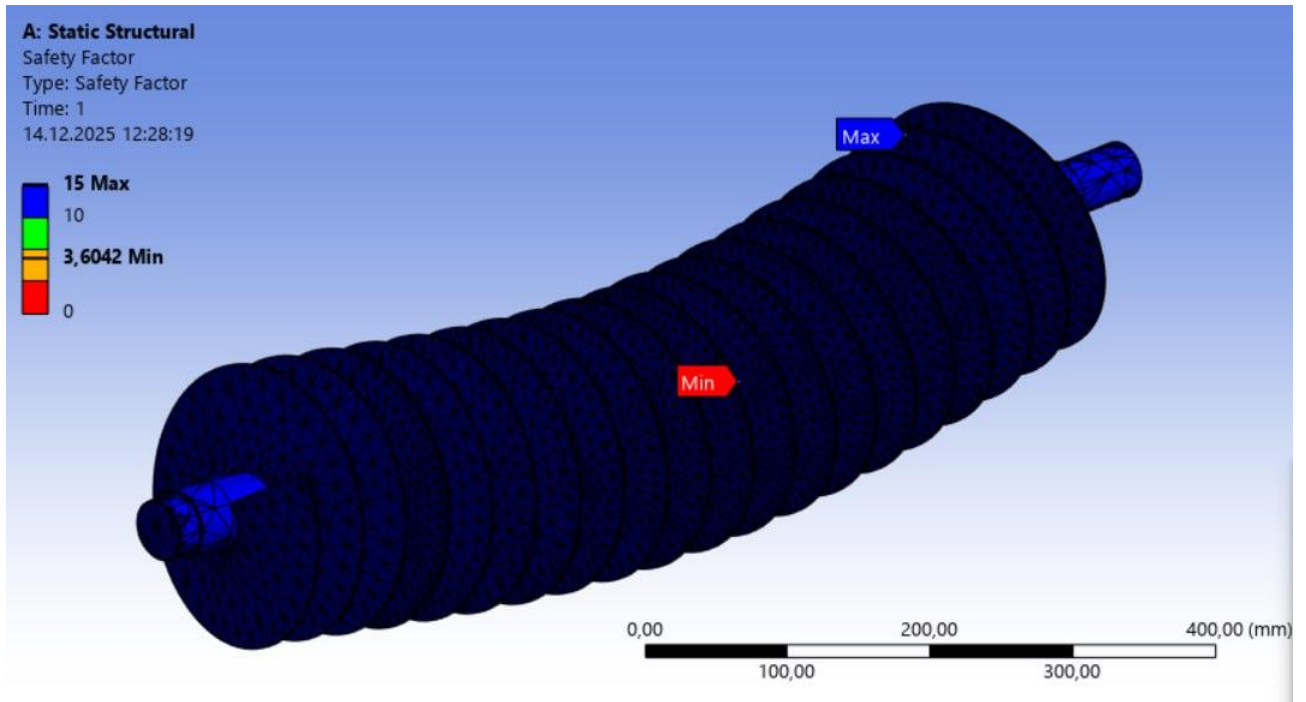


Рисунок 6.11 Результат розрахунку на запас міцності

Розрахунок коефіцієнта Safety Factor демонструє рівномірний розподіл міцності по всій довжині шнека з мінімальним значенням 3,6. Це свідчить про наявність достатнього конструктивного резерву для сприйняття пікових експлуатаційних навантажень (рис.6.11).

