Форма № Н-9.02

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

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами**

Виконав: здобувач VI курсу першого (бакалаврського) рівня, групи 602-ММв, спеціальності
133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Шрамко Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Васильєв А.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кириченко В.А.
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕХАТРОНІКИ

Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГММ.602-ММв.044-00.00.000 КРМ - ЛУ

Розробив здобувач групи 602-ММв
_____ Дмитро ШРАМКО
«24» 08 2024 р.

Керівник
к.т.н., доц.
_____ Анатолій ВАСИЛЬЄВ
«24» 08 2024 р.

Технологічний контроль
к.т.н., доц.
_____ Олексій ВАСИЛЬЄВ
«24» 08 2024 р.

Нормативний контроль
к.т.н., доц.
_____ Олексій ВАСИЛЬЄВ
«24» 08 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми
к.т.н., доц.
_____ Микола НЕСТЕРЕНКО
«24» 08 2024 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
галузевого машинобудування та мехатроніки,
к.т.н, доц. Олександр ОРИСЕНКО

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз.	Примітка
1						
2			Документація загальна			
3						
4			Вперше розроблена			
5						
6	А4	ГММ.602-ММВ.044-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	–	
7	А4	ГММ.602-ММВ.044-00.00.000А	Анотація	2	–	
8	А4	ГММ.602-ММВ.044-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка			
9						
10						
11						
12			Документація			
13			наукова			
14						
15			Вперше розроблена			
16						
17	А1	ГММ.602-ММВ.044-00.00.000ПМ	Дослідження робочих			
18			процесів шнекового			
19			механізму із змінними			
20			елементами.			
21			Презентаційні матеріали			
22						
23						
24						

Перш. застос.

Справ. №

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № оригін.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Шрамко		24.0
Перев.		Васильєв		24.08
Н.контр.		Васильєв		24.08
Затв.		Орисенко		25.08

ГММ.602-ММВ.044-00.00.000 ВР

Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами
Відомість магістерської роботи

Літера	Лист	Листів
Н	1	1

Національний університет імені Юрія Кондратюка, НМІТР, 2024 р.

Копіював

Формат А4

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384
Форма № Н-9.01

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 галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Магістр

Напрям підготовки _____
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, к.т.н., доцент
_____ **Олександр ОРИСЕНКО**
«20» 03 **2024 року**

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Шрамку Дмитру Олексыйовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: **Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами**

керівник роботи (проекту) **Васильєв Анатолій Володимирович, к. т.н., доцент,**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» березня 2024 року № 309 ф,а.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи: «20» серпня 2024 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Відкриті джерела на подібну техніку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Зміст. Вступ. 1. Аналіз особливостей гвинтових конвеєрів. 2. Науковий розділ. 3. Проектні рішення та способи виготовлення гвинтових робочих органів з еластичними робочими поверхнями. Висновки. Список літератури.

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «18» березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Огляд літературних джерел та типів механізмів гнучких гвинтових конвеєрів	20.05.2024 р.	
2	Дослідження на гнучких гвинтових конвеєрах	22.06.2024 р.	
3	Експериментальні досліджень гвинтових робочих органів з еластичними робочими поверхнями	20.07.2024 р.	
4	Проектні рішення та способи виготовлення гвинтових робочих органів з еластичними робочими поверхнями	05.08.2024 р.	
5	Оформлення роботи	15.08.2024 р.	
6	Здача готової роботи	20.08.2024 р.	

Здобувач вищої освіти _____ **Дмитро ШРАМКО**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Анатолій ВАСИЛЬЄВ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми _____ **Микола НЕСТЕРЕНКО**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Д.О. Шрамко. Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування", – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена питанням поліпшення конструкції шнекового механізму гвинтового конвеєра.

Для досягнення поставленої мети було зроблено наступне: проаналізовано засоби транспортування крихких матеріалів за допомогою гвинтових конвеєрів було намічено конструкцію найбільш ефективного робочого органу.

