

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка До кваліфікаційної роботи магістра

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

## Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра

Виконав: студент VI курсу, групи 602-ММв  
напряму підготовки (спеціальності)

133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Обревко Роман Михайлович  
(прізвище та ініціали)

Керівник проф. Срібнюк С.М.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Сердюк В.О.  
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2024 рік

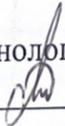
Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки  
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

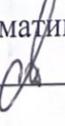
## Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра

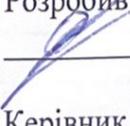
Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГМтаМ 602ММв.035-00.00.000 МР

Технологічний контроль к.т.н., доц.  
  
О.С. Васильєв  
„26” 06 2024р.

Нормативний контроль к.т.н., доц.  
  
О.С. Васильєв  
„26” 08 2024р.

Розробив студент групи 602-ММв  
  
. Р.М. Обревко  
„23” 08 2024р.

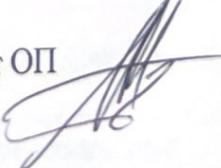
Керівник к.т.н., проф.  
  
С.М. Срібнюк  
„23” 08 2024р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри  
галузевого машинобудування та мехатроніки  
к.т.н., доц.

 О.В. Орісенко

Гарант ОП



М.М. Нестеренко

№ рядок.	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			Документація загальна		
3					
4			Вперше розроблена		
5					
6	A4	ГМтаМ 602ММв.035-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	
7	A4	ГМтаМ 602ММв.035--00.00.000А	Анотація	3	
8	A4	ГМтаМ 602ММв.035--00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка		
9					
10			Документація наукова		
11					
12			Вперше розроблена		
13					
14	A4	ГМтаМ 602ММв.035--00.00.000ПМ	Дослідження впливу умов експлуатації		
15			на надійність роботи гнучкого		
16			конвеєра		
17			Презентаційні матеріали	12	
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

					<b>ГМтаМ 602ММв.035--00.00.000ВМ</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Обрєвко			23.08	Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра Відомість кваліфікаційної роботи магістра		
Перев.	Срібнюк			26.08			
Н.контр.	Васильєв			26.08	Літ.    Лист    Листів Н            1            1 Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Затв.	Орисенко			26.08			

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки

Кафедра, циклова комісія Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Світньо-кваліфікаційний рівень Магістр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри галузевого  
машинобудування та

мехатроніки

О.В. Орисенко

"20" "03" 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
до кваліфікаційної роботи магістра

Обривку Роману Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи

«Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра»

керівник к.т.н., проф Срібнюк С.М.

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від 18.03.2024р. №309-фа.

1. Строк подання студентом роботи 20.08.2024р.

2. Вихідні дані до роботи Результати практики, Інформація з науково-  
практичних періодичних видань України, нормативні документи тощо.

Конструктивні схеми.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) 1 Аналіз властивостей та умов експлуатації гвинтових конвеєрів  
2 Проектування та розрахунок конструкторських параметрів. 3 Використання  
комп'ютерного моделювання в програмному комплексі SolidWorks при  
проектуванні елементів рухомого шнека

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

«Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра»  
графічні матеріали (10 листів А4)





ефективність як інструмент для віртуального тестування і оптимізації конструкцій, що дозволяє зменшити витрати на фізичні експерименти та скоротити терміни розробки нових систем транспортування матеріалів.

**Ключові слова:** конвеєр, шнек, гнучкий конвеєр.

The work consists of three sections.

The scientific work provides a comprehensive analysis of existing flexible screw conveyor designs and a review of literature focused on the parameters and operating conditions of such mechanisms. Special attention was given to studying the impact of design characteristics, such as screw diameter, pitch, driving coefficient, and profile inclination angle, on material transportation efficiency. It was found that changes in these parameters significantly affect the screw's productivity and wear of its elements.

During the modeling process, performed using SolidWorks software, tasks related to the modeling of screw geometry, studying the impact of rotation speed on particle movement trajectory, and assessing the dynamic characteristics of the transportation process were systematically implemented. The analysis results indicate that the rotation speed of the screw significantly influences the efficiency of material transportation.

The obtained results can be used to optimize existing designs and develop new screw mechanisms with enhanced performance. The developed methodology has proven effective as a tool for rapid testing and design optimization, allowing for reduced costs of physical experiments and accelerating development cycles for new material transportation systems.

					ГМтаМ 601ММв.035-00.00.000 А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

## Annotation

Master's Qualification Thesis on the Topic: "Study of the Impact of Operating Conditions on the Reliability of a Flexible Conveyor"

Master's qualification thesis for obtaining the educational qualification level of Master in the specialty 133 Industrial Engineering at the National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk," Poltava, 2024.

The work consists of three sections.

This scientific work provides a comprehensive analysis of existing flexible screw conveyor designs and a review of literature focused on the parameters and operating conditions of such mechanisms. Special attention was given to studying the impact of design characteristics, such as screw diameter, pitch, filling coefficient, and pipeline inclination angle, on material transportation efficiency. It was found that changes in these parameters significantly affect the screw's productivity and wear of its elements.

During the modeling process, performed using SolidWorks software, tasks related to the modeling of screw geometry, studying the impact of rotation speed on particle movement trajectory, and assessing the dynamic characteristics of the transportation process were successfully implemented. The study's results indicate that the rotation speed of the screw is a critical parameter that significantly influences the efficiency of material transportation.

The obtained results can be used to improve existing designs and develop new screw mechanisms with enhanced operational characteristics. SolidWorks modeling has proven effective as a tool for virtual testing and design optimization, allowing for reduced costs of physical experiments and shorter development times for new material transportation systems.

Keywords: conveyor, screw, flexible conveyor.

						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГМмаМ 601ММв.035-00.00.000 А	

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки  
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

## **Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра**

**Пояснювальна записка**

**Кваліфікаційної роботи магістра**

**ГМтаМ 602ММв.035-00.00.000 ПЗ**

Полтава – 2024 рік

## Зміст

Вступ .....	3
Розділ 1. Аналіз властивостей та умов експлуатації гвинтових конвеєрів.	5
1.1 Особливості застосування гнучких гвинтових конвеєрів .....	5
1.2 Гвинтові робочі органи з гнучким валом .....	16
Розділ 2: Проектування та розрахунок конструкторських параметрів. ....	21
2.1 Аналіз існуючих методик розрахунку .....	21
Розділ 3 Використання комп'ютерного моделювання в програмному комплексі SolidWorks при проектуванні елементів рухомого шнека.....	31
3.1 Порядок проведення комп'ютерного моделювання елементів спірального гвинтового робочого органу в SolidWorks з дослідженням деформацій під дією крутного моменту .....	31
3.2 Моделювання елементів шнека.....	33
ВИСНОВКИ .....	44
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	46
Додатки Презентаційні матеріали за темою «Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра»	

<b>ГМiМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ</b>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Обрєвко		<i>[Signature]</i>	23.08
Перев.	Срібнюк		<i>[Signature]</i>	23.08
Керівник				
Н. контр.	Васильєв		<i>[Signature]</i>	26.08
Затв.	Орисенко		<i>[Signature]</i>	26.08

Зміст

Літ.	Лист	Листів
Н	2	
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

## Вступ

Гнучкі конвеєри є важливим елементом у різних галузях промисловості, забезпечуючи ефективне транспортування матеріалів у складних умовах експлуатації. Надійність роботи таких конвеєрів має вирішальне значення для безперебійного функціонування виробничих процесів, оскільки від неї залежить продуктивність, економічна ефективність та загальна стабільність виробничих систем. Умови експлуатації гнучких конвеєрів, такі як температура, вологість, агресивність середовища та інші фактори, значно впливають на їхню надійність, що вимагає детального дослідження та аналізу.

Метою даної роботи є вивчення впливу різних експлуатаційних умов на надійність роботи гнучких конвеєрів, а також визначення оптимальних параметрів, що сприяють підвищенню їхньої довговічності. В ході дослідження буде проведено аналіз основних факторів, які впливають на надійність конвеєра, розроблено методичку оцінки впливу умов експлуатації та запропоновано рекомендації щодо поліпшення надійності конвеєрних систем.

Дане дослідження є актуальним, оскільки забезпечення високої надійності гнучких конвеєрів сприяє зниженню виробничих витрат, підвищенню ефективності роботи та забезпеченню безперебійності технологічних процесів.

Сучасні комп'ютерні програми, такі як SolidWorks, відкривають нові можливості для проектування гнучких конвеєрів, дозволяючи інженерам створювати високоточні моделі, що враховують всі особливості експлуатаційних умов. Використання таких програм забезпечує швидке та ефективне проведення численних симуляцій, що дозволяє передбачити поведінку конвеєра в різних умовах ще на етапі проектування.

					<b>ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	<b>Вступ</b>		
Розроб.	Обрєвко			23.08			
Перев.	Срібнюк			23.08			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			26.08			
Затв.	Орисенко			26.08			
					Літ.	Лист	Листів
					Н	3	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

SolidWorks, зокрема, надає можливість проводити аналіз міцності, тепловий аналіз та симуляцію динамічних навантажень, що особливо важливо для визначення надійності конструкції. Завдяки можливостям 3D-моделювання, інженери можуть детально опрацьовувати кожен елемент конвеєра, оптимізуючи його параметри з урахуванням експлуатаційних вимог. Крім того, інтеграція SolidWorks з іншими програмними продуктами для інженерного аналізу дозволяє отримати комплексну оцінку надійності та довговічності конвеєрної системи.

Важливим аспектом є також можливість автоматизації процесу проектування, що значно скорочує час розробки нових конструкцій та підвищує точність інженерних розрахунків. Таким чином, використання сучасних комп'ютерних програм типу SolidWorks при проектуванні гнучких конвеєрів є потужним інструментом, що дозволяє підвищити їх надійність, зменшити ризики експлуатації та забезпечити ефективну роботу у складних умовах.

				ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ		Лист
				ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ		4
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

## Розділ 1. Аналіз властивостей та умов експлуатації гвинтових конвеєрів

### 1.1 Особливості застосування гнучких гвинтових конвеєрів

Гвинтові конвеєри широко застосовуються для транспортування різноманітних сипких матеріалів, особливо в агропромисловому секторі. До типових матеріалів, які переміщують за допомогою цих конвеєрів, належать зернові культури, гранульовані насінні продукти, мелені корми, полова, висівки, комбікорми, пластівці, гранули мінеральних добрив та інші подібні матеріали.

Властивості сипких матеріалів можна поділити на дві основні групи: ті, що характеризують властивості самого матеріалу, та ті, що описують процеси, які відбуваються в його структурі під час транспортування. Перша група включає структурно-механічні, силові та фрикційні характеристики, які визначають, зокрема, як матеріал взаємодіє з поверхнею конвеєра та іншими частинками під час руху. Друга група властивостей охоплює теплофізичні, електрофізичні та аеродинамічні характеристики, які є ключовими для розрахунку параметрів транспортування і контролю процесів у матеріалі.

Енерговитрати на переміщення сипкого матеріалу в замкнутому еластичному кожусі значною мірою залежать від сил тертя та зчеплення, що виникають у місцях контакту частинок матеріалу. Тертя у сипких матеріалах є складним явищем, яке зумовлюється не лише тертям між контактними поверхнями частинок, але й структурними змінами у матеріалі, викликаними деформаціями його частинок.

					<b>ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ</b>			
<b>Зм.</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підп.</b>	<b>Дата</b>	<b>Аналіз властивостей та умов експлуатації гвинтових конвеєрів</b>	<b>Лім.</b>	<b>Лист</b>	<b>Листів</b>
Розроб.	Обрєзко		<i>[підпис]</i>	12.08		H		5
Перев.	Срібшюк		<i>[підпис]</i>	03.08				
Керівник			<i>[підпис]</i>					
Н. контр.	Васильєв		<i>[підпис]</i>	26.08				
Затв.	Орисенко		<i>[підпис]</i>	26.08				
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

При проектуванні гнучких гвинтових конвеєрів необхідно враховувати фізико-механічні властивості сипких матеріалів для оптимізації конструкції та вибору раціональних параметрів і режимів роботи. Найчастіше для транспортування таких вантажів використовують жорсткі шнекові конвеєри, встановлені під різними кутами до горизонту, гнучкі гвинтові конвеєри, пневмотранспортери та інші спеціалізовані системи.

Гнучкі гвинтові конвеєри часто поєднуються з системами подачі та розвантаження матеріалів, що забезпечує комплексний підхід до транспортування та обробки сипких вантажів. Такі системи можуть включати розвантажувачі мішків, станції для ручної подачі, пневматичні вловлювачі пилю, бункери з пристроями стимулювання потоку, системи зважування для точного дозування, а також фільтри для контролю якості сипких матеріалів.

З огляду на складність умов експлуатації та різноманіття транспортуваних матеріалів, вдосконалення конструкції гвинтових конвеєрів залишається актуальним завданням для забезпечення надійності їх роботи та ефективності виробничих процесів.

Шнекові конвеєри відіграють ключову роль у транспортуванні сипких матеріалів, забезпечуючи їх переміщення у різних площинах і під різними кутами. Одномагістральні горизонтальні жорсткі шнекові конвеєри, як показано на рис. 1.1, використовуються не тільки для транспортування, але й для виконання додаткових функцій, таких як змішування, стиснення, подрібнення матеріалів, їх порційне дозування, а також як живильники.

Похилі шнекові конвеєри (рис. 1.1) призначені для транспортування матеріалів з одночасним їх підйомом на задану висоту. Водночас, вони можуть виконувати додаткові технологічні операції, що дозволяє оптимізувати виробничий процес, зменшити матеріаломісткість та енерговитрати. Вертикальні шнекові конвеєри (рис. 1.2) спеціалізуються на підйомі матеріалів на мінімальну відстань, що, однак, призводить до збільшення енерговитрат.

					ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		6



Рисунок 1.1 – Похилий шнековий конвеєр

Жорсткі шнекові конвеєри широко застосовуються у технологічних комплексах, особливо в аграрній сфері, для транспортування зернових матеріалів між різними етапами виробничого процесу. Проте, основним недоліком таких конвеєрів є обмежена мобільність і підвищена матеріаломісткість через необхідність встановлення шнекового валу в опорах і жорсткій направляючій трубі.

Для усунення цих недоліків проводяться активні дослідження та розробки оптимальних конструкцій гнучких гвинтових конвеєрів, які мають поліпшені функціональні та експлуатаційні характеристики. У таких конвеєрах гнучкий гвинтовий робочий орган вільно розташовується в еластичному кожусі, що забезпечує рівномірне розподілення сипкого матеріалу по периферії кожуха під час обертання з частотою понад 700 об/хв. Це явище сприяє самоцентруванню спіралі та ефективному транспортуванню матеріалу до зони вивантаження.

					ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 1.2 – Вертикальний шнековий конвеєр

Конструктивно-технологічна схема гнучкого гвинтового конвеєра з центральним приводом дозволяє здійснювати транспортування сипкого матеріалу в тягнучому режимі від зони забору до перевантажувального патрубку, а потім у штовхаючому режимі до зони вивантаження. Гнучкість кожуха також надає можливість змінювати трасу транспортування, адаптуючи систему до різних умов експлуатації без необхідності переміщення стаціонарних компонентів, таких як бункери або приводи.

					ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Одномагістральні гнучкі гвинтові конвеєри, що мають спеціальну конструкцію у вигляді завантажувальної магістралі з патрубком, подібним до бура, застосовуються для ефективного забору ущільнених і злежаних матеріалів. У процесі експлуатації оператор занурює завантажувальний патрубок у матеріал, наприклад, у мінеральні добрива. Конусоподібні гвинтові лопатки, розташовані на бурі, при обертанні вриваються в матеріал, розрихлюють його і подають у середину еластичного кожуха. Далі, за допомогою гнучкого гвинтового робочого органу, матеріал переміщується в зону завантаження.