6.3.2 Розрахунок модернізованого вузла

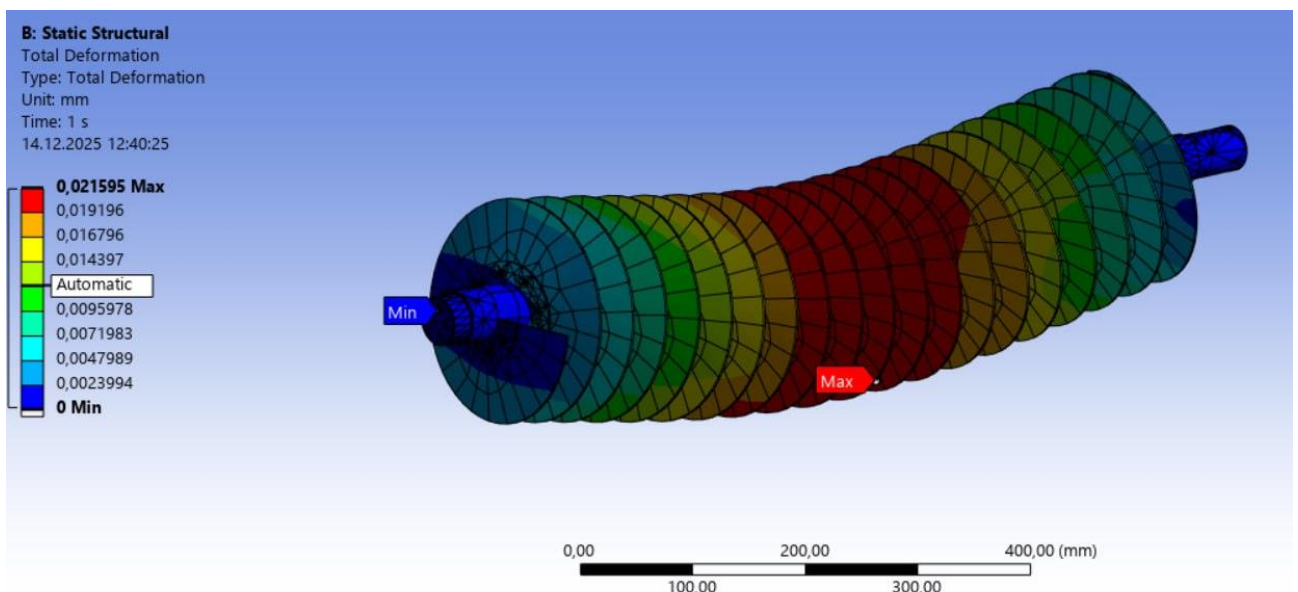


Рисунок 6.12 Результат розрахунку деформації по осі Y

Дана модель відображає зміну геометрії вузла під статичним тиском

вантажу(рис.6.12), де максимальне відхилення зафіксоване в точці найбільшого вильоту. Отримані дані використані для оптимізації жорсткості еластичних пелюсток шнека.