При проведенні практичних досліджень використовувався математичний метод планування експериментів з відповідними математичними формулами та програмним забезпеченням. Це дозволило визначити оптимальну кількість дослідів, мінімізувати витрати часу на проведення експериментів та одночасно варіювати основні конструктивно-технологічні фактори.

Встановлено що найвища ефективність транспортування крихкого матеріалу досягається при використанні гвинтових пристроїв з еластичною щіткоподібною частиною на периферії. Тому можна сказати, що такі шнеки забезпечують значно вищу ефективність (в 1,51 рази) транспортування крихкого матеріалу порівняно зі шнеками з щіткоподібними гвинтовими частинами. Слід також зазначити, що ефективність транспортування крихкого матеріалу відрізняється лише на 3,5% між гвинтовими колесами з гнучкими суцільними бункерними секціями та гвинтовими колесами з гнучкими щіткоподібними секціями по всьому периметру. У порівнянні з відомими результатами ефективності транспортування

					ГММ.602-ММв.044-00.00.000 А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Шрамко		24.08	Анотація	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Васильєв		24.08		Н		
Н. контр.		Васильєв		24.08		Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2024 р.		
Затв.		Орисенко		26.08				

крихкого матеріалу жорсткими шнеками, ефективність транспортування такого матеріалу гвинтовими колесами з еластичними поверхнями є низькою.

Ключові слова: гвинтовий конвеєр, шнек, обертальний момент, шнековий-механізм із змінними елементами, режими роботи.

Abstract

D.O. Shramko Study of working processes of the screw mechanism with variable elements. - Manuscript.

Qualification work for obtaining the educational and qualification level "master" in specialty 133 "Industrial mechanical engineering", National University "Poltava Polytechnic named after Yury Kondratyuk", Poltava, 2024.

The master's qualification work is devoted to the issue of improving the design of the screw mechanism of the screw conveyor.

To achieve the goal, the following was done: the means of transporting fragile materials with the help of screw conveyors were analyzed and the design of the most effective working body was planned.

When conducting practical research, a mathematical method of planning experiments with appropriate mathematical formulas and software was used. This made it possible to determine the optimal number of traces, minimize the time spent on conducting experiments, and simultaneously vary the main structural and technological factors.

It was established that the highest efficiency of transporting fragile material is achieved when using screw devices with an elastic brush-like part on the periphery. Therefore, it can be said that such augers provide significantly higher efficiency (1.51 times) in transporting fragile material compared to augers with brush-like screw parts. It should also be noted that the efficiency of conveying brittle material differs by only 3.5% between propeller wheels with flexible solid hopper sections and propeller wheels with flexible brush-like sections around the entire perimeter. Compared to the known results of the efficiency of transporting fragile material with rigid screws, the efficiency of transporting such material with helical wheels with elastic surfaces is low.

Key words: screw conveyor, auger, torque, auger mechanism with variable elements, modes of operation.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

ГММ.602-ММв.044–00.00.000ПЗ

Полтава – 2024 року

ЗМІСТ

Вступ 3

1 Аналіз особливостей гвинтових конвеєрів..... 5

1.1 Конструктивні особливості гвинтових конвеєрів..... 5

1.2 Конструкційні особливості робочих органів гвинтових конвеєрів із еластичними витками..... 11

2 Наукова частина 22

2.1 План експериментальної частини..... 22

2.2Особливості конвеєра з еластичними змінними поверхнями для проведення експериментальних досліджень..... 23

2.3.Методика проведення експериментів..... 28

2.4 Результати експериментальних досліджень продуктивності шнекових механізмів з еластичними змінними поверхнями..... 31

3.Проектні рішення та способи виготовлення гвинтових ро-бочих органів з еластичними робочими поверхнями..... 44

Висновки 48

Список літератури 49

					ГММ.602-ММв.044-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Шрамко		24.08	ЗМІСТ	Літ.	Лист 2 / Листів
Перев.		Васильєв		24.08			
Н. контр.		Васильєв		24.08		Національний університет імені Юрія Кондратюка, НННІТР, 2024 р.	
Затв.		Орисенко		26.08			