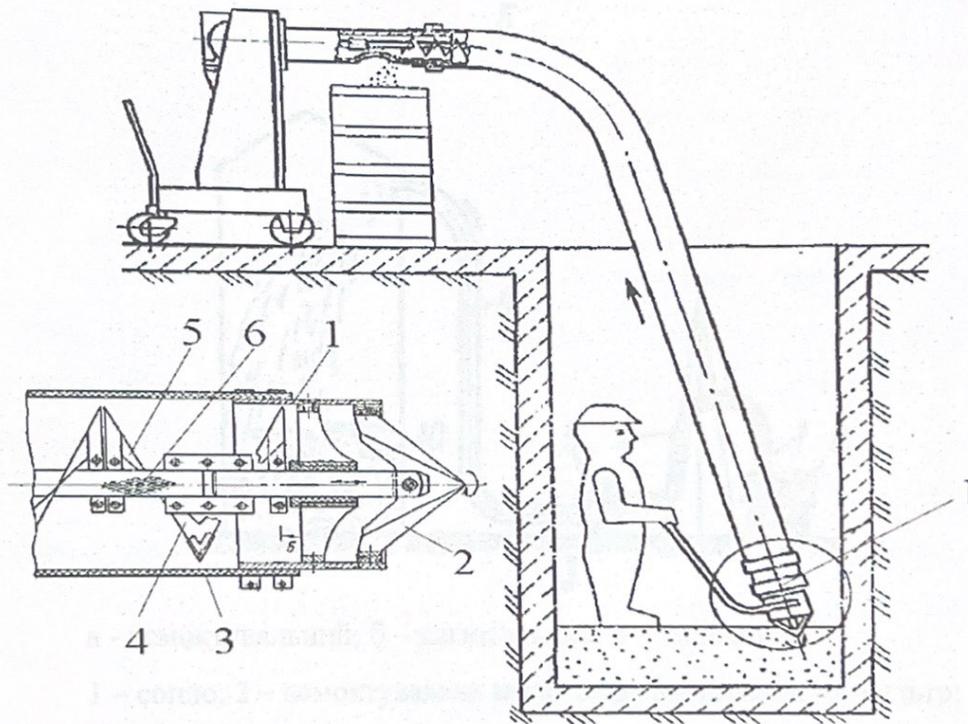
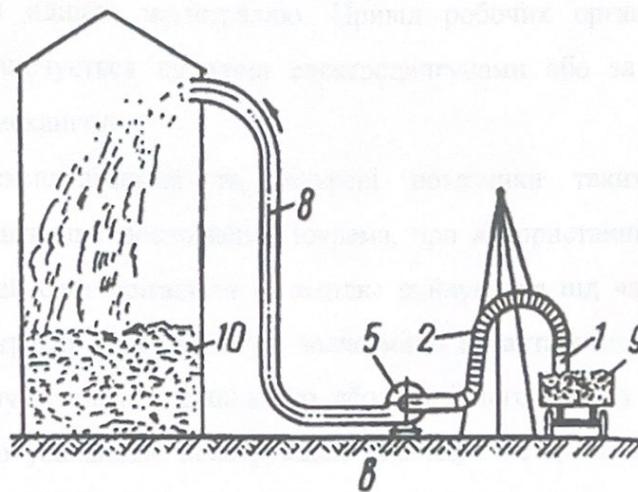
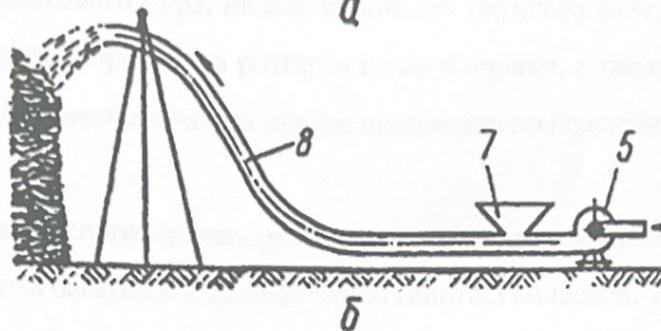
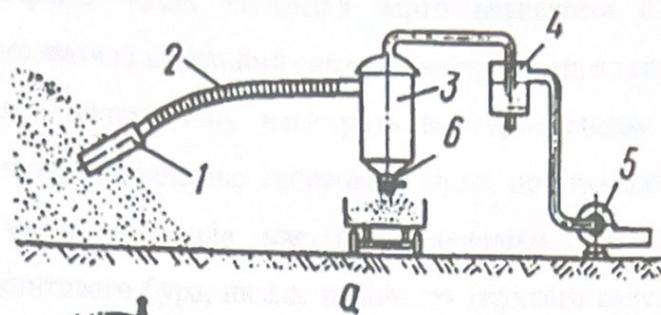


Рисунок 1.3 – Конвеєр шнековий з гнучким валом



а - всмоктувальний; б - нагнітальний; в - змішаний;

1 - сопло; 2 - всмоктувальна магістраль; 3 - циклон; 4 - фільтр;

5 - вентилятор; 6 - затвор; 7 - бункер; 8 - вивантажувальна магістраль;

9 - причіп; 10 - сховище

Рисунок 1.4 - Схеми пневмо транспортерів

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ

Лист

10

Серед переваг таких конвеєрів варто відзначити їхню здатність ефективно працювати із злежаними сипкими матеріалами, а також можливість використовувати технологічну магістраль на вертикальних ділянках. Це досягається завдяки кріпленню гвинтової спіралі до гнучкого валу. Проте конструкція таких конвеєрів має певні недоліки, зокрема складність конструкції гвинтового бура, низьку надійність гнучкого валу, виконаного у вигляді тросу, який працює на розтяг, а не на кручення, а також необхідність постійної присутності оператора під час виконання технологічного процесу.

Для одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів використовують багатомагістральні гнучкі гвинтові конвеєри. У цих системах забір компонентів здійснюється через кілька магістралей, після чого суміш транспортується однією магістраллю. Привід робочих органів у таких конвеєрах забезпечується кількома електродвигунами або за допомогою передавальних механізмів.

Однак, експлуатаційні та ресурсні показники таких конвеєрів потребують подальших досліджень. Зокрема, при використанні безвальних гнучких спіралей спостерігається їх швидке руйнування під час роботи на криволінійних трасах через циклічні знакозмінні навантаження. Виконання робочого органу у вигляді суцільного або секційного валу з гвинтовими ребрами значно ускладнює конструкцію, підвищує матеріаломісткість, що призводить до збільшення енерговитрат та можливого пошкодження матеріалів.

Зважаючи на виклики, що виникають під час експлуатації, розробка оптимальних конструкцій гнучких гвинтових конвеєрів залишається актуальним завданням у сфері транспортування сипких матеріалів.

Конвеєри можна поділити за способом транспортування на одно- та багатомагістральні системи. Одномагістральні конвеєри виконують виключно функцію транспортування матеріалу без додаткових завдань. Вони, у свою

чергу, поділяються на тягучі та штовхаючі залежно від місця розташування елементів приводу. У тягучих транспортерах завантаження сипких матеріалів зазвичай здійснюється за допомогою бункера, причому привід робочого органу розміщується безпосередньо в зоні бункера.

Існують також гнучкі гвинтові конвеєри, в яких завантаження технологічної магістралі відбувається шляхом захоплення матеріалу відкритою частиною спіралі (рисунок 1.5 -1.6). Ця спіраль може бути оснащена різними насадками, що дозволяють вводити її безпосередньо в купу сипкого матеріалу, забезпечуючи ефективн захоплення і транспортування матеріалу до зони вивантаження.

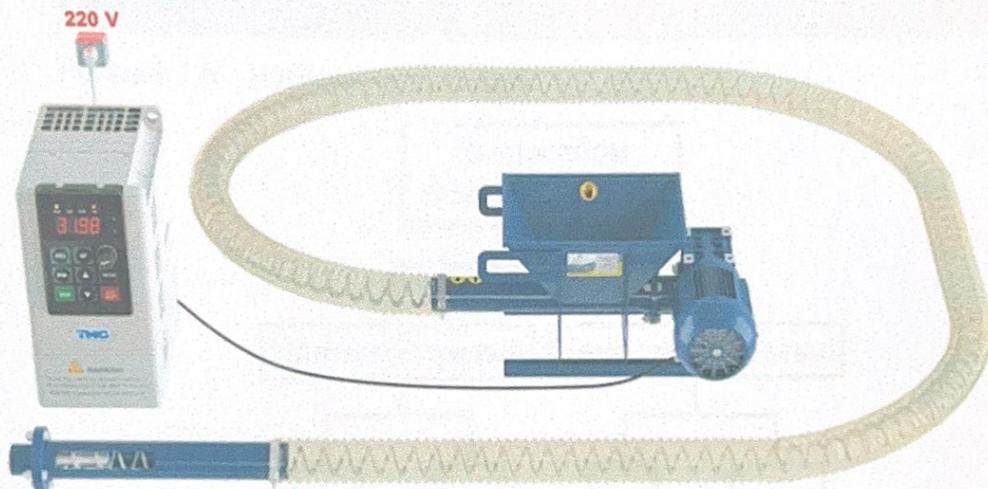


Рисунок 1.5 – Гнучкий гвинтовий конвеєр

Шнекові транспортери мають поділ за способом розвантаження, за типом привідного робочого органу, за типом гвинтового органу (рисунок 1.7-1.9).

					ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

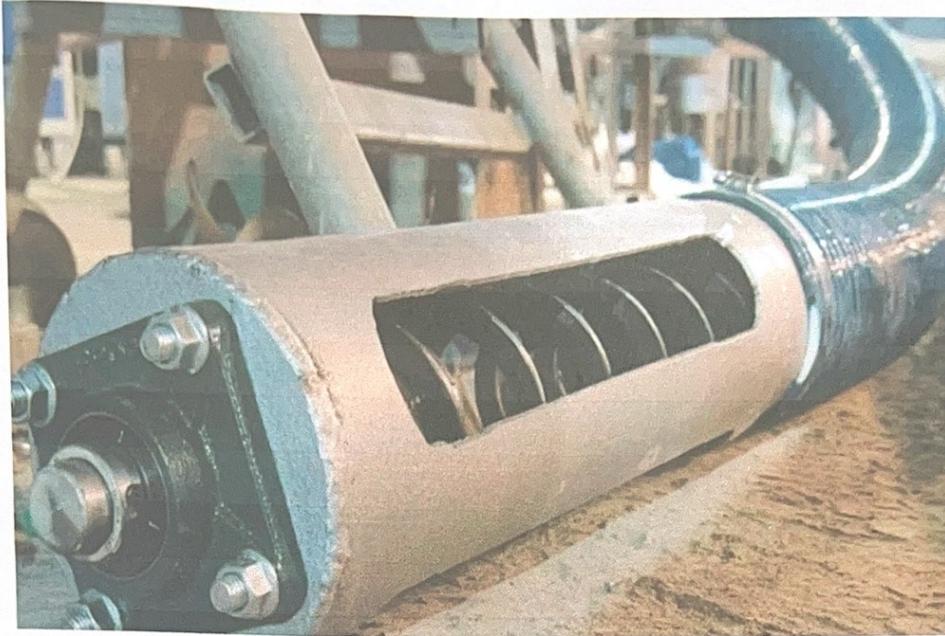


Рисунок 1.6 – Насадка магістральна

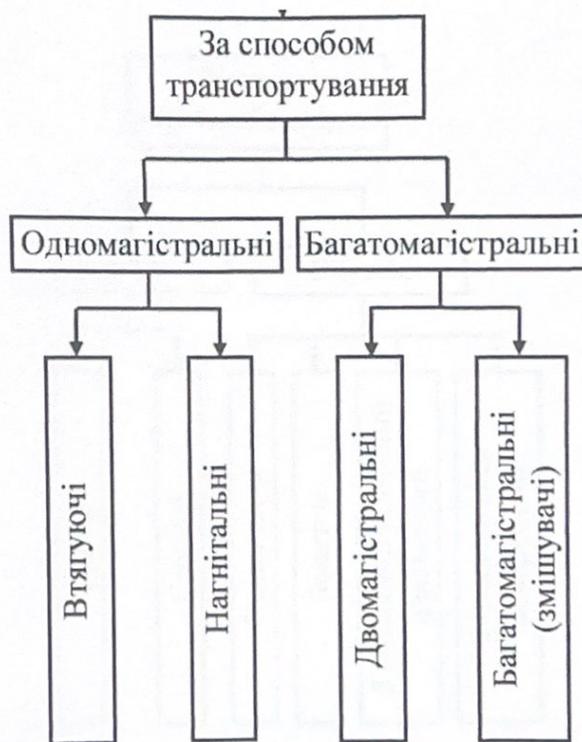


Рисунок 1.7 – За способом розвантаження гвинтові конвеєри поділяються

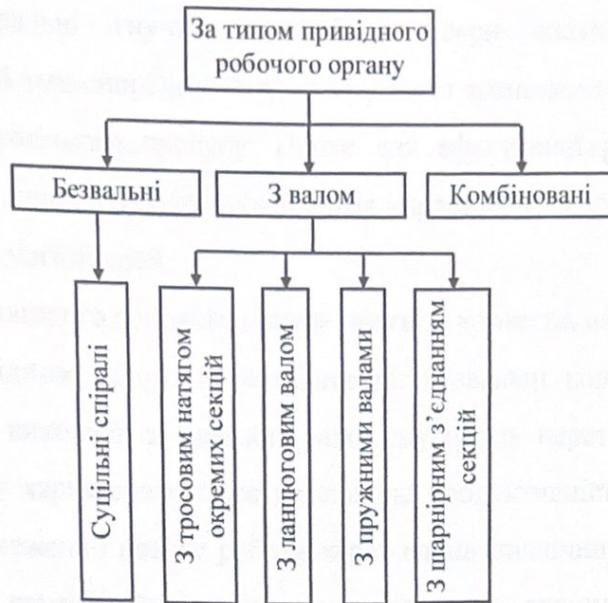


Рисунок 1.8 – За типом привідного робочого органу конвеєри поділяються

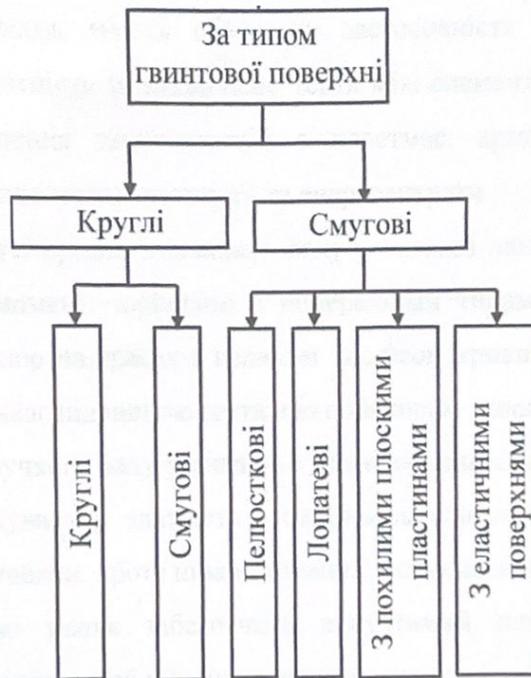


Рисунок 1.9 – За типом гвинтового органу гвинтові конвеєри поділяються

Багатомагістральні гнучкі гвинтові конвеєри здатні одночасно виконувати функції транспортування та змішування компонентів, що сприяє оптимізації технологічного процесу. Проте для ефективної роботи таких систем необхідне точне дозування компонентів і правильний вибір параметрів та режимів роботи магістралей.

За типом привідного робочого органу гвинтові конвеєри поділяються на безвальні, з привідним валом, та комбіновані. Безвальні конвеєри мають суцільні спіралі, виконані з круглого або смугового перетину. Спіралі круглого перетину характеризуються невеликою продуктивністю, а смугові спіралі мають обмежений ресурс роботи через вплив циклічних згинальних навантажень на криволінійних ділянках траси, що спричиняє швидке зношування матеріалу.

Конвеєри, у яких передача крутного моменту здійснюється через окремі секції, з'єднані тросом, мають обмежену застосовність через невисоку навантажувальну здатність та підвищене тертя між елементами зачеплення. Водночас, виготовлення таких секцій з пластмас, армованих скляним волокном, знижує їхню металомісткість та енерговитрати.

Гвинтові робочі органи з основою валу у вигляді ланцюга передають більший крутний момент порівняно з попередніми типами, але їх варто використовувати лише на трасах з великим радіусом кривизни, оскільки на малих радіусах виникає підвищене тертя, що прискорює зношування ланцюга.

Виконання гнучкого валу у вигляді з'єднаних гвинтових секцій значно підвищує навантажувальну здатність і надійність конвеєра на ділянках з малим радіусом кривизни, проте ці конструкції є складними у виготовленні та складанні. Важливо також забезпечити допустимий рівень контактних напружень у парах тертя, щоб уникнути інтенсивного зношування, спростити конструкцію робочих органів і підвищити їхню ремонтоздатність.

Для довгих технологічних магістралей використовуються комбіновані робочі органи, де секції з максимальною навантажувальною здатністю

					ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		15

розташовуються ближче до привідного валу, а ближче до зони вивантаження — менш матеріаломісткі секції з меншою передачею крутного моменту. Цей підхід дозволяє рівномірно розподіляти навантаження по довжині гвинтового робочого органу, хоча й вимагає використання різних типорозмірів секцій.

За типом гвинтової поверхні робочі органи можуть бути круглими або смуговими. Конвеєри з круглим поперечним перетином можуть бути однозахідними (зазвичай для подачі кормів, де не потрібна висока продуктивність) або багатозахідними з різним діаметром навівання для підвищення продуктивності.

Перевагою таких типів робочих органів є відносна простота їхнього виготовлення, проте це ускладнює процес складання та кріплення робочих елементів до валу. Крім того, вони мають невисоку продуктивність, тому їх доцільно використовувати лише у випадках, коли потрібно розпушити сипкий матеріал чи суміш.

Еластичні смугові поверхні робочих органів зазвичай застосовуються для транспортування насінневого матеріалу та капсул, оскільки вони дозволяють мінімізувати пошкодження частинок. Важливою особливістю таких органів є кріплення еластичних щіток або секційних пластин до гвинтового ребра. Однак, ці типи робочих органів ще недостатньо вивчені і потребують подальших досліджень.