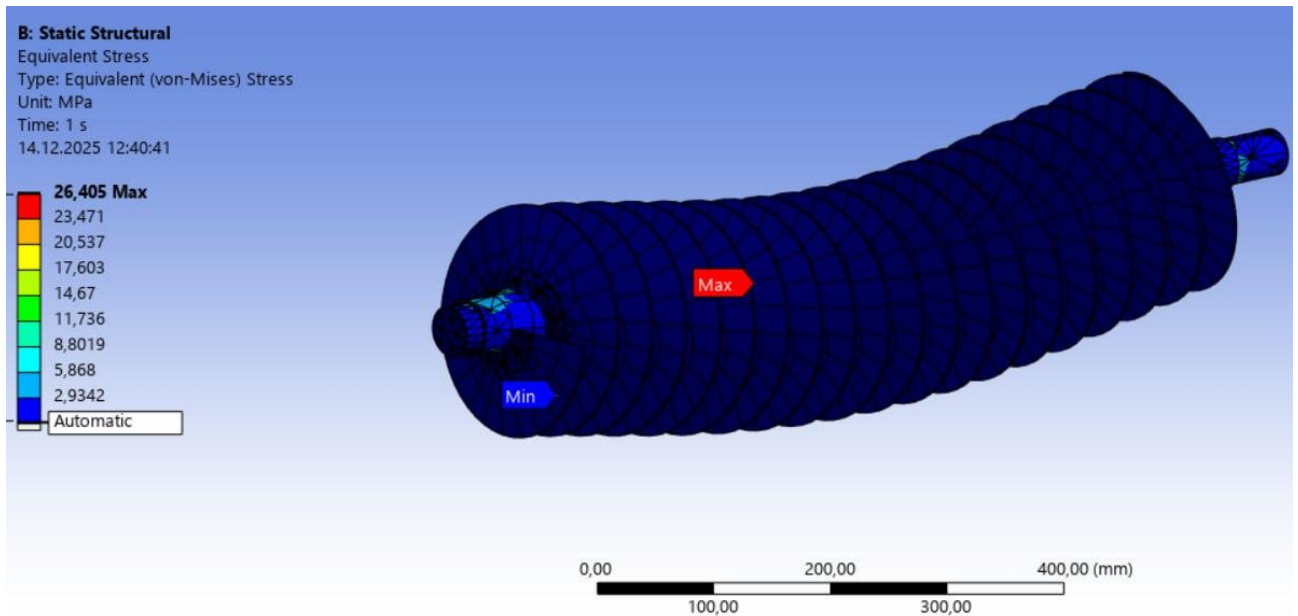


Рисунок 6.13 Результат розрахунку еквівалентних напружень

Аналіз напруженого стану в цій ітерації розрахунку (рис.6.13) фокусується на взаємодії вала та спіралі, де максимальне значення становить 26,4 МПа. Результати підтверджують рівномірний розподіл зусиль без виникнення критичних точок руйнування.

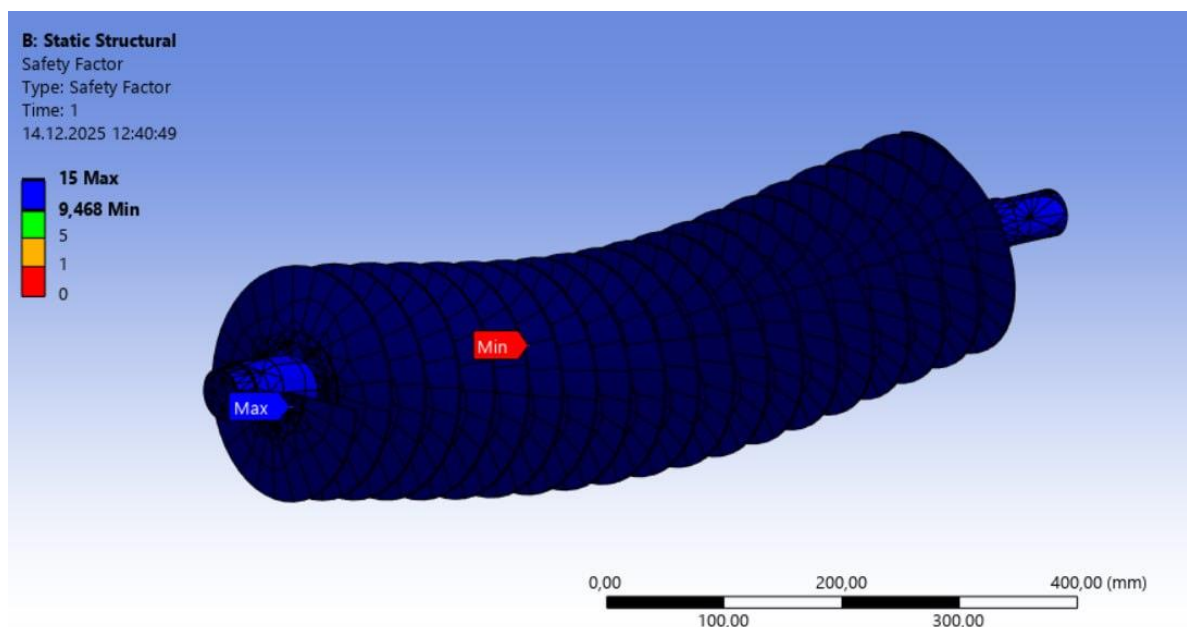


Рисунок 6.14 Результат розрахунку на запас міцності

Графічне відображення запасу міцності для даної конфігурації показує стабільну роботу вузла з мінімальним коефіцієнтом 9,4. Такий високий показник підтверджує надійність модернізованого кріплення сегментів-пелюсток(рис.6.14).