Вступ

Актуальність теми. Гвинтові конвеєри широко використовуються в багатьох галузях промисловості, будівництві та сільському господарстві як надійний засіб транспортування різних сипучих матеріалів. Основними перевагами таких конвеєрів є: простота конструкції і висока надійність, висока точність подачі сировини, безпека праці і придатність до автоматизації, значна гнучкість в конструктивному виконанні, широкий спектр застосування і можливість поєднання додаткових процесів з транспортуванням сировини. Нижче наведені деякі з переваг гвинтових конвеєрів.

Ще один вектор проектування та дослідження гвинтових конвеєрів пов'язаний з тим, що в зазорі між обертанням гвинта і корпусом застряють сипучі частинки матеріалу, а самоочищення гвинтового конвеєра не може бути досягнуто через зазор між обертанням гвинта і корпусом. Метою повинно бути усунення недоліків при транспортуванні матеріалу.

Метою роботи є розробка нового змінного робочого органу з пружними поверхнями та зменшення ступеня пошкодження під час транспортування крихкого матеріалу гвинтовими транспортерами шляхом вибору раціональних конструктивних параметрів та режиму роботи.

Для досягнення поставленої мети були визначені та вирішені наступні задачі

– проаналізувати конструктивні рішення гвинтових конвеєрів, зокрема гвинтових робочих коліс, дослідити їх прикладні характеристики і на цій основі розробити передумови для проектування нових гвинтових робочих коліс з пружними поверхнями для транспортування крихких матеріалів

– розробити та виготовити дослідний зразок гвинтового конвеєра зі змінними гвинтовими робочими органами з еластичними поверхнями.

– провести експериментальні дослідження з метою отримання емпіричних рівнянь регресії, які дозволяють адекватно прогнозувати продуктивність гвинтових конвеєрів з еластичними гвинтовими робочими органами та ступінь пошкодження насіннєвого зернового матеріалу;

Обєктом дослідження є процес транспортування крихкого матеріалу гвинтовими конвеєрами зі змінними гвинтовими робочими органами з еластичними поверхнями.

Предметом дослідження є встановлення закономірностей впливу конструктивних параметрів та режиму роботи гвинтових конвеєрів зі змінними гвинтовими робочими органами з еластичними поверхнями на їх продуктивність під час транспортування.

1 Аналіз особливостей гвинтових конвеєрів

1.1 Конструктивні особливості гвинтових конвеєрів

Гвинтові конвеєри широко використовуються в багатьох галузях промисловості та будівництва як засіб надійного транспортування різних видів сипучих матеріалів. До основних переваг таких конвеєрів відносять.

1. Проста конструкція та висока надійність. Завдяки невеликій кількості рухомих частин і компактним розмірам поперечного перерізу можна створювати надійні та прості системи транспортування сипучих матеріалів.

2. Висока точність подачі матеріалу. Важливою особливістю гвинтових конвеєрів їхня здатність точно керувати потоком сипучого матеріалу. Через низьку швидкість роботи гвинтових конвеєрів і швидкості обертання гвинтів менше 80 об/хв, продуктивність гвинтових конвеєрів прямо пропорційна швидкості обертання гвинтів.

3. Придатність для забезпечення показників безпеки, екологічності та охорони праці. Шнекові конвеєри можуть бути спроектовані таким чином, щоб бути захищеними від впливу зовнішнього середовища, що дає змогу уникнути проблем із витоком пилу, пожежами та вибухами.

4. Конструкція конвеєра має значну гнучкість у проектуванні. Гвинтові конвеєри та кришки можуть бути легко спроектовані для підключення до різних бункерів і точок розвантаження у виробничій зон і шляхом зміни довжини та кута нахилу секції конвеєра. Таким чином, ці конвеєри є гнучким варіантом для різних систем транспортування сипучих матеріалів.