## 1.2 Гвинтові робочі органи з гнучким валом

Виконавши огляд літературних джерел було виявлено більше 30-ти патентів на конструкції гвинтів з гнучким валом. Круглий поперечний переріз гвинтової спіралі забезпечує гнучким конвеєрам вищу маневреність порівняно зі спіралями зі смуговим перерізом.

						ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
							16
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			

Наприклад, одна з конфігурацій таких робочих органів зображена на рис. 1.10. Основною перевагою круглої спіралі є можливість виготовлення з високовуглецевих сталей, які підлягають термічній обробці. Проте термічна обробка можлива тільки у некаліброваному стані, оскільки робочий орган виготовляється суцільним і має довжину від 3 до 6 метрів. Недоліками є обмежена продуктивність, адже круглий переріз не забезпечує концентрацію сили при транспортуванні матеріалів.

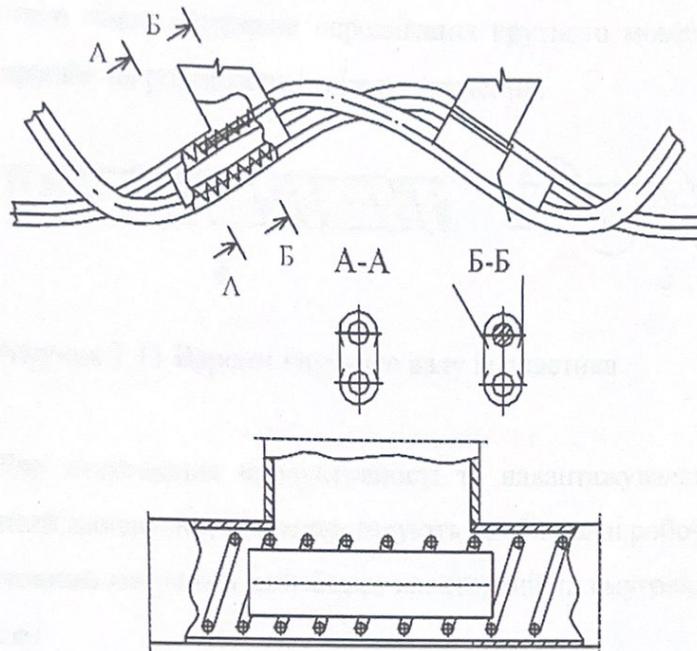


Рисунок 1.10 – Пруток -гвинт – гвинтового конвеєра

Суцільні смугові спіралі мають значно вищу продуктивність, але їх маневреність обмежена. Низьковуглецеві сталі, що використовуються для їх виготовлення, швидко зношуються при роботі на малих радіусах кривизни. Хіміко-термічна обробка спіралей не вирішує цієї проблеми кардинально.

Аналіз наукової та патентної інформації показує, що перспективним напрямком розвитку є використання комбінованих робочих органів, які поєднують гвинтову спіраль для транспортування сипкого матеріалу і гнучкий вал для передачі крутного моменту.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ

Лист

17



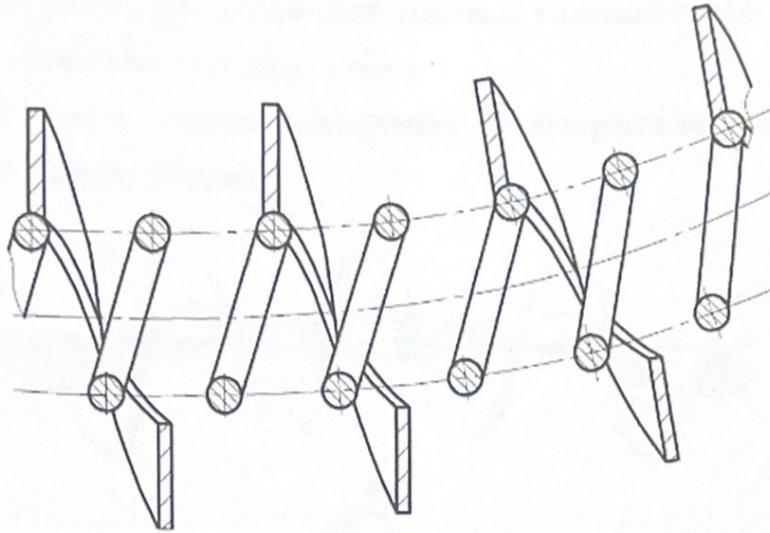


Рисунок 1.12 – Комбінований шнек

Для транспортування сипких матеріалів на значні відстані можна скористатися конструкцією з гнучкими смуговими шнеками з горизонтально-несучою і вертикально-технологічною спіралями (рисунок 1.13)

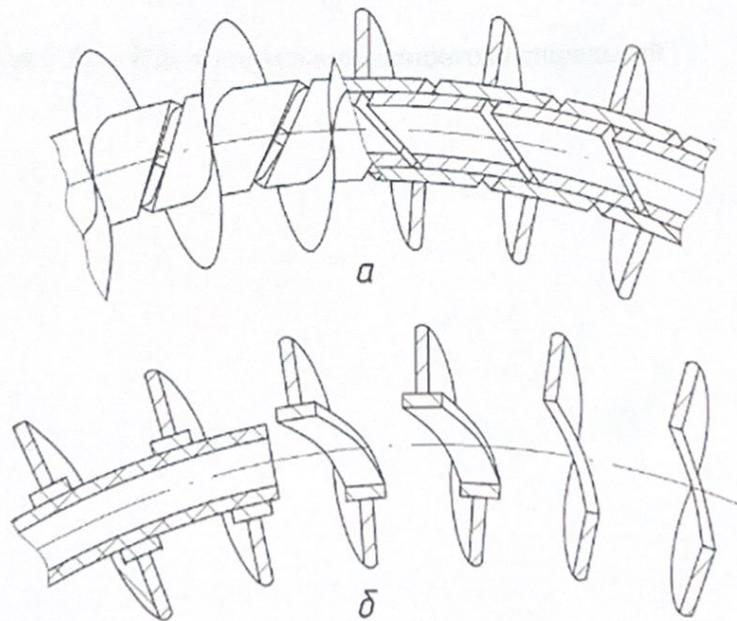


Рисунок 1.13 – Шнек спіральний з армуванням

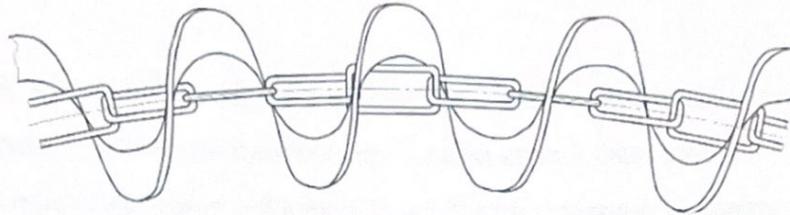
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ

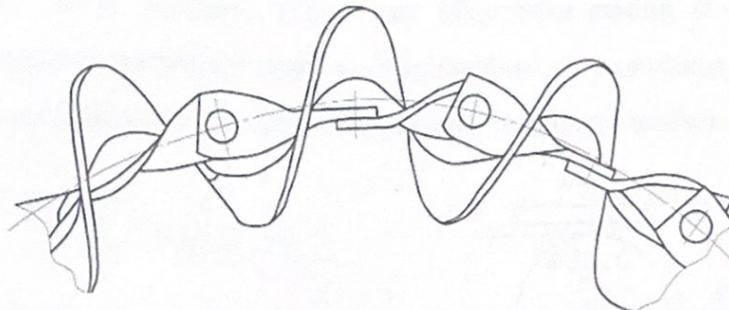
Лист  
19

Армування у данному випадку виконано з сталюго тросу в першому варіанті, а в другому з гумового шланга.

Ще однією цікавою конструкцією є використання ланцюгів або шарнірно зєднаних пластин.



а



б

Рисунок 1.13 – Шнек спіральний ланцюгово спіральний

## Розділ 2: Проектування та розрахунок конструкторських параметрів.

### 2.1 Аналіз існуючих методик розрахунку

В методиці [1, 6] при розрахунках, що стосуються технологічності конструкції, прийнято вважати, що каркас секцій складається з двох плоских паралельних пластин з шириною  $H$ , де бокові поверхні виконані з радіусом  $R$ , при цьому  $2R=H$ . Відстань від центру обертання секцій точка  $O$  до країв пластин сусідніх секцій дорівнює  $R$ . При початковому осьовому розташуванні сусідніх секцій між їхніми пластинами існує зазор, що дорівнює  $\Delta z$ .

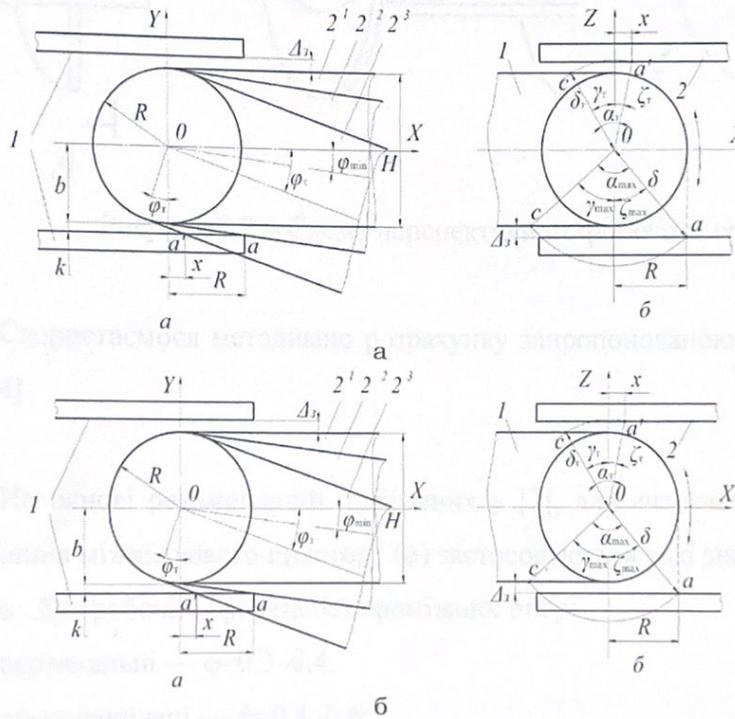


Рисунок 2.1 – Розрахункові схеми визначення положення шнека

<b>ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ</b>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Обрєвко		<i>[Signature]</i>	23.08
Перев.	Срібнюк		<i>[Signature]</i>	23.08
Керівник				
Н. контр.	Васильєв		<i>[Signature]</i>	26.08
Затв.	Орисенко		<i>[Signature]</i>	26.08
Проектування та розрахунок конструкторських параметрів.				
Літ.	Лист	Листів		
H	21			
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»				

На початковому етапі в запропонованій методиці визначають мінімальний кут повороту положення двох секцій одна відносно іншої в площині XOY, після розглядається площина XOZ в обох випадках визначаємо коли сусідні пластини перетинаються в точці а.

На рисунку 2.2 зображено схему перспективного робочого органу [2] який є універсальним та простим в ремонті

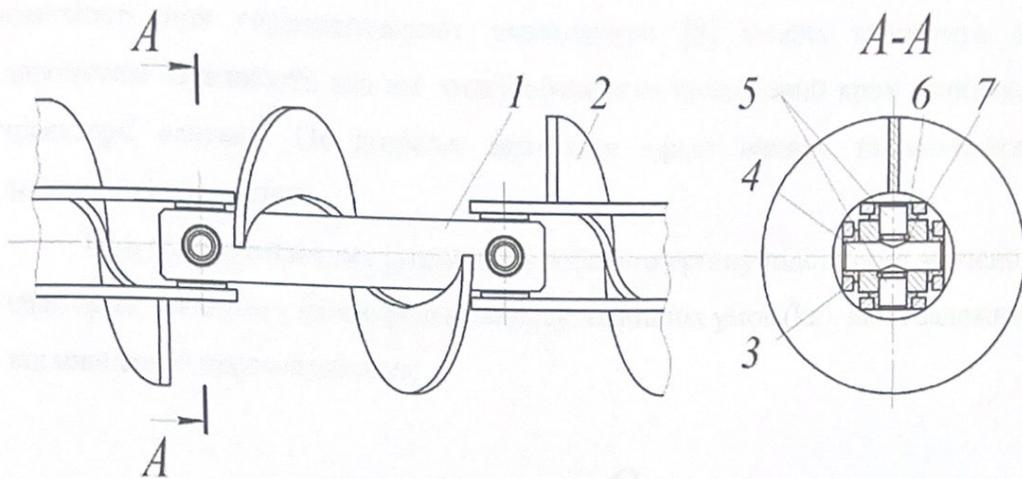


Рисунок 2.2 – Схема перспективного робочого органу [2]

Скористаємося методикою розрахунку запропонованою авторами [2,3,-9,12,14].

На основі рекомендацій, наведених у [2], для визначення коефіцієнта заповнення міжвиткового простору ( $\phi$ ) застосовуються такі значення:

а) Для робочих органів без проміжних опор:

вертикальні —  $\phi=0,3-0,4$ ;

крутонахилені —  $\phi=0,4-0,6$ ;

горизонтальні та пологі —  $\phi=0,5-0,7$ .

б) Для всіх гвинтових механізмів з проміжними опорами —  $\phi=0,25-0,3$ .

Далі, залежно від коефіцієнта зовнішнього тертя вантажу ( $\mu$ ), на основі

					ГМiМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		22

даних [4,6] визначають коефіцієнт кроку гвинта ( $k_s$ ).

Для визначення оптимального кута нахилу гвинтової магістралі перевантаження ( $\beta$ ), який забезпечує оптимальні кінематичні параметри процесу перевантаження, було розроблено аналітичний підхід. Цей підхід базується на взаємозв'язку осьової швидкості переміщення частинки матеріалу в гвинтовому робочому органі та осьової швидкості вантажу.

Відношення швидкості перевантаження при нахиленому шляху до швидкості при горизонтальному переміщенні [8] можна визначити за допомогою залежності, яка дає змогу обчислити приведений крок гвинтової траєкторії вантажу. Це дозволяє врахувати ефект нахилу та визначити оптимальні параметри.

При горизонтальному розміщенні робочого органу підставимо значення  $\tan\beta_{гор}$  та замінімо  $v$  на коефіцієнт впливу зовнішніх умов ( $k_z$ ), який залежить від швидкості перевантаження:

$$P = \frac{Q}{\phi \cdot \operatorname{tg}\beta_{гор}} \quad (2.1)$$

де:

$\phi$  — коефіцієнт заповнення міжвиткового простору [8],

$\beta$  — кут нахилу гвинтової магістралі перевантаження,

$\alpha$  — кут нахилу гвинтової поверхні по лінії переміщення центру мас,

$\mu_1$  та  $\mu_2$  — коефіцієнти тертя між матеріалом та поверхнями робочого органу і кожуха.

Коефіцієнт швидкохідності ( $k_{шв}$ ), який забезпечує мінімальні витрати на експлуатацію, визначається за формулою:

					ГМiМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$k_{шв} = \frac{Q}{\phi \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (\mu_1 + \mu_2)} \quad (2.2)$$

Кутова швидкість робочого органу розраховується за залежністю:

$$\omega = \frac{k_Q \cdot Q}{g \cdot D} \quad (2.3)$$

де:

$k_Q$  — коефіцієнт напрямку вектора швидкості потоку,

$Q$  — продуктивність гвинтового механізму (т/год.),

$g$  — прискорення вільного падіння,

$D$  — діаметр спіралі.

Подальший розрахунок оптимальних конструктивних параметрів гвинтового перевантажувального механізму проводиться за трьома альтернативними схемами, з яких перша враховує обмеження за продуктивністю та пластичністю.

$$D = \sqrt{8\pi^2 \phi_{доп}^2 Q / [k_T \phi \omega (\phi_{доп}^2 - 1) (\pi^2 + 1)]}$$

$$d = D \sqrt{\pi^2 + 1 - \phi_{доп}^2} / (\pi \phi_{доп});$$

$$H = \max\{H_{min}; (D - d) / \delta\}. \quad (2.4)$$

де  $\phi_{доп}$  — допустимий коефіцієнт нерівномірності витягування.

Одержані значення перевіряються на відповідність обмеженням:

					ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		24

$$H - H_{max} \leq 0. \quad (2.5)$$

Якщо умова не задовольняється тоді використовують розрахункову схему

$$H = H_{max}; \quad (2.6)$$

$$D = H_{max} [\sqrt[3]{1 + 8Q\delta / (k\phi H_{max} + 1)} / (2\delta)]; \quad (2.7)$$

$$d = D - 2H_{max}. \quad (2.8)$$

Якщо параметри  $d$ ,  $D$ , обчислені за попередніми схемами, не задовільняють умову:

$$2T_{кр} / (\pi[\tau_{кр}]) \leq 0, \quad (2.9)$$

то розрахунок проводиться за схемою, для якої вирішальним є обмеження опору крутному моменту.