Отримані в середовищі ANSYS результати числового аналізу підтверджують працездатність модернізованої конструкції шнека та її відповідність діючим експлуатаційним навантаженням. Проведений порівняльний аналіз показав, що внесені конструктивні зміни забезпечують більш рівномірний розподіл напружень уздовж елементів шнека та зменшення зон їх локальної концентрації, що сприяє підвищенню надійності роботи конструкції за змінних режимів навантаження.

Використання уточненої скінченно-елементної сітки дало змогу підвищити точність числового моделювання та детальніше оцінити напружено-деформований стан шнека. Результати розрахунку підтвердили адекватність прийнятої розрахункової схеми та обґрунтованість реалізованих конструктивних рішень.

Модернізований еластичний шнек із розрізними пелюстками відповідає вимогам міцності та працездатності та може бути рекомендований для застосування у гвинтових конвеєрах, призначених для транспортування сипких матеріалів. За даними розрахунку в програмному середовищі ANSYS коефіцієнт запасу міцності модернізованої конструкції становить 9,4, що істотно перевищує відповідний показник базової конструкції (3,6) та підтверджує ефективність запропонованого технічного рішення.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання магістерської дисертації на тему «Лінія для пакування негашеного вапна з модернізацією шнекового дозатора» зроблено такі висновки:

1. Проведено аналіз технологічного процесу пакування негашеного вапна та конструкцій шнекових дозаторів, що застосовуються для дозування сипких матеріалів.
2. Обґрунтовано доцільність модернізації шнекового дозатора з урахуванням фізико-механічних властивостей негашеного вапна та умов його експлуатації.
3. Виконано параметричні, кінематичні та міцнісні розрахунки основних елементів шнека, що дозволило визначити раціональні геометричні параметри та режимні характеристики роботи дозатора.
4. Розроблено тривимірні моделі базової та модернізованої конструкцій у середовищі SolidWorks.
5. Проведено чисельний розрахунок напружено-деформованого стану модернізованого шнека в програмному комплексі ANSYS, з урахуванням експлуатаційних навантажень.
6. За результатами моделювання встановлено, що модернізована конструкція має значно більший запас міцності порівняно з базовою та відповідає вимогам працездатності.
7. Розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації шнекового дозатора, а також розглянуто питання охорони праці та економічної доцільності впровадження модернізованої конструкції.

У цілому результати роботи підтверджують ефективність запропонованої модернізації та можливість практичного впровадження шнекового дозатора у складі ліній пакування негашеного вапна.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гевко Б. М. Гвинтові живильники сільськогосподарських машин. — Львів: Вища школа, 1990. — 192 с.
2. Процеси та апарати хімічних виробництв: Підручник / О. С. Ляпунцов, С. В. Гулій та ін. — К.: Центр учбової літератури, 2015.
3. Смирнов В. О., Білецький В. С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин: Навчальний посібник. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2012. — 284 с.
4. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. — К.: Знання, 2008. — 560 с.
5. Малащенко В. О., Павлице В. Т. Деталі машин: Курсове проектування: Навчальний посібник. — Львів: Новий Світ-2000, 2004. — 232 с.
6. Електродвигуни асинхронні серії АИР: Технічний каталог. — К.: ТОВ «Електротехнічна компанія», 2020.
7. Методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань з дисциплін «Підйомно-транспортні машини» і «Механізація навантажувально розвантажувальних і транспортно-складських робіт» на тему: «Розрахунок стрічкового конвеєра»(напрямку: 6.050503 «Машинобудування»).
8. Транспортні системи електромеханічних комплексів. Лабораторні роботи: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.В. Зайченко, В.А. Побігайло, А.В. Волошко. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
9. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення. Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / 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. - Назва з екрана. URI <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>

10. ЕЛАСТИЧНИЙ ШНЕК З РОЗРІЗНИМИ ПЕЛЮСТКАМИ: Патент № UA143343U Україна /

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Заявка № u202000461 від 27.01.2020, опубліковано 27.07.2020.