5. Широкий діапазон застосування. Гвинтові конвеєри можуть бути моди-

фіковані для різних додаткових виробничих процесів. Наприклад, зрізані, щілинні, лопатеві або їх комбінації можуть використовуватися для попереднього подрібнення сипучих матеріалів, змішування та розділення сипучих матеріалів.

Крім переваг, основними причинами недоліків гвинтових конвеєрів є: знижується механічна ефективність транспортування сипкого матеріалу через відносне переміщення сипкого матеріалу і робочих органів конвеєра; самоочищення гвинтового конвеєра через зазор між гвинтовим поверненням і корпусом неможливе; частинки сипкого матеріалу можуть затримуватися в зазорі між поверненням і корпусом і можуть бути пошкоджені або зруйновані.

Основними параметрами при проектуванні і виборі гвинтових конвеєрів є тип і умови сипучого матеріалу, що транспортується, включаючи максимальний розмір частинок і щільність матеріалу; продуктивність транспортування сипучого матеріалу; необхідна відстань і кут нахилу сипучого матеріалу; матеріал конвеєра; умови подачі матеріалу; а також вимоги до конструкції, такі як температура навколишнього середовища під час роботи.

Найпоширенішим типом конвеєра є горизонтальний гвинтовий конвеєр (рисунок 1.1), який значно відрізняється за поперечним перерізом, довжиною, конфігурацією та матеріалом. Ці конвеєри в основному призначені для транспортування матеріалу з коефіцієнтом завантаження конвеєра 0,15, 0,30 і 0,45, залежно від характеристик матеріалу, особливо його питомої ваги.

Конвеєри з коефіцієнтом завантаження 0,45 використовуються для транспортування легких, неабразивних і легких в обробці матеріалів, а конвеєри з коефіцієнтом завантаження 0,15 і 0,30 - для транспортування щільних, абразивних сипучих матеріалів.

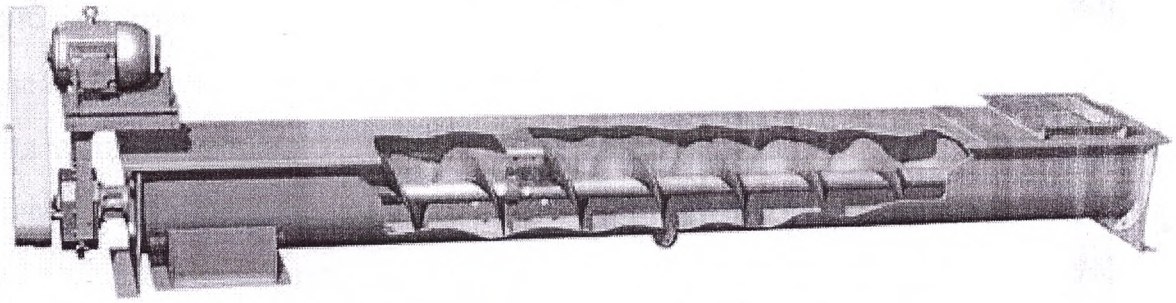


Рисунок 1.1. –Горизонтальний гвинтовий конвеєр фірми KWS

Рекомендоване положення приводу конвеєра – на стороні вивантаження розвантажувальної труби. Таке розташування зменшує знос і втому компонентів конвеєра, оскільки кожна частина шнека піддається навантаженню на розтягування під час транспортування матеріалу. Він ідеально підходить для транспортування сипучих, в'язких і напіврідких сипучих матеріалів і використовує кілька отворів для ефективного розподілу сипучих матеріалів у різних місцях, а також для завантаження і розвантаження матеріалів.