Тоді параметр  $D$  визначається за ітераційною залежністю:

$$D_i = \sqrt{d^2 D_{i-1} + 8Q / (k\phi\omega)}. \quad (2.10)$$

Величина  $d$  знаходиться за наближеною формулою:

					ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$d = \sqrt{2M_{кр} / (\pi[\tau_H])}, \quad (2.11)$$

Як вихідні дані  $d, D$  тут використовуються будь-які із раніше обчислених значень. Використання залежностей тільки один раз ( $i = 1$ ) дає практично точний результат. Параметр  $H$ , як і в першій розрахунковій схемі, приймається більшим із двох значень.

Одержані значення  $D, d, H$  в процесі розрахунку приводяться у відповідність з вимогами стандартів.

Визначення швидкості, м/с за формулою (2.12)

$$V = \frac{Q}{900\pi(D^2 - d^2)\varphi G c_o} \quad (\text{м/с}), \quad (2.13)$$

де  $Q$  - продуктивність ГПМ,  $\text{т/год.}$ ;  $D$  - зовнішній діаметр робочого органу,  $\text{м}$ ;  $d$  - діаметр внутрішньої робочого органу,  $\text{м}$ ;  $G$  - об'ємна вага вантажу,  $\text{т/м}^3$ ;  $\varphi$  - коефіцієнт заповнення міжвиткового простору;  $c_o$  - коефіцієнт, який враховує осипання вантажу через зазори між зовнішньою кромкою і кожухом ( $c_o = 0.9 \dots 1$ ).

Колова швидкість зовнішньої кромки робочого органу визначається з залежності:  $v = \mu D/2$ .

Наступним етапом являється погона маса вантажу що транспортується.

$$q = 250\pi(D^2 - d^2)\varphi C G \quad (\text{Н/м}), \quad (2.14)$$

де  $C$  - коефіцієнт, що враховує кут нахилу магістралі до горизонту  $\beta$ .

Осова сила визначається за формулою (2.15)

$$F_a = qL(\sin \gamma + \mu_2 \cos \beta) \text{ (Н)}, \quad (2.15)$$

де  $q$  - вага матеріалу на 1 м довжини, Н/м;  $L$  - довжина магістралі, м;  $\beta$  - кут нахилу конвеєра, град.;  $\mu_2$  - коефіцієнт тертя транспортованого матеріалу з кожухом.

Крутний момент на привідному валу визначається за формулою

$$T = 0,5D_{CP}F_a \operatorname{tg}(\alpha + \mu_1) \text{ (Нм)}, \quad (2.16)$$

де  $D_{CP} \approx 0,8D$ ;  $F_a$  - осьова сила, що діє на робочий орган;  $\mu_1$  - кут тертя транспортованого вантажу.

Розрахункова потужність потрібна для приведення в дію шнека визначається за формулою (2.17).

$$N = k_i k_n k_h Q(Lk_{on1} + hk_{on2}), \quad (2.17)$$

де  $k_i = 1,05 \dots 1,2$  - коефіцієнт подолання інерції у період пуску;  $k_n = 1,05 \dots 1,4$  - коефіцієнт опору від перемішування вантажу;  $k_h = 1 \dots 3$  - коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу магістралі;  $L$  і  $h$  - відповідно довжина переміщення та висота підйому вантажу;  $k_{on} = 1,2 \dots 6,0$  - коефіцієнт опору переміщенню.

Остаточно приймаємо потужність двигуна із врахуванням коефіцієнта перевантаження  $k=1,2$  та коефіцієнта корисної дії приймаємо в межах 0,85.

$$N_d = \frac{kN}{\eta}, \quad (2.18)$$

					ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		27

Отже за наведеною методикою можна пвдібрати основні параметри обладнання.

Скориставшись наведеною інформацією в роботі [2, 6] а саме графіками залежності дальності вільного переміщення .

Дослідникам встановлено що при швидкості 750 об/хв є вірогідність переміщення частинок на відстань 220мм, а мінімальна відстань становитиме 190мм, також можна додати що із зменшенням швидкості обертання буде і падати відстань переміщення.

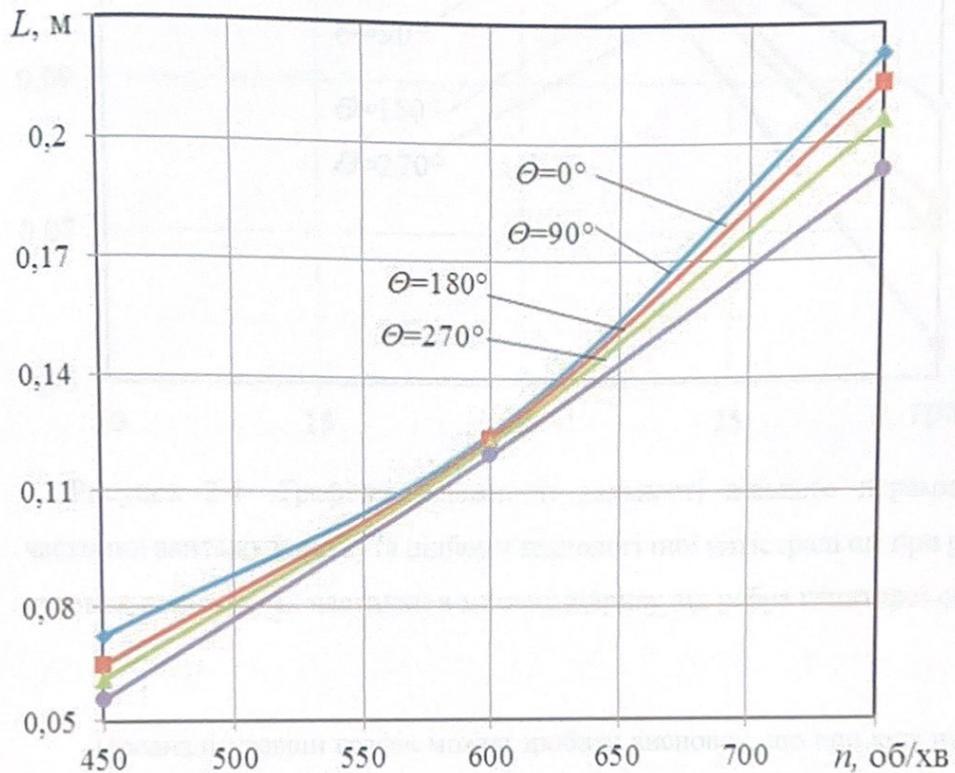


Рисунок 2.3 – Графічні залежності дальності вільного переміщення частинки вантажу  $L$  від частоти обертання робочого органу  $n$  при різних кутів положення частинки в момент відриву від ребра гвинтової спіралі

На рисунку 2.4 наведено графік залежності переміщення частинок яке залежить від кута встановлення магістралі.

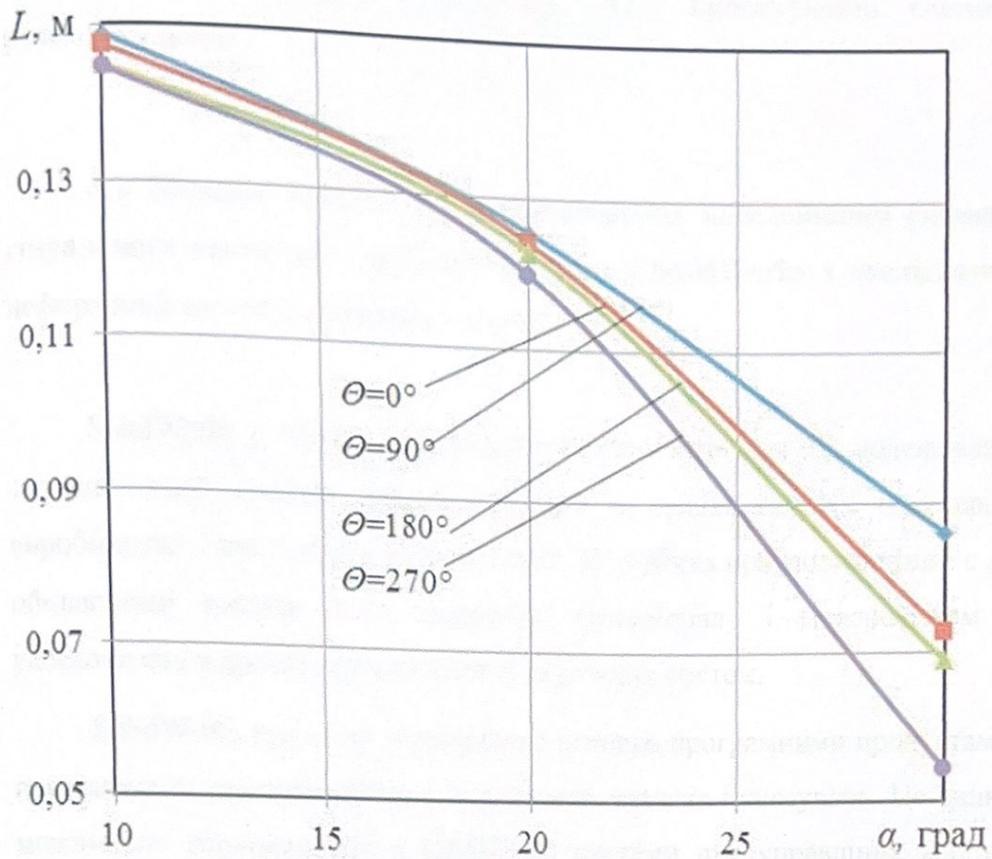


Рисунок 2.4 –Графічні залежності дальності вільного переміщення частинки вантажу L від кута підйому технологічної магістралі αм при різних кутових положеннях частинки в момент відриву від ребра гвинтової спіралі

Проаналізувавши графік можна зробити висновок, що при куті підйому  $10^0$  дальність переміщення матеріалу буде максимальна 150мм, а при куті  $30^0$  становитиме 50 мм.

## Розділ 3 Використання комп'ютерного моделювання в програмному комплексі SolidWorks при проектуванні елементів рухомого шнека

### 3.1 Порядок проведення комп'ютерного моделювання елементів спірального гвинтового робочого органу в SolidWorks з дослідженням деформацій під дією крутного моменту

SolidWorks є одним із провідних інструментів для 3D-моделювання і дизайну, який широко використовується в різних галузях інженерії та виробництва. Перспективи використання SolidWorks при моделюванні є дуже обіцяючими завдяки його широкому функціоналу і можливостям для удосконалення проектування і аналізу технічних систем.

SolidWorks пропонує інтеграцію з різними програмними продуктами та платформами для проведення комплексних аналізів і тестувань. Це включає можливість імплементації в CAD-PLM системи для управління життєвим циклом продукту, що дозволяє спрощувати координацію між командами і знижувати витрати на розробку.

Завдяки розширеним можливостям моделювання, SolidWorks може використовуватися для створення та аналізу складних систем, таких як мехатроніка, системи автоматизації, аерокосмічні компоненти та багато іншого. Це забезпечує можливість детального вивчення взаємодії між різними елементами і компонентами.

					<b>ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Використання комп'ютерного моделювання в програмному комплексі SolidWorks при проектуванні елементів рухомого шнека	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Обрєвко		<i>[Підпис]</i>	23.08		Н	31	
Перев.	Срібнюк		<i>[Підпис]</i>	23.08				
Керівник			<i>[Підпис]</i>					
Н. контр.	Васильєв		<i>[Підпис]</i>	26.08		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Затв.	Орисенко		<i>[Підпис]</i>	26.08				

SolidWorks надає можливості для проведення віртуальних тестувань і симуляцій, що дозволяє оцінювати продуктивність і надійність конструкцій ще до їх фізичного виготовлення. Це включає аналіз навантажень, термічні симуляції, аналіз втоми матеріалів і інші види досліджень.

Оптимізація дизайну: Інструменти для автоматизованої оптимізації конструкцій у SolidWorks допомагають виявити найкращі параметри для досягнення оптимальної продуктивності і зменшення витрат. Наприклад, модуль Simulation Optimization може допомогти в знаходженні оптимальних форм і розмірів для зменшення ваги або підвищення міцності.

Покращення колаборації та комунікації: SolidWorks підтримує інтеграцію з платформами для колаборації, такими як SOLIDWORKS PDM (Product Data Management), що дозволяє зберігати та управляти даними проєктів, а також ефективно спілкуватися між членами команди. Це забезпечує кращу організацію і швидкий доступ до важливої інформації.

Розширені можливості для 3D-друку: SolidWorks підтримує моделювання і підготовку файлів для 3D-друку, що дозволяє створювати прототипи і готові вироби з урахуванням усіх специфікацій і вимог. Це спрощує процес прототипування і дозволяє швидше тестувати нові ідеї.

Розробка інтелектуальних продуктів: SolidWorks дозволяє інтегрувати елементи штучного інтелекту та автоматизації в проєктування, що відкриває нові можливості для створення інтелектуальних і адаптивних продуктів, здатних до самостійного коригування своїх параметрів і функцій.

Таким чином, SolidWorks є потужним інструментом з великим потенціалом для вдосконалення процесів моделювання і проєктування. Його можливості з інтеграції, симуляцій, оптимізації та колаборації роблять його важливим компонентом сучасного інженерного дизайну.

					ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



### 3.2 Моделювання елементів шнека

У нашому дослідженні використано SolidWorks для моделювання руху частинок матеріалу, який транспортується гнучким шнеком. Моделювання проводилось при трьох різних швидкостях обертання шнека: 500, 600 та 700 обертів за хвилину. Це дозволило оцінити вплив швидкості обертання шнека на ефективність транспортування та динаміку переміщення частинок.

Скориставшись попередніми рекомендаціями приймаємо діаметр шнека 70 мм та довжину 120 мм товщину шнека приймаємо 2 мм. Виготовляємо із сталі ст45.

На рисунку 3.1 3d модель шнека який в подальшому був об'єднаний в ланцюжок з таких же самих частинок (рисунок 3.2).

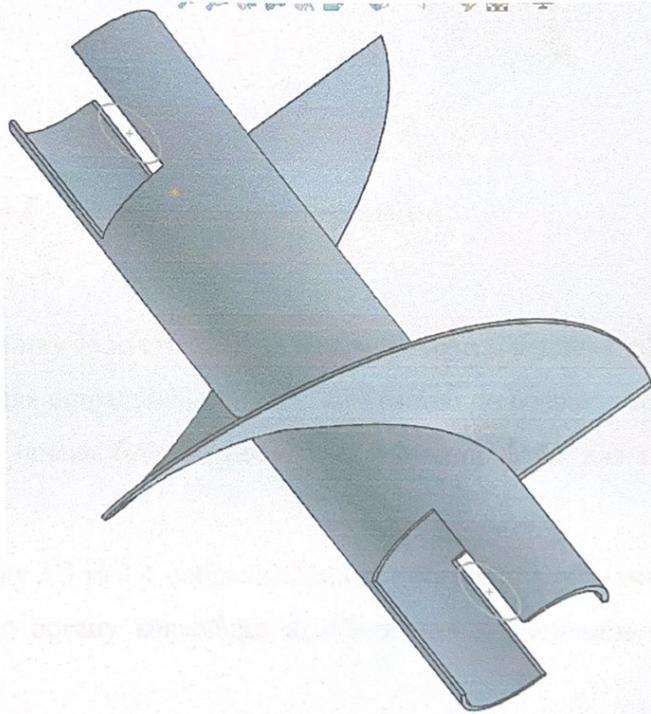


Рисунок 3.1 – Шнек

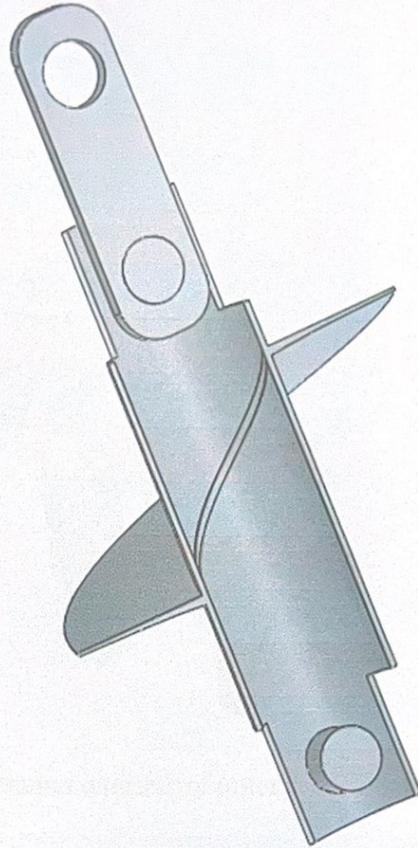


Рисунок 3.2 – Шнек з елементом кріплення

Для початку було створено 3D-модель гнучкого шнека у SolidWorks. Модель включала спіральний елемент, відповідно до розрахункових даних. Кожна модель шнека була збережена як окремий файл для подальшого аналізу.

Нарисунку 3.3 та 3.4 зображено процес об'єднання окремих шнеків у ланку гнучкого органу конвейора та об'єднання з зовнішнім корпусом - трубою.