11. ШИРОКОСМУГОВИЙ ШНЕК: Патент № UA112517U Україна /
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Заявка № u201604813 від 29.04.2016, опубліковано 26.12.2016.

12. ГНУЧКИЙ ШНЕК: Патент № UA117502C2 Україна /
Осенін Юрій Іванович; Сорока Сергій Іванович. Заявка № a201605340 від 17.05.2016, опубліковано 10.08.2018.

13. ШНЕК ПРУЖНИЙ ДВОЗАХІДНИЙ: Патент № UA121832C2 Україна /
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Заявка № a201904708, від 02.05.2019, опубліковано 27.07.2020.

14. CLEANER DEVICE FOR BELT CONVEYOR: Patent № KR102119617B1 KR /
YOUNGSAN PRECISION CO., LTD.; HANJUNG INDUSTRY CO., LTD. Priorities KR20170136216, 20.10.2017, Publication 16.06.2020.

15. CAGE-TYPE DRUM: Patent № CN103332449A CN /
XINJIANG KELI MACHINERY EQUIPMENT CO., LTD. Priorities CN201310261033.7, 26.06.2013, Publication 02.10.2013.

16. SCRAPER SYSTEM FOR BELT CONVEYOR AND METHOD FOR CLEANING A BELT CONVEYOR: Patent № CN110382378A CN /
KORNELI KIEL-FRECH. Priorities DE102017000078.6, 09.01.2017; DE102017114931.7, 04.07.2017. PCT/DE2018/100006, 06.01.2018. Publication 25.10.2019.

17. CONVEYOR BELT WITH TENSIONING DEVICE: Patent № CN211520709U CN /
XIANYANG DONGDAYANG CONCRETE CO., LTD. Priorities CN201922048222.1, 23.11.2019, Publication 18.09.2020.

18. Щербина В.Ю., Гондлях О.В., Сівецький В.І. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Механічне обладнання для виробництва в'язучих будівельних матеріалів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 147 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45720>
19. Мікульонюк І.О., Сокольський О.Л., Сівецький В.І. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с.
20. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
21. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016).
22. Юдіна Н. В. Антикризові маркетингові інструменти інноваційного розвитку підприємств / Н.В. Юдина // . – 2014. – Т. 1. – С. 80– 82.
23. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студ. вищих навч. закладів. За ред. М.П. Гандзюка – К. Каравела, 2004 – 408 с.
24. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 1999. 214 с.
25. Щербина В.Ю., Гондлях 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>
26. Щербина В.Ю., Степанюк А.Р. Кожухотрубні теплообмінники. Конструкторське проектування обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 117 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67996>

ДОДАТОК А

Удосконалення конструкції еластичного шнека для транспортування сипких матеріалів

Вельганюк Д.М., студ., Швачко Д.Г., PhD, ас., Шермазян А. О., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто конструктивні особливості гвинтових конвєсєрів, призначених для транспортування сипких матеріалів, та проблеми, що виникають під час їх переміщення, зокрема пошкодження продукту в зоні контакту з робочими органами. Висвітлено технічне рішення у вигляді еластичного шнека з розрізними пелюстками, що забезпечує зменшення механічного впливу на матеріал та підвищення ефективності транспортування за рахунок удосконаленої конструкції еластичних секторів.

Ключові слова: еластичний шнек, гвинтовий конвєсєр, сипкі матеріали, транспортування, модернізація.