У конструкції похилих гвинтових конвеєрів (рисунок 1.2) корпус розташований під кутом до горизонталі. Зі збільшенням кута нахилу конвеєра ефективність знижується, і в той же час збільшуються витрати на потужність транспортування через дію сили тяжіння і більший зворотний потік матеріалу. Загалом, ефективність конвеєра залежить від кута нахилу, характеристик сипучого матеріалу, типу рами конвеєра і кроку шнека. При куті нахилу конвеєра до 10° ефективність транспортування знижується незначно. У таких випадках можна використовувати U-подібні жолоби і конвеєри з повним кроком. Зменшення ефективності можна компенсувати збільшенням швидкості гвинта, збільшенням діаметра гвинта або зменшенням кроку гвинта. Якщо конвеєр нахилений під кутом від 10° до 20°, втрата ефективності транспортування становить від 10% до 40%; також можна використовувати U-подібні жолоби, в яких крок шнека становить дві третини від повного кроку. Якщо конвеєр має кут нахилу від 20° до 30°, втрата ефектив-

ності транспортування становить від 10 % до 70 %. Для таких конвеєрів використовуються трубчасті корпуси і шнеки зі зменшеним кроком (1/2 або 2/3). Якщо конвеєр нахилений під кутом від 30° до 45°, зниження ефективності транспортування становить від 30 до 90 %. Для таких конвеєрів також використовуються трубчасті корпуси і шнеки з меншим кроком (1/2 або 2/3), але з більшим діаметром і вищою швидкістю.

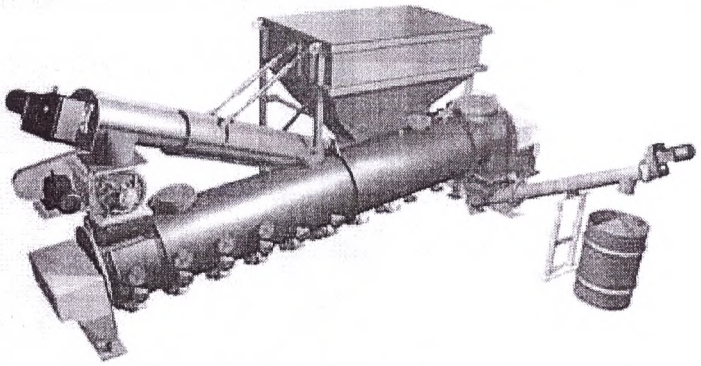


Рисунок 1.2. –Нахилений гвинтовий конвеєр

Вертикальні гвинтові конвеєри (рисунок 1.3) корисні для транспортування сипучих матеріалів під великим кутом або повністю вертикально. Деякі виробники (KWS) визнають гвинтові конвеєри, розташовані під кутом 45 градусів і більше, вертикальними конвеєрами. Компактна конструкція цього типу конвеєра може бути інтегрована практично в будь-який дизайн виробничої зони. Завдяки мінімальній кількості рухомих частин ці конвеєри є економічно ефективними і надійними компонентами в будь-якому процесі обробки сипучих матеріалів. Їх продуктивність становить до 170 м^3/год. Для конструкцій довжиною до 9 метрів не потрібні додаткові підшипники. Для підвищення ефективності цих конвеєрів для їх завантаження використовуються додаткові горизонтальні шнеки. Конвеєри з додатковими горизонтальними шнеками використовуються для завантаження.

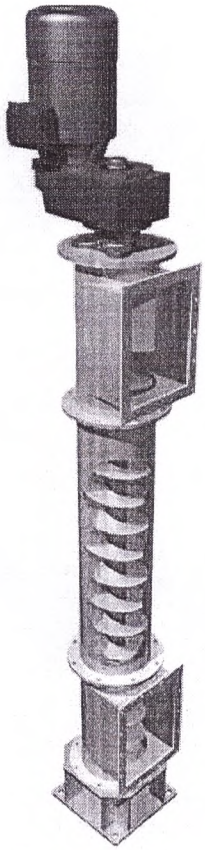
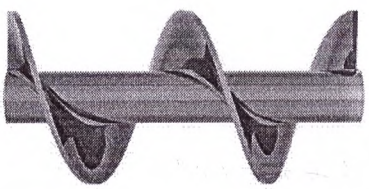
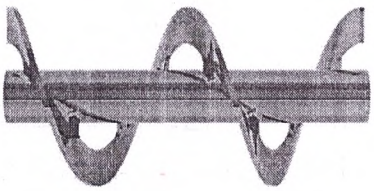