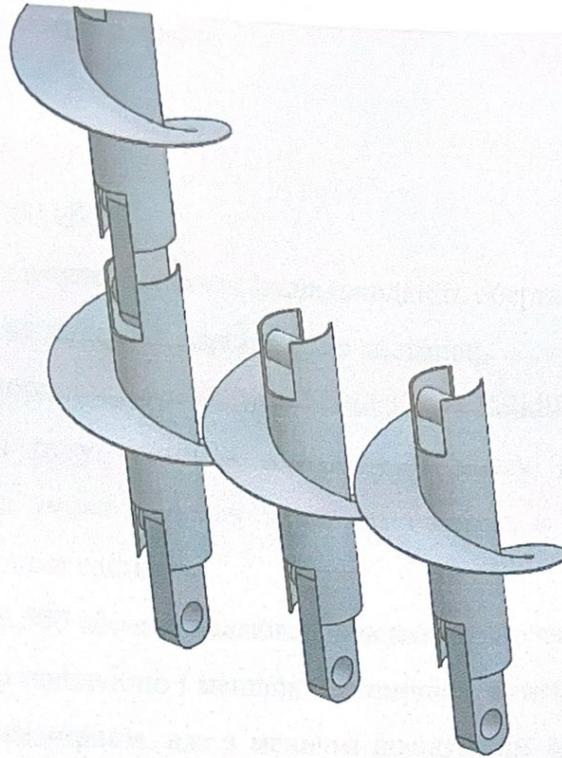


Рисунок 3.3 – Об'єднання елементів шнеку

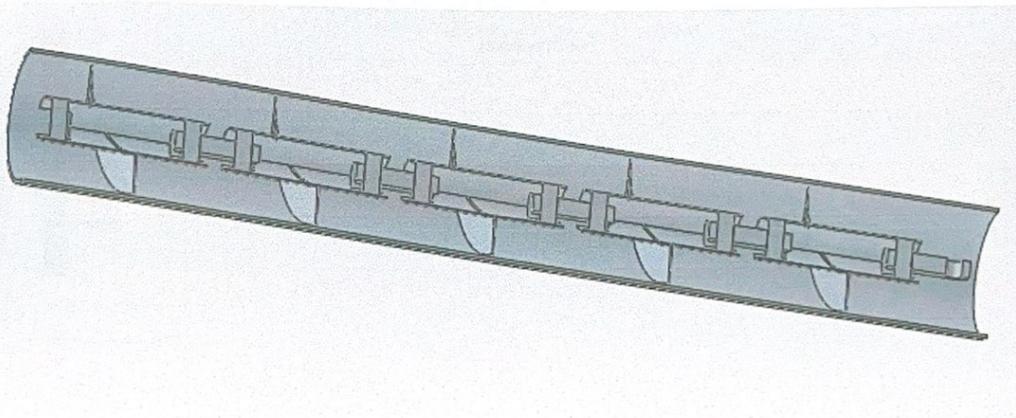


Рисунок 3.4 – Розміщення шнеку в корпусі

Створені моделі були піддані симуляціям віртуального транспортування, де ключовими параметрами були швидкість обертання шнека, тип матеріалу та його властивості. Для симуляцій використовувалися

					ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		35



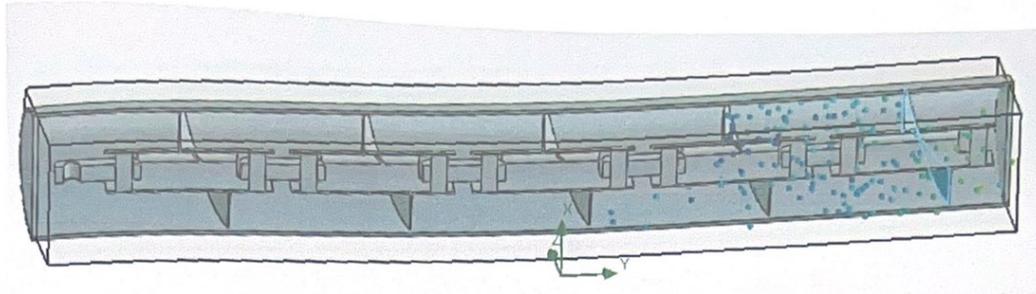


Рисунок 3.6 – Траекторія руху частинок в конвеєрі при 500 об/хв

При 600 об/хв: Збільшення швидкості обертання призвело до більш інтенсивного переміщення частинок. Виявлено, що частинки почали відчувати більше динамічних навантажень, що могло призвести до покращення швидкості транспортування.

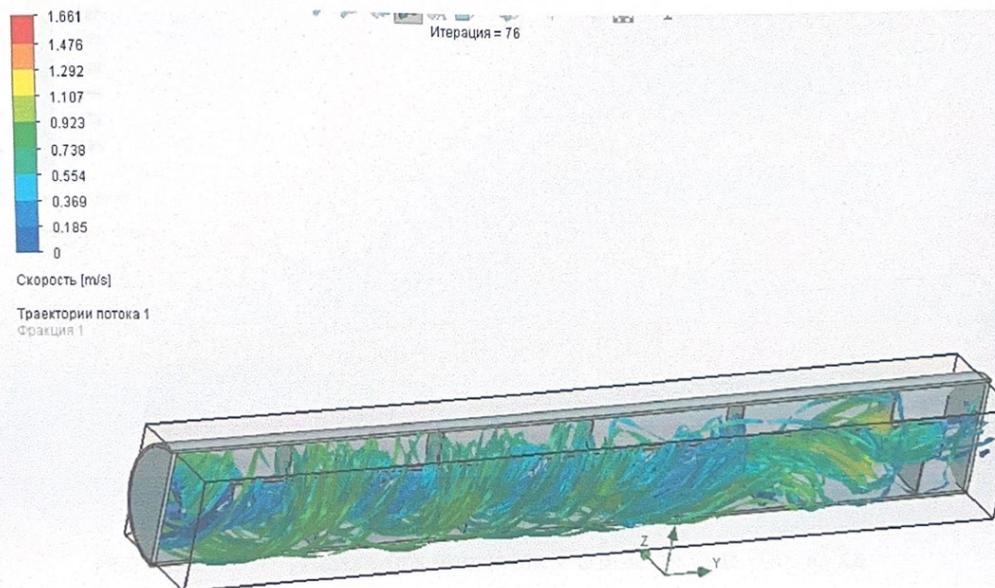


Рисунок 3.7 – Швидкість частинок в конвеєрі при 600 об/хв

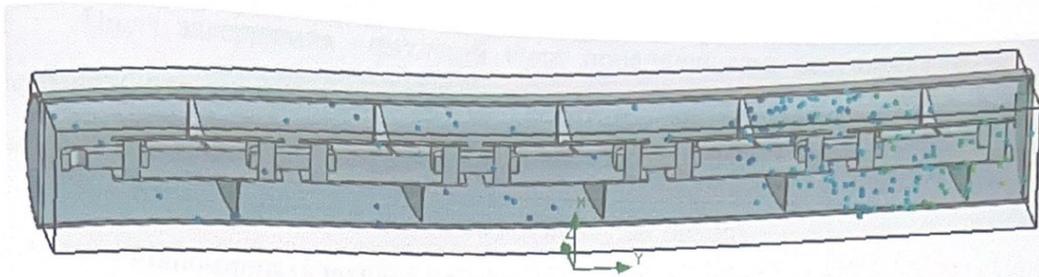


Рисунок 3.8 – Траекторія руху частинок в конвеєрі при 600 об/хв

При 700 об/хв: При максимальній швидкості обертання спостерігалось суттєве підвищення швидкості руху частинок. Однак, це також супроводжувалося збільшенням турбулентності та можливим ризиком нерівномірного розподілу матеріалу по шнеку.

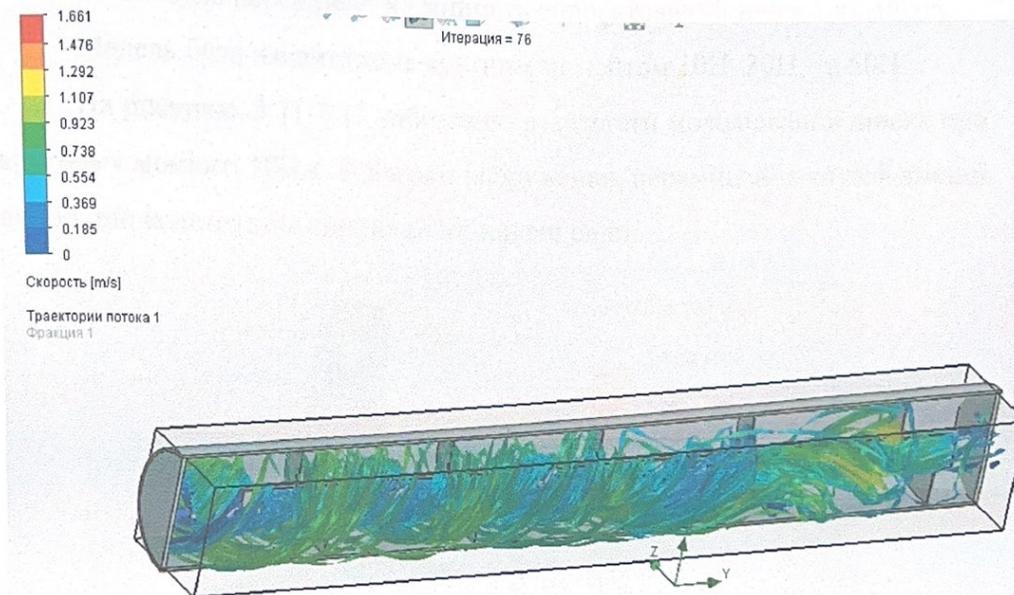


Рисунок 3.9 – Швидкість частинок в конвеєрі при 700 об/хв

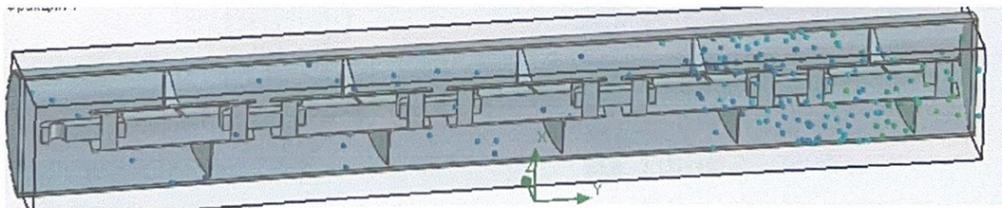


Рисунок 3.10– Траекторія руху частинок в конвеєрі при 700 об/хв



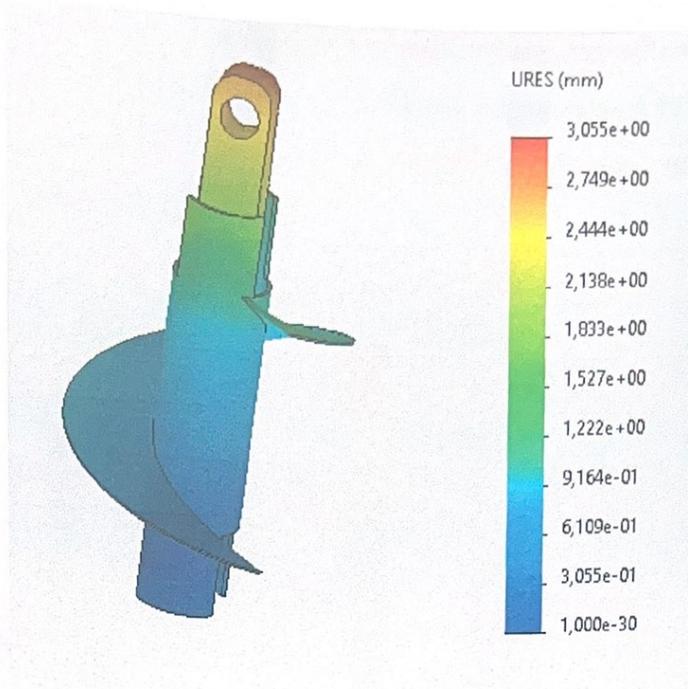


Рисунок 3.12 Переміщення в шнеці крутний момент 10Нм

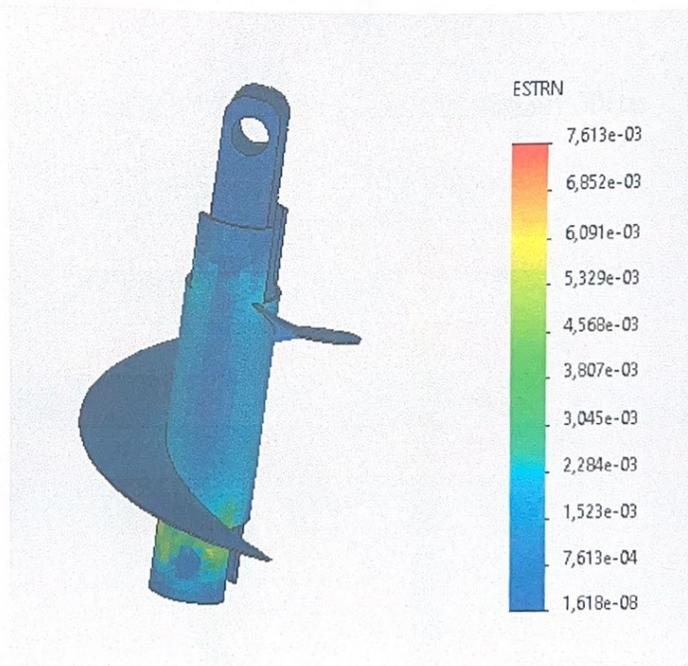


Рисунок 3.13 Деформації в шнеці крутний момент 10Нм

На рисунках 3.14-3.16 зображено результати моделювання шнека при крутному моменті 30Нм . З діаграм напруження, переміщення та деформації видно, що конструкція сприймає накладені сили але переміщення наближається до критичних меж.

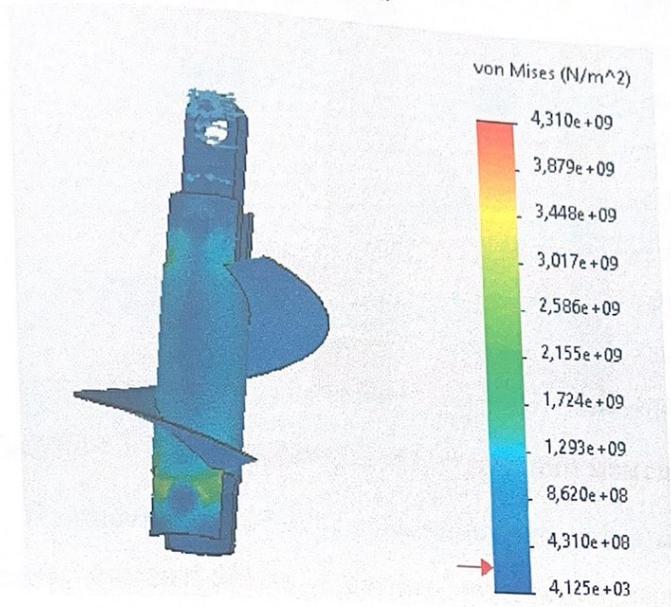


Рисунок 3.14 – Напруження в шнеці крутний момент 30Нм

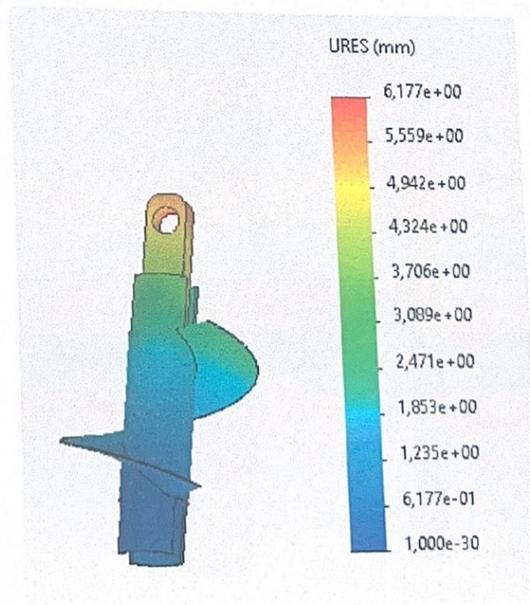


Рисунок 3.15 Переміщення в шнеці крутний момент 30Нм

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ

Лист

41

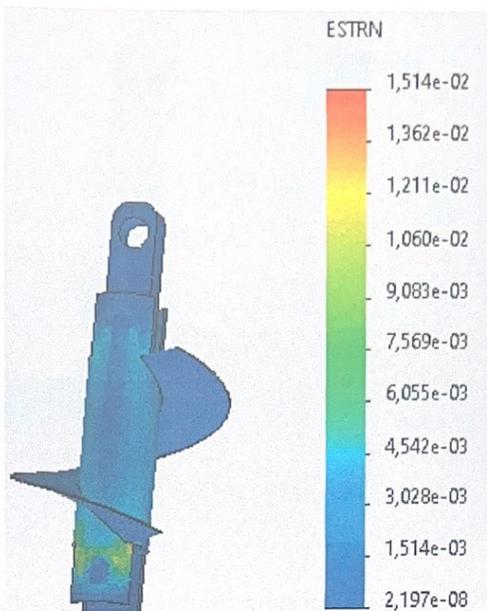


Рисунок 3.15

Рисунок 3.16 Деформації в шнеці крутний момент 30Нм

На рисунках 3.17-3.19 зображено результати моделювання шнека при крутному моменті 50Нм . З діаграм напруження, переміщення та деформації видно, що конструкція сприймає накладені сили але переміщення в деталі кріплення становить 15 мм, що означає вихід із ладу системи вцілому.