Вступ. Гвинтові конвєсєри застосовуються у піднімально-транспортному машинобудуванні для переміщення сипких матеріалів у безперервному режимі. Незважаючи на простоту конструкції та широке використання, у процесі експлуатації таких машин виникають характерні проблеми, пов'язані з взаємодією сипкого матеріалу з робочими органами, зокрема у зоні контакту між шнеком і внутрішньою поверхнею направляючого кожуха. Заклинення окремих частинок матеріалу призводить до нерівномірного навантаження елементів конструкції та ускладнює стабільну роботу конвєсєра.

Для вирішення зазначених проблем розроблено еластичний шнек з розрізними пелюстками, реалізований у корисній моделі відповідно до патенту України UA 143343 U[2]. Конструкція шнека передбачає використання еластичних секторів, закріплених на несучій смуговій спіралі, периферійна частина яких виконана розрізною у вигляді пелюстків, орієнтованих під кутом у напрямку транспортування матеріалу. Запропоноване конструктивне виконання змінює характер взаємодії між робочою поверхнею шнека та сипким матеріалом і визначає особливості роботи гвинтового конвєсєра.

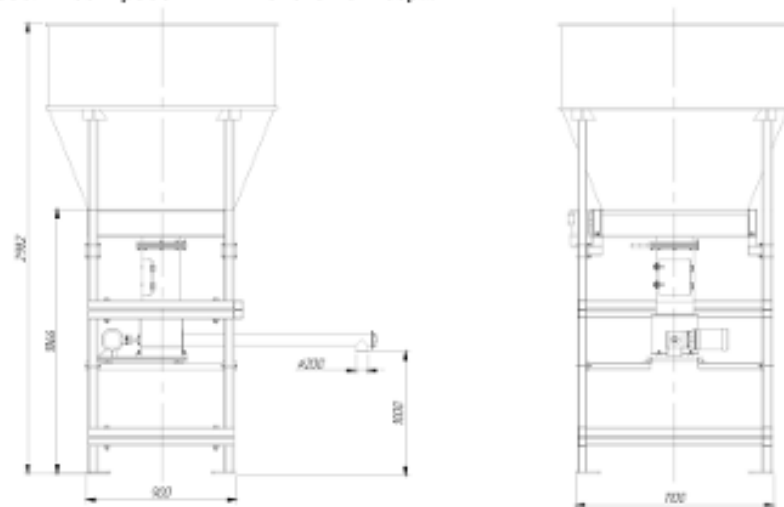


Рисунок 1 – Шнековий дозатор

Запропонована конструкція еластичного шнека з розрізними пелюстками має суттєві переваги порівняно з відомими аналогами, що підтверджує доцільність її застосування для транспортування сипких матеріалів. Виконання периферійної поверхні еластичних секторів у

вигляді пелюстків дозволяє зменшити ступінь пошкодження продукту під час транспортування. У разі заклинення окремих частинок деформація відбувається локально за рахунок прогину пелюстків, а не всієї еластичної секції, що знижує контактні зусилля та мінімізує механічний вплив на матеріал.

Орієнтація розрізів пелюстків під кутом у напрямку руху матеріалу забезпечує більш плавну та стабільну роботу шнека. Завдяки цьому зменшуються ударні навантаження, покращується рівномірність переміщення сипкого матеріалу та знижується ймовірність виникнення пікових сил у процесі роботи. Така особливість є особливо важливою при транспортуванні крихких або неоднорідних матеріалів, чутливих до механічних пошкоджень.

Крім того, запропоноване конструктивне виконання сприяє зниженню напружено-деформованого стану еластичних секторів та підвищенню довговічності шнека. Локалізація деформацій у периферійній зоні пелюстків зменшує зношування основної частини еластичних елементів, а напівсферична форма кріпильних елементів забезпечує рівномірніший розподіл навантажень у вузлах кріплення. У результаті підвищується надійність роботи гвинтового конвеєра та розширюються можливості його застосування для транспортування різних типів сипких матеріалів.