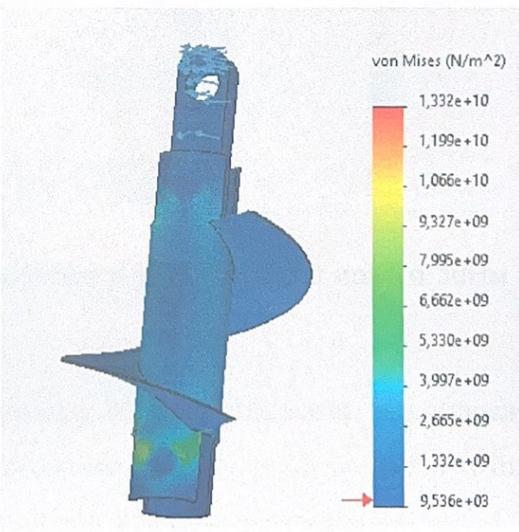


Рисунок 3.17

Діаграма напруження

Рисунок 3.18

Рисунок 3.14 – Напруження в шнеці крутний момент 50Нм

					ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		42

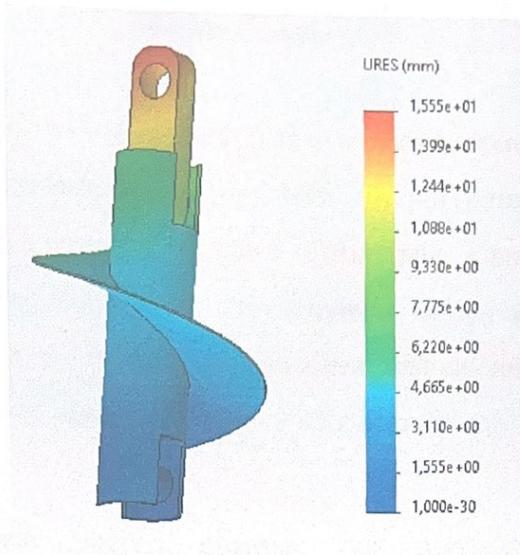


Рисунок 3.15 Переміщення в шнеці крутний момент 50Нм

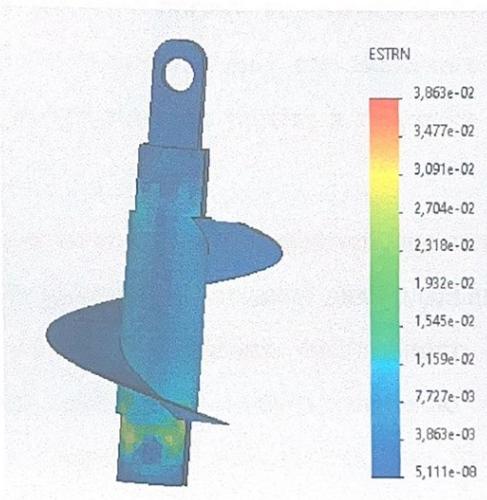


Рисунок 3.16 Деформації в шнеці крутний момент 50Нм

Як висновок по розділу можна наголосити, що змодельована система шнека дозволяє візуально визначити крутні моменти а отже зекономити підчас виготовлення ремонту або обслуговуванні.

## Висновки

В роботі було здійснено детальний аналіз існуючих конструкцій гнучких шнеків, а також проведено дослідження літературних джерел щодо параметрів та умов експлуатації таких механізмів. Основна увага була приділена вивченню впливу конструктивних характеристик, зокрема діаметра шнека, кроку витків, коефіцієнта заповнення міжвиткового простору, а також куту нахилу магістралі на ефективність транспортування матеріалу.

Аналіз наукових джерел показав, що основними критеріями ефективності роботи гнучкого шнека є оптимальне співвідношення між швидкістю обертання робочого органу, конструктивними параметрами та умовами експлуатації. Було встановлено, що зміна цих параметрів може суттєво впливати на продуктивність шнека, а також на зношування його елементів.

Таким чином, було визначено ключові фактори, що впливають на роботу гнучкого шнека, та сформульовано завдання для подальшого моделювання та дослідження з метою підвищення ефективності транспортування матеріалів. Отримані результати стали основою для подальших експериментальних і теоретичних досліджень, що будуть викладені в наступних розділах роботи.

У ході виконання моделювання було проведено комплексний аналіз та моделювання роботи гнучкого шнека для транспортування матеріалів із використанням програмного забезпечення SolidWorks. Основні завдання, які включали моделювання геометрії шнека, дослідження впливу швидкості обертання на траєкторію руху частинок матеріалу, а також оцінку

<b>ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ</b>											
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Висновки			Літ.	Лист	Листів	
Розроб.	Обрєвко			22.08				Н			
Перев.	Срібнюк			22.08							
Керівн.											
Н. контр.	Васильєв			26.08							
Затв.	Орисенко			26.08	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»						

динамічних характеристик процесу транспортування, були успішно реалізовані.

Отримані результати свідчать, що швидкість обертання шнека є критичним параметром, який суттєво впливає на ефективність транспортування матеріалу. Збільшення швидкості обертання покращує швидкість переміщення частинок, але водночас підвищує навантаження на конструкцію шнека та вимагає точнішого контролю процесу. Таким чином, оптимальний вибір швидкості обертання шнека дозволяє досягти балансу між продуктивністю та надійністю роботи обладнання.

Моделювання в SolidWorks продемонструвало свою ефективність як інструмент для віртуального тестування і оптимізації конструкцій гнучких шнеків. Використання цього підходу на етапі проектування дозволяє знизити витрати на фізичні експерименти та скоротити терміни розробки нових високоефективних систем транспортування матеріалів. Отримані в ході роботи дані можуть бути використані для вдосконалення існуючих конструкцій та розробки нових шнекових механізмів із покращеними експлуатаційними характеристиками.

## Список літератури

1. Гевко Р.Б., Гевко М.Р., Павлов К.В., Павлова О.М. Секційні гвинтові конвеєри для транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів : монографія. Луцьк : ФОП Мажула Ю.М., 2023. 190 с.
2. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження / Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р., Дубиняк Т. С., Навроцька Т. Д., Круглик О. А. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. – 208 с.
3. Васильків В.В., Пилипець М.І., Радик Д.Л. Опис геометрії різнопрофільних гвинтових заготовок // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ. – 2002. – Т.8. № 3. – С. 75-83.
4. Взаємозв'язок конструктивних характеристик гвинтових і захисних механізмів від характеру навантаження / Ів.Б. Гевко, Ю.Є. Паливода, О.П. Скиба, Т.С. Дубиняк [та ін.] // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. – Рівне, 2016. – № 3 (75). – С. 257 – 266
5. Вплив зазорів на силу контактної взаємодії в деталях приводу конвеєрів / Л.Р. Рогатинська, Т.С. Дубиняк, Ю.А. Заставний, П.О. Леськів // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій»: 16 – 17 листопада 2017.: тези доп. – Тернопіль, 2017. – С. 159 – 160.
6. Гевко І. Б. Технологічність конструкцій гвинтових транспортно-технологічних механізмів машин / І. Б. Гевко // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2004. – № 73. – С. 348–352.
7. Гевко І. Структурний синтез імпульсних запобіжних муфт і шнеків

				<b>ГМІМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
	Розроб.	Обривко		23.08	Літ.	Лист	Листів
	Перев.	Срібнюк		23.08	Н		
	Керівн.				Список літератури Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
	Н. контр.	Васильєв		26.08			
	Затв.	Орисенко		26.08			

- методом морфологічного аналізу / І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С. 121–134.
8. Гевко І.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.
  9. Григор'єв А. М. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні / А. М. Григор'єв, П. А. Преображенський. – К. : Наукова думка, 1967. – 116 с.
  10. Григорьев А. М. Гибкие шнеки / А. М. Григор'єв, П. А. Преображенський. – К. : Знание, 1967. – 98 с.
  11. Гупка Б.В., Лещук Р.Я., Стухляк П.Д. Методи підвищення зносостійкості пар тертя технологічного оснащення і устаткування // Машинознавство – 2001, №10. -С. 51-55.
  12. Дубиняк Т.С. Обґрунтування конструкцій та параметрів захисних механізмів гнучких гвинтових конвеєрів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.05 «Піднімально-транспортні машини» / Т.С. Дубиняк. – Тернопіль, 2018. – 24 с.
  13. Комар Р.В. Обґрунтування параметрів з'єднувальних компенсуючих муфт з пружними гвинтовими елементами. Дис. канд. техн. наук: 05.02.02. /Р.В. Комар – Хмельницький, 2004. – 150 с.
  14. Лещук Р. Результати експериментальних досліджень гвинтових перевантажувальних механізмів / Р. Лещук, І. Гевко, Р. Комар // Вісник ТДТУ. – 2003. – Т. 8, № 4. – С.56–61.
  15. Новосад І.Я. Технологічне забезпечення виготовлення секцій робочих

- органів гнучких гвинтових конвеєрів: дис. кандидата техн. наук : 05.02.08 / Новосад Іван Ярославович. – Тернопіль, 2007. – 229 с
16. Пилипець М. І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / М. І. Пилипець. – Львів, 2002. – 35 с.
17. <https://zavodgooprogress.com.ua/ua/p908964484-gibkij-shnek-voroshitelem.html> Гнучкий шнек з ворушителем

### Додатки

#### Презентаційні матеріали на тему:

«Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра»

					ГМіМ.601ММв.035-00.00.000 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Додатки

Презентаційні матеріали за темою:

«Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра»

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки  
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

## **Кваліфікаційна робота магістра**

на тему:

# **Дослідження впливу умов експлуатації на надійність роботи гнучкого конвеєра**

Виконав: студент VI курсу, групи 602-ММВ  
напряму підготовки (спеціальності)  
133 Галузеве машинобудування  
Обрешко Роман Михайлович  
Керівник проф. Срібнюк С.М.

**Полтава 2024**

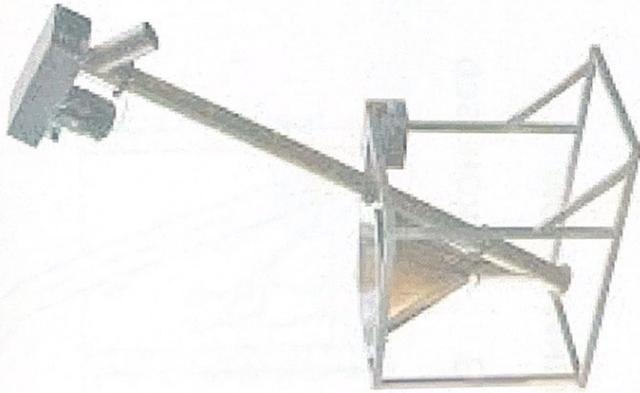


Рисунок 1.1 – Похилый шнековый

конвейер

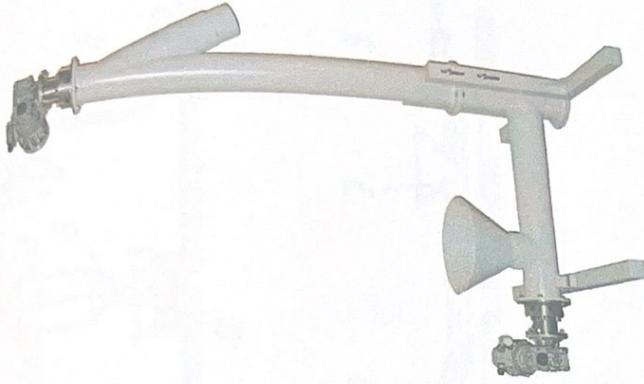


Рисунок 1.2 – Вертикальный шнековый

конвейер

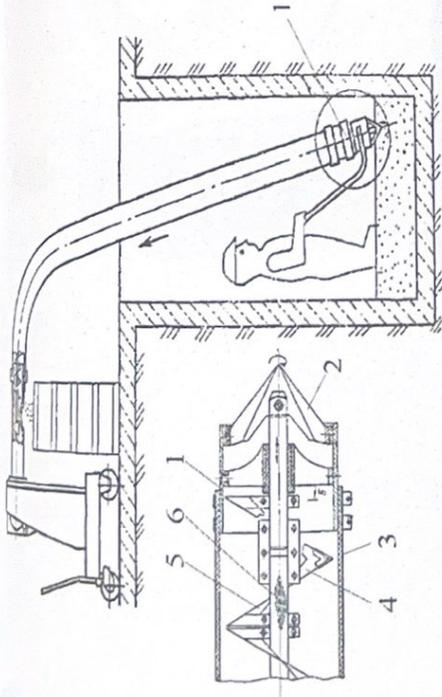
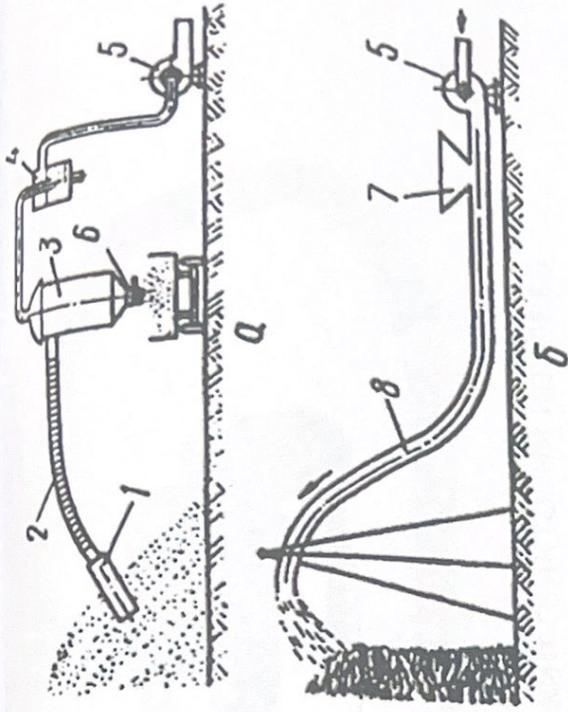
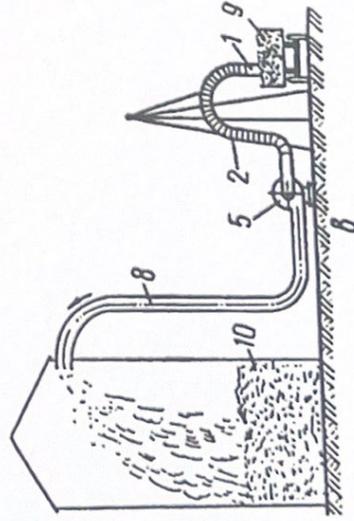


Рисунок 1.3 – Конвеєр

шнековий з гнучким валом



а - всмоктувальний; б - нагнітальний; в - змішаний;

1 - сопло; 2 - всмоктувальна магістраль; 3 - шкелон; 4 - фільтр;

5 - вентилятор; 6 - затвор; 7 - бункер; 8 - вивантажувальна магістраль;