У програмному середовищі ANSYS виконано числовий аналіз міцності еластичного шнека з розрізними пелюстками. Під час моделювання досліджено розподіл переміщень і еквівалентних напружень, а також визначено коефіцієнти запасу міцності для основних елементів конструкції. Розрахункова схема формувалася з урахуванням навантажень, що виникають у процесі роботи шнека при контакті з сипким матеріалом і внутрішньою поверхнею направляючого кожуха, що забезпечило адекватне відтворення експлуатаційних умов.

Для оцінювання ефективності запропонованого конструктивного рішення проведено порівняльні розрахунки базової, не модернізованої моделі шнека з суцільною еластичною поверхнею, для якої застосовано осьову схему навантаження. Аналіз отриманих результатів показав, що значення коефіцієнта запасу міцності для базової конструкції становить 3,6, тоді як для модернізованого шнека з розрізними пелюстками цей показник досягає 9,4. Збільшення запасу міцності пояснюється перерозподілом напружень та зменшенням їх локальних концентрацій у зоні контакту робочих елементів.

З метою підвищення точності числового аналізу додатково виконано розрахунки з використанням уточненої скінченно-елементної сітки. Це дало змогу більш детально дослідити напружено-деформований стан шнека та виявити критичні ділянки конструкції. Результати числового моделювання наведено на рис. 2-3.