9 - причіп; 10 - сховище

Рисунок 1.4 – Схеми пневмо транспортерів

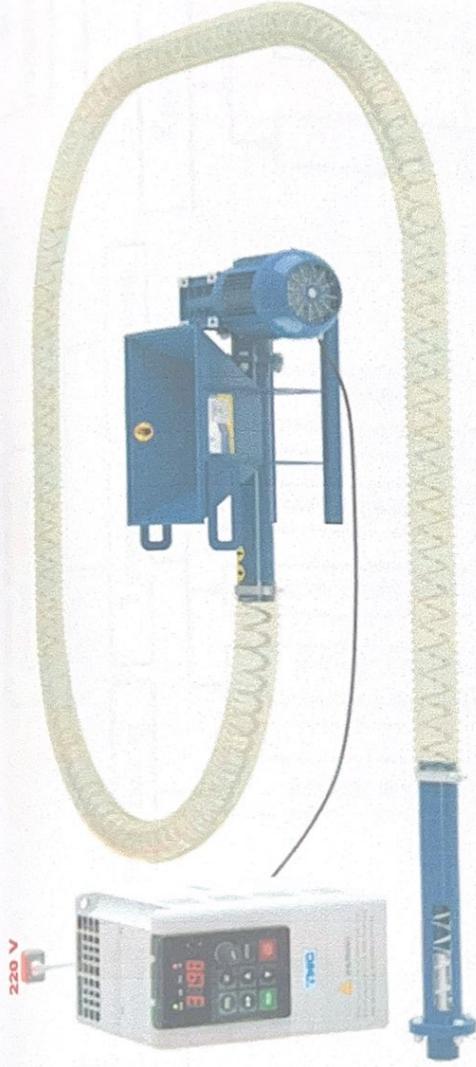


Рисунок 1.5 – Гнучкий гвинтовий конвеєр

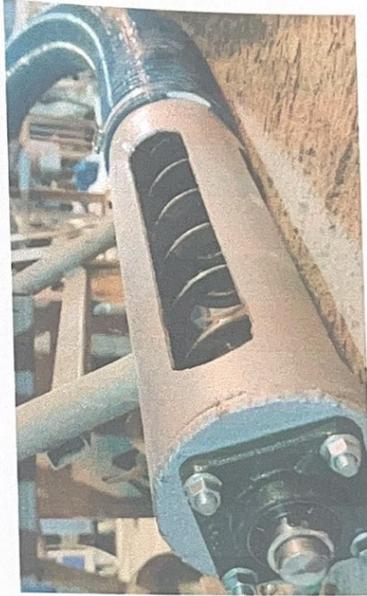
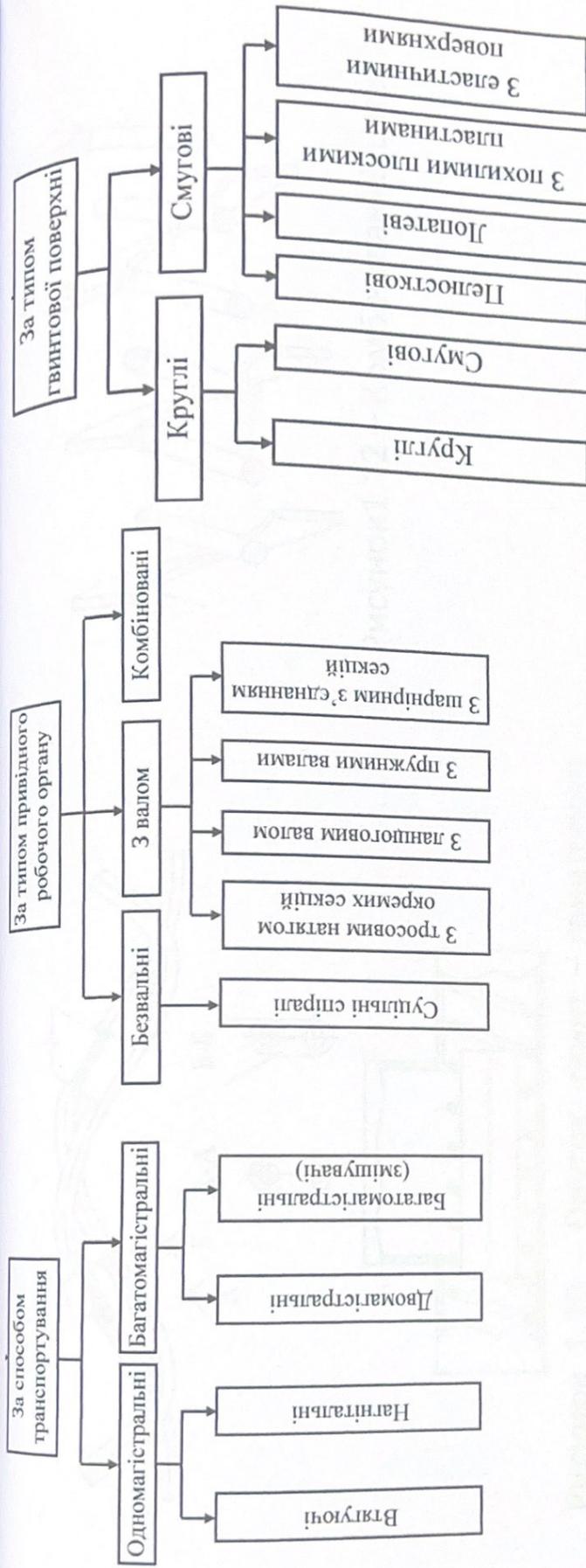


Рисунок 1.6 – Насадка магістральна



ГВИНТОВІ КОНВЕЕРИ ПОДІЛЯЮТЬСЯ

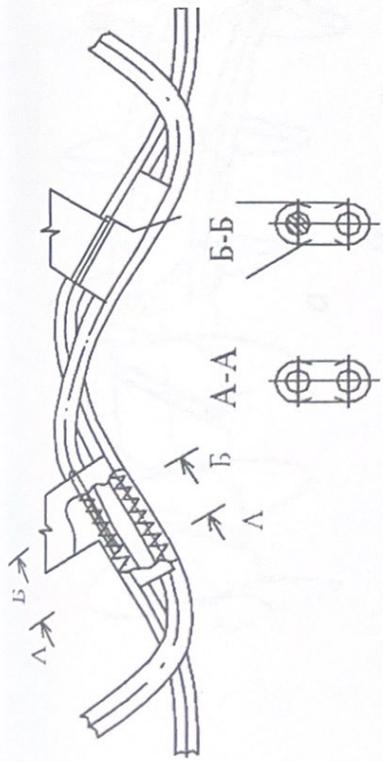


Рисунок 1.10 – Пруток -ГВИНТ – ГВИНТОВОГО конвеера

Рисунок 1.12 – Комбінований шнек

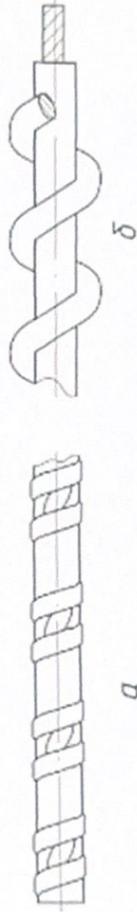
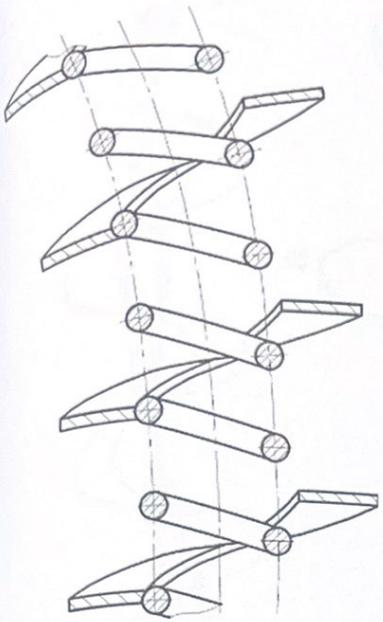


Рисунок 1.11 Варіант гнучкого валу із пластика

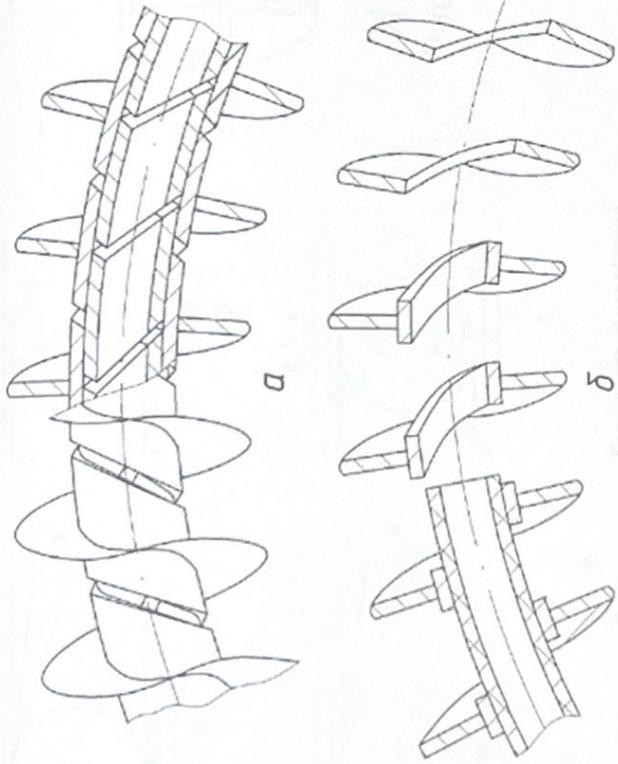


Рисунок 1.13 – Шнек спіральний з армуванням

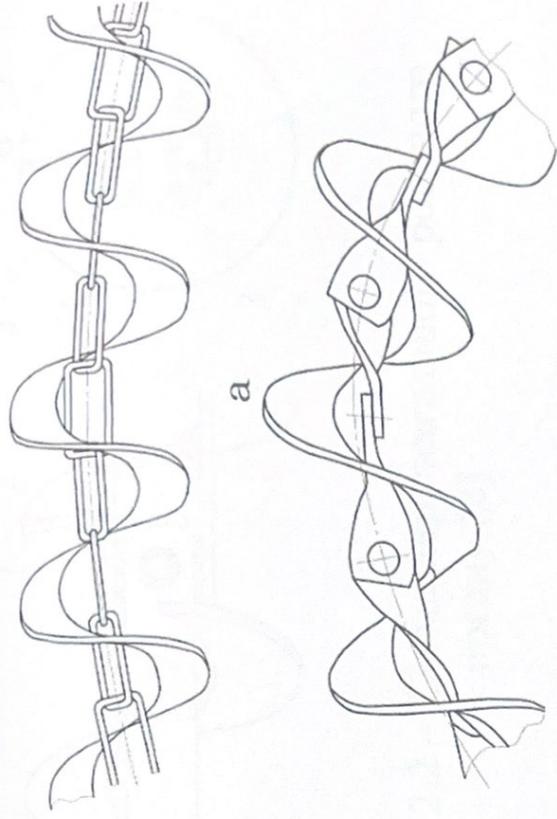


Рисунок 1.13 – Шнек спіральний ланцюгово спіральний

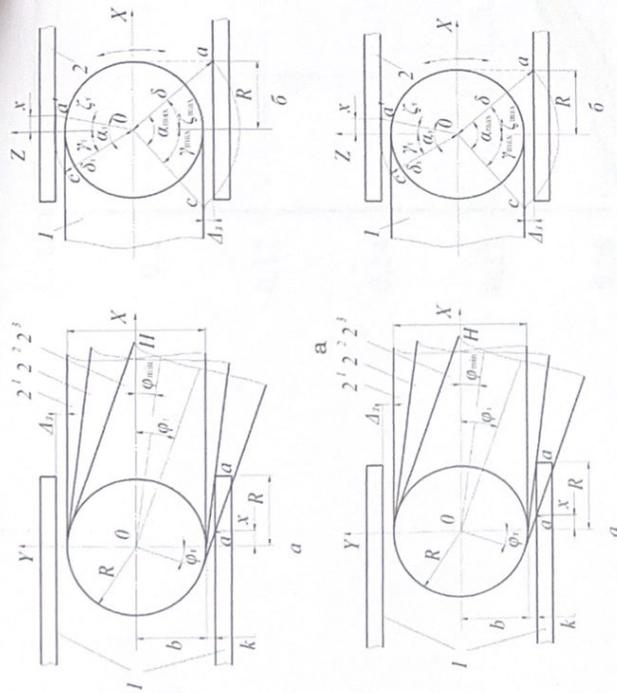


Рисунок 2.1 – Розрахункові  
схеми визначення положення  
шнека

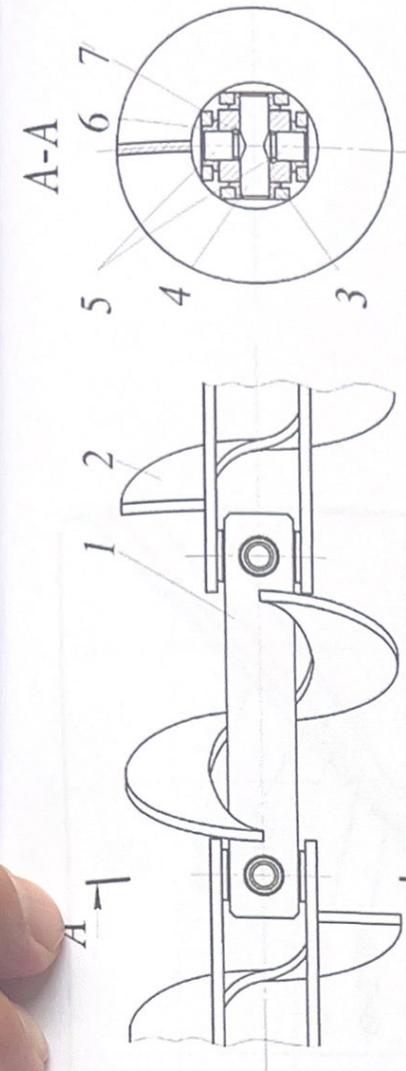


Рисунок 2.2 – Схема перспективного робочого  
органу [2]

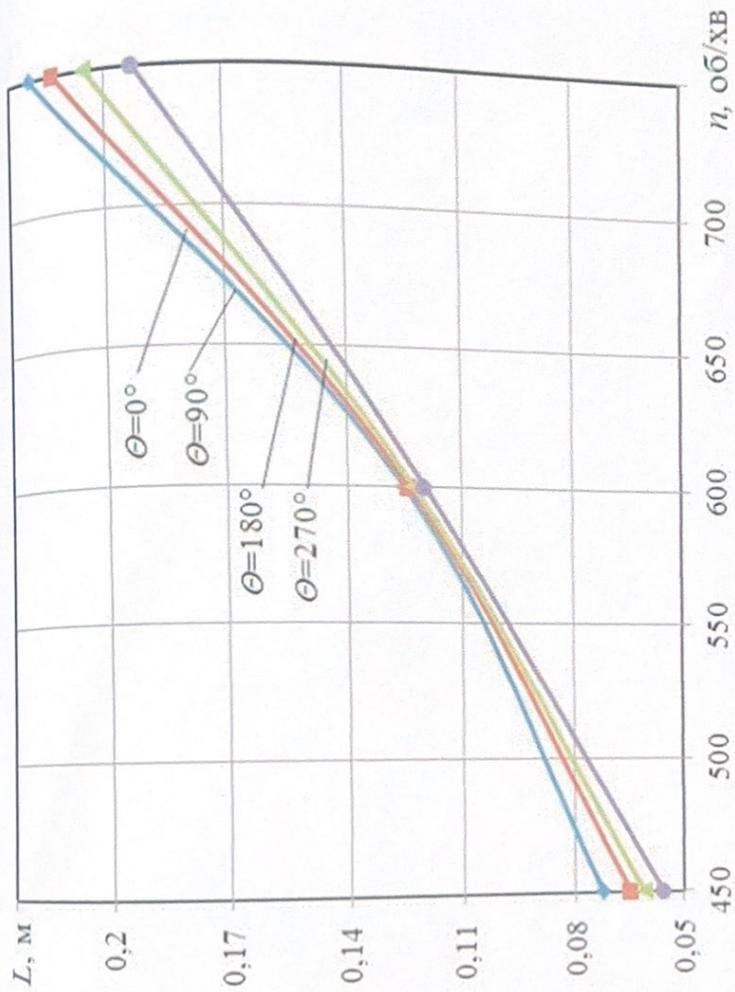


Рисунок 2.3 – Графічні залежності дальності вільного переміщення частинки вантажу  $L$  від частоти обертання робочого органу  $n$  при різних кутових положеннях частинки в момент відриву від ребра гвинтової спіралі

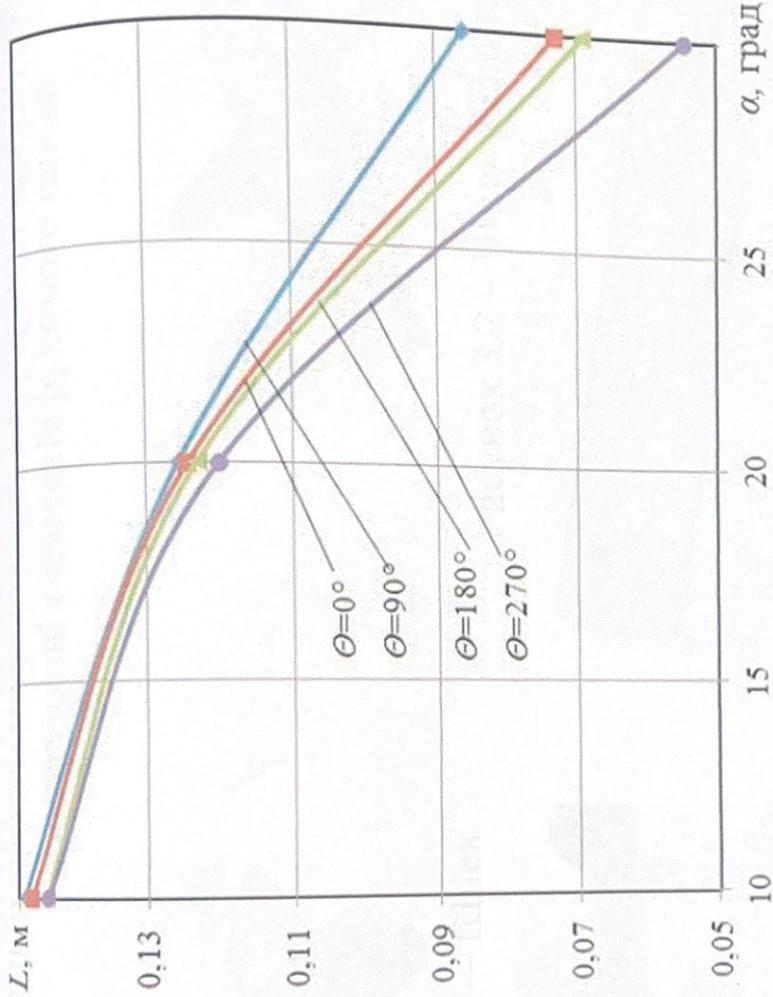


Рисунок 2.4 –Графічні залежності дальності вільного переміщення частинки вантажу  $L$  від кута підйому технологічної магістралі  $\alpha$ м при різних кутових положеннях частинки в момент відриву від ребра гвинтової спіралі

Використання комп'ютерного моделювання в програмному комплексі SolidWorks при проектуванні елементів рухомого шнека

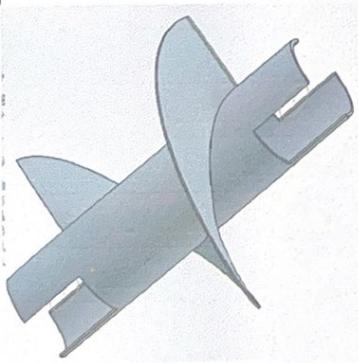


Рисунок 3.1 – Шнек

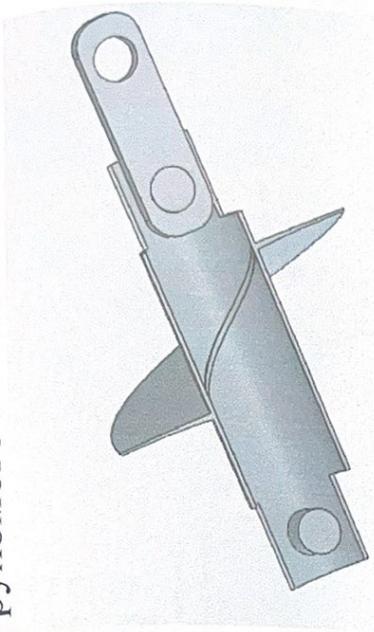


Рисунок 3.2 – Шнек з елементом кріплення

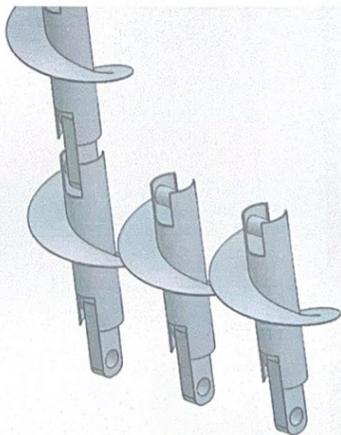


Рисунок 3.3 – Об'єднання елементів шнеку

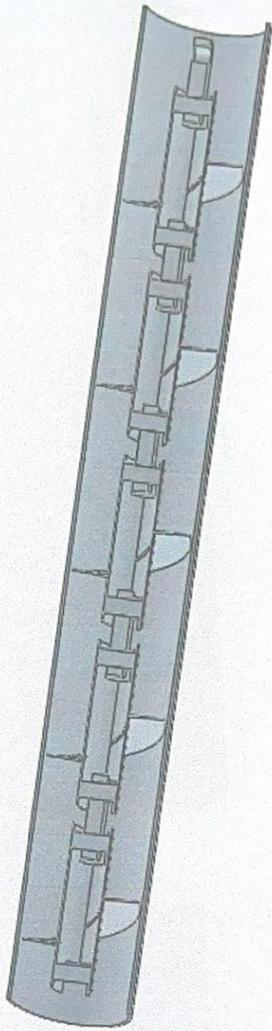
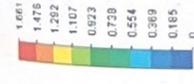


Рисунок 3.4 – Розміщення шнеку в корпусі



Скорість [m/s]  
Траєкторія пелюста 1

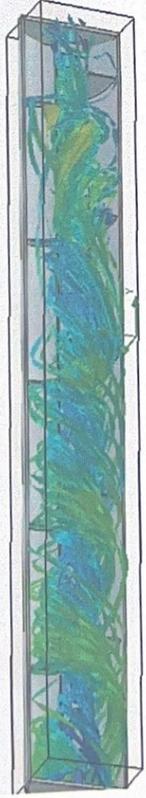


Рисунок 3.5 – Швидкість частинок в конвеєрі при 500 об/хв



Скорість [m/s]  
Траєкторія пелюста 1

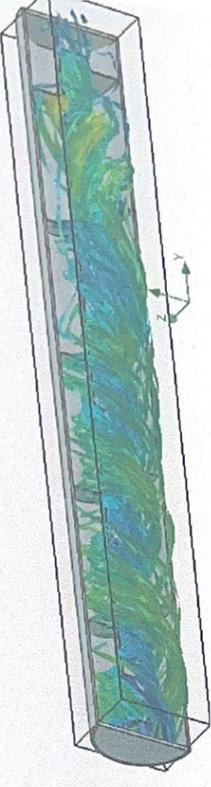


Рисунок 3.7 – Швидкість частинок в конвеєрі при 600 об/хв

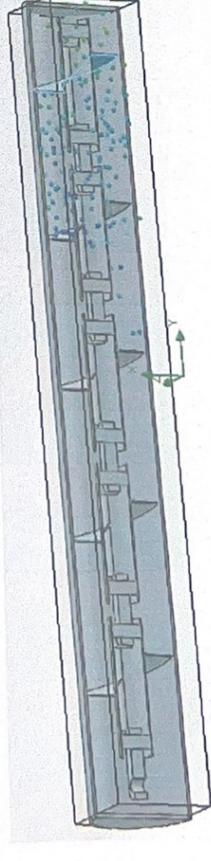


Рисунок 3.6 – Траєкторія руху частинок в конвеєрі при 500 об/хв

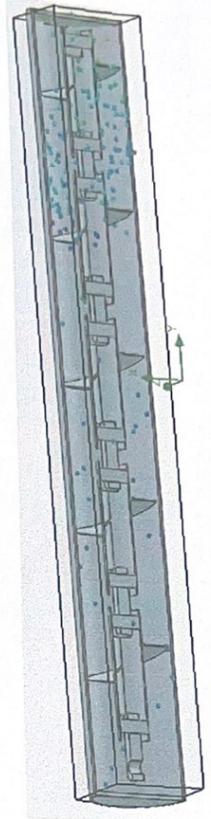


Рисунок 3.8 – Траєкторія руху частинок в конвеєрі при 600 об/хв

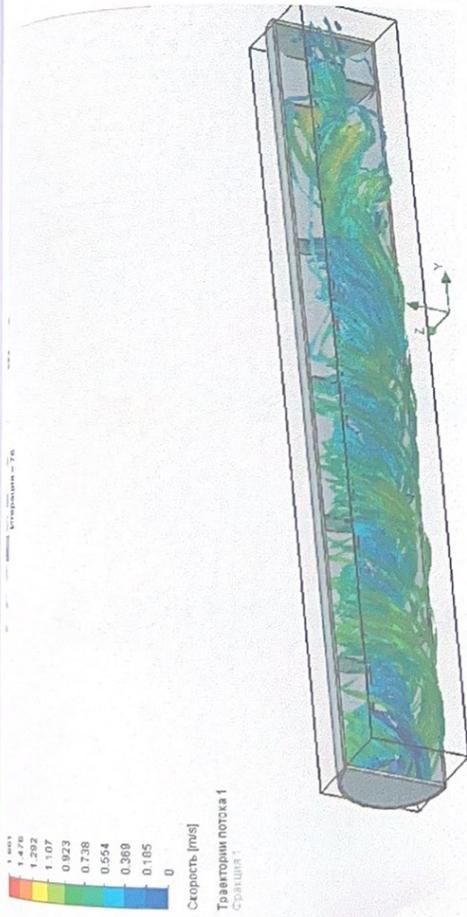


Рисунок 3.9 – Швидкість частинок в конвеєрі при 700 об/хв

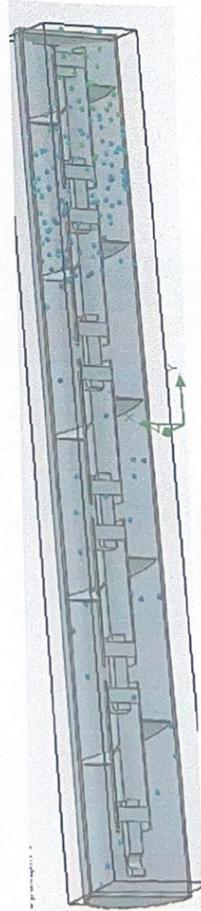


Рисунок 3.10 – Траєкторія руху частинок в конвеєрі при 700 об/хв

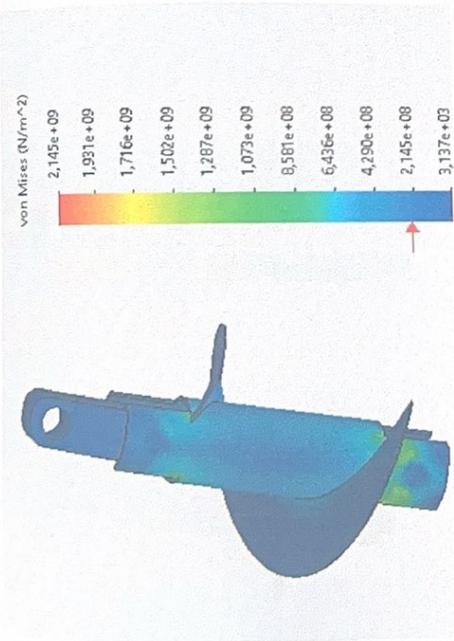


Рисунок 3.11 – Напруження в шнеці крутний момент 10Нм

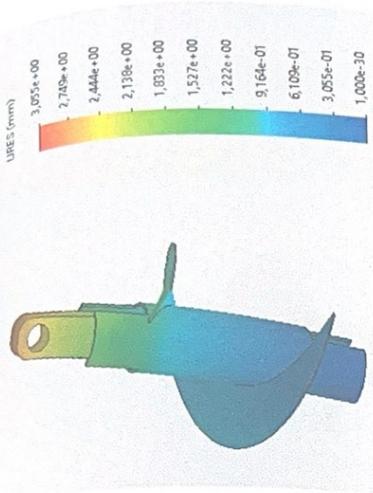


Рисунок 3.12 Переміщення в шнеці крутний момент 10Нм

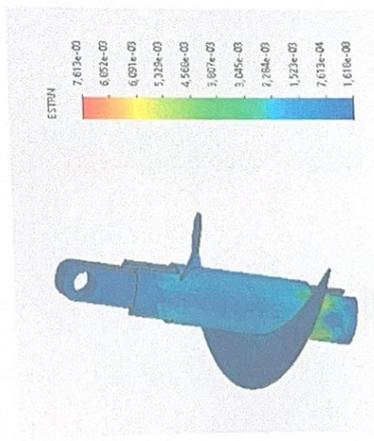


Рисунок 3.13 Деформації в шнеці крутний момент 10Нм

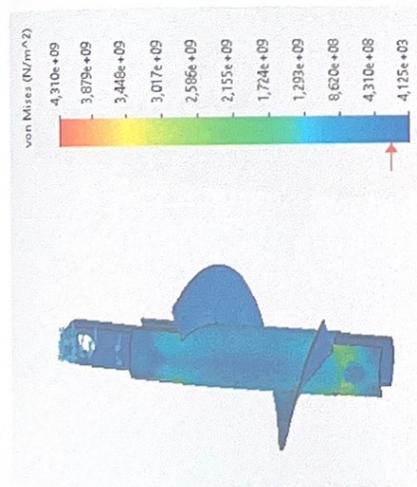


Рисунок 3.14 – Напруження в шнеці крутний момент 30Нм

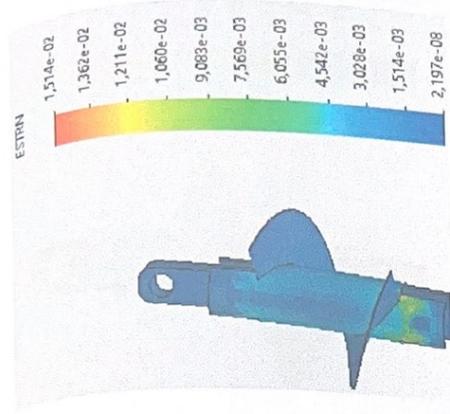


Рисунок 3.16 Деформації в шнеці крутний момент 30Нм

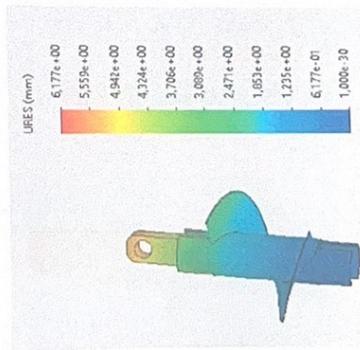


Рисунок 3.15 Переміщення в шнеці крутний момент 30Нм

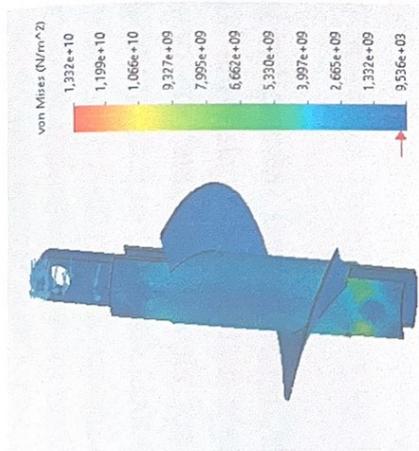


Рисунок 3.14 – Напруження в шнеці крутний момент 50Нм

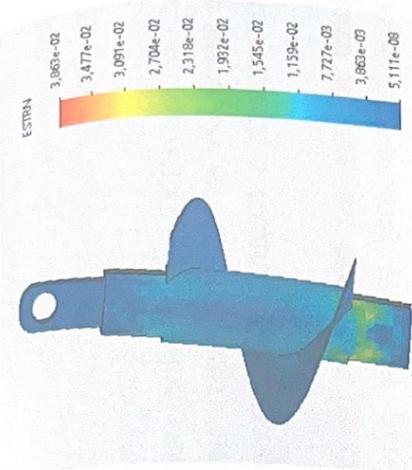


Рисунок 3.16 Деформації в шнеці крутний момент 50Нм

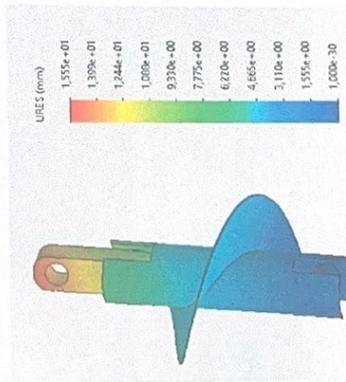


Рисунок 3.15 Переміщення в шнеці крутний момент 50Нм

В роботі було здійснено детальний аналіз існуючих конструкцій гнучких шнеків, а також проведено дослідження літературних джерел щодо параметрів та умов експлуатації таких механізмів. Основна увага була приділена вивченню впливу конструктивних характеристик, зокрема діаметра шнека, кроку витків, коефіцієнта заповнення міжвиткового простору, а також куту нахилу магістралі на ефективність транспортування матеріалу.

Аналіз наукових джерел показав, що основними критеріями ефективності роботи гнучкого шнека є оптимальне співвідношення між швидкістю обертання робочого органу, конструктивними параметрами та умовами експлуатації. Було встановлено, що зміна цих параметрів може суттєво впливати на продуктивність шнека, а також на зношування його елементів.

Таким чином, було визначено ключові фактори, що впливають на роботу гнучкого шнека, та сформульовано завдання для подальшого моделювання та дослідження з метою підвищення ефективності транспортування матеріалів. Отримані результати стали основою для подальших експериментальних і теоретичних досліджень, що будуть викладені в наступних розділах роботи.

У ході виконання моделювання було проведено комплексний аналіз та моделювання роботи гнучкого шнека для транспортування матеріалів із використанням програмного забезпечення SolidWorks. Основні завдання, які включали моделювання геометрії шнека, дослідження впливу швидкості обертання на траєкторію руху частинок матеріалу, а також оцінку динамічних характеристик процесу транспортування, були успішно реалізовані.

Отримані результати свідчать, що швидкість обертання шнека є критичним параметром, який суттєво впливає на ефективність транспортування матеріалу. Збільшення швидкості обертання покращує швидкість переміщення частинок, але водночас підвищує навантаження на конструкцію шнека та вимагає точнішого контролю процесу. Таким чином, оптимальний вибір швидкості обертання шнека дозволяє досягти балансу між продуктивністю та надійністю роботи обладнання.

Моделювання в SolidWorks продемонструвало свою ефективність як інструмент для віртуального тестування і оптимізації конструкцій гнучких шнеків. Використання цього підходу на етапі проектування дозволяє знизити витрати на фізичні експерименти та скоротити терміни розробки нових високоефективних систем транспортування матеріалів.