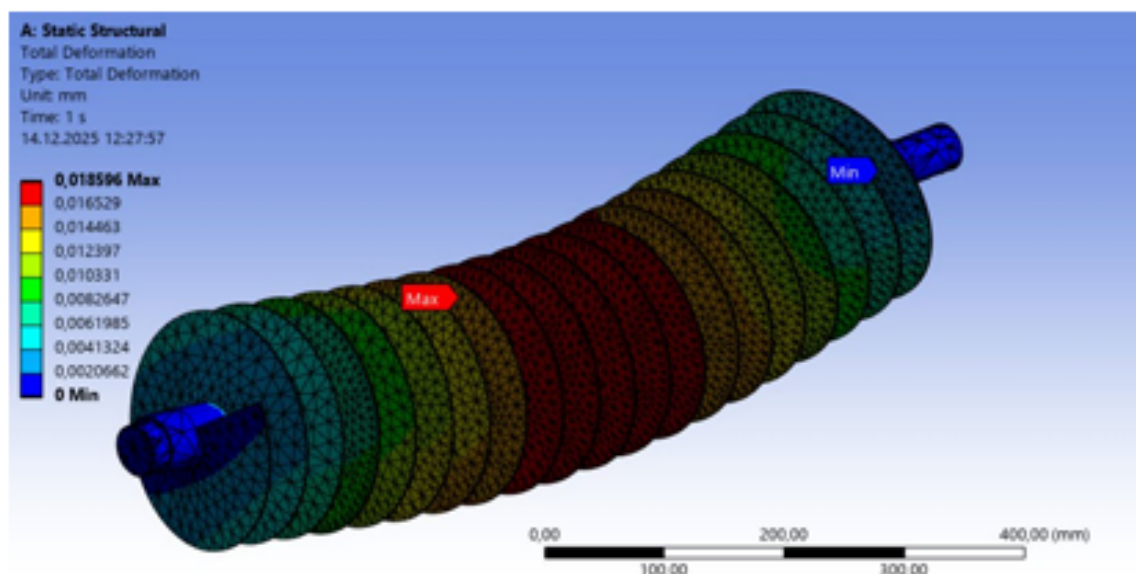


Рисунок 2 – Результати розрахунку переміщення, не модернізованого шнека

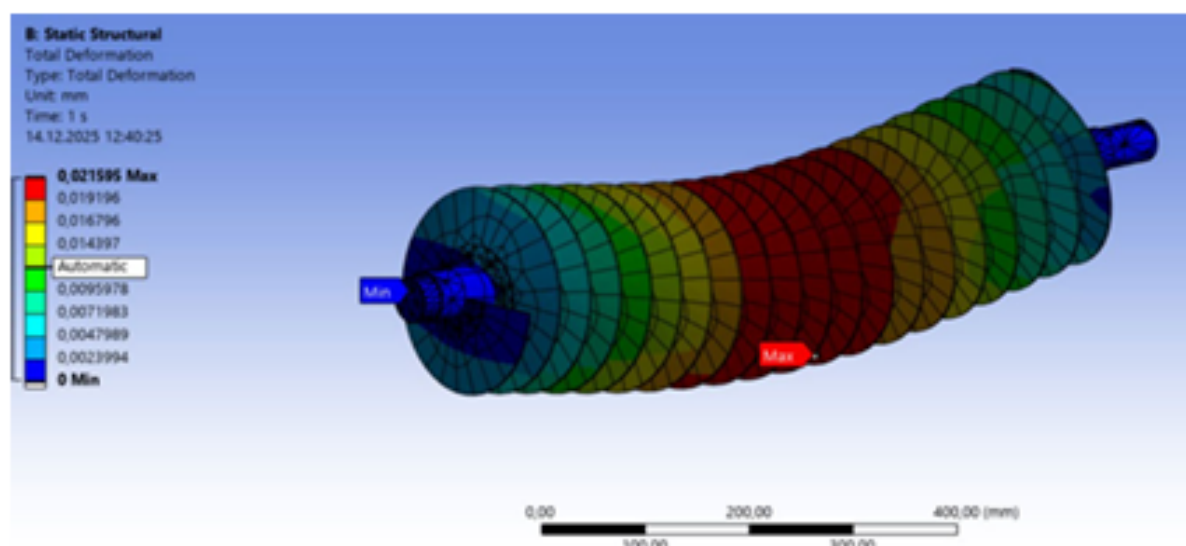


Рисунок 3 – Результати розрахунку переміщення, модернізованого шнека

Отримані в програмному середовищі ANSYS результати свідчать про працездатність модернізованої конструкції шнека та її відповідність умовам експлуатаційних навантажень. Порівняльний аналіз показав, що зміна конструктивного виконання призводить до перерозподілу напружень і зменшення їх локальних концентрацій, що позитивно впливає на роботу елементів шнека в умовах змінних навантажень.

Застосування уточненої скінченно-елементної сітки дозволило підвищити достовірність результатів числового моделювання та детальніше проаналізувати напружено-деформований стан конструкції. Отримані дані підтвердили коректність прийнятої розрахункової моделі та доцільність проведених конструктивних змін.

Висновки. Модернізований еластичний шнек з розрізними пелюстками відповідає вимогам міцності та працездатності й може застосовуватися у гвинтових конвеєрах для транспортування сипких матеріалів. За результатами розрахунків у середовищі ANSYS коефіцієнт запасу міцності модернізованої конструкції становить 9,4, що суттєво перевищує значення 3,6 для базової моделі та підтверджує доцільність запропонованого технічного рішення.

Перелік посилань

1. Інжиніринг пакувального обладнання : Текст лекцій для студентів спеціальності «Прикладна механіка», спеціалізації «Машини і технології пакування» / Уклад.: А. Я. Карвацький. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 141 с.
2. Еластичний шнек з розрізними пелюстками: Патент № UA143343U Україна Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Заявка № u202000461 від 27.01.2020, опубліковано 27.07.2020..

ДОДАТОК Б

[illegible]

[illegible]

[illegible]

					ЛУ 41 мп.013182.004-90 СП		
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Модернізований вузол очищення стрічкового конвеєра		
Розроб.		Вельганок Д.М.					
Перев.		Швачко Д.Г.					
Н. контр.							
Затвер.					Лист	Аркуш	Аркушів
						1	1
					НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" ФАПР		