Рисунок 1.3. –Вертикальний гвинтовий конвеєр фірми KWS

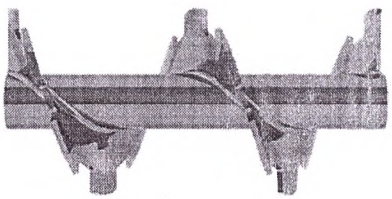
Основні типи робочих органів гвинтових конвеєрів представлено на рисунку 1.4



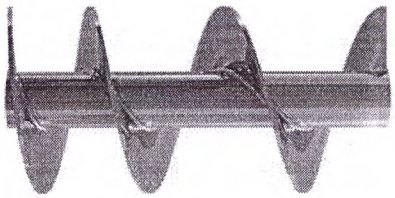
1



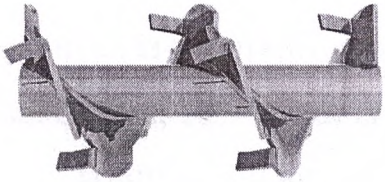
2



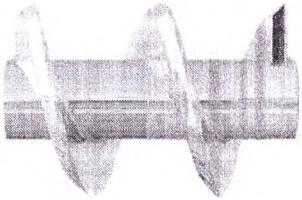
3



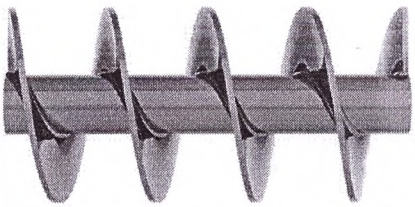
4



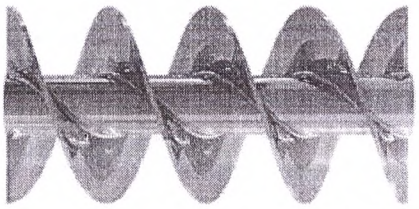
5



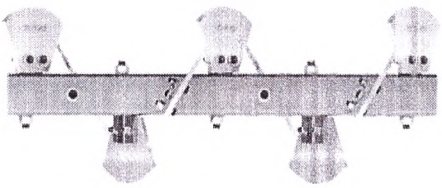
6



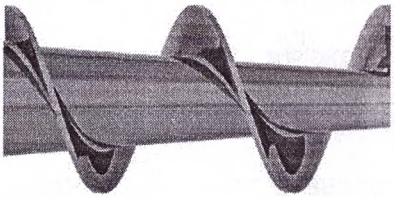
7



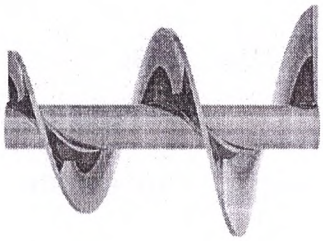
8



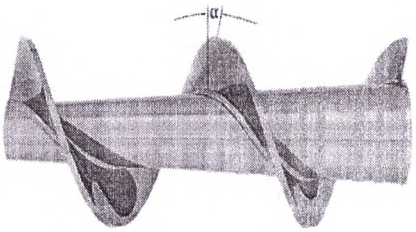
9



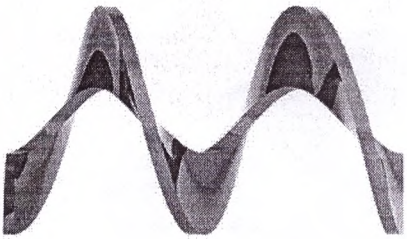
10



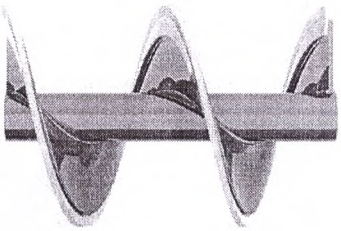
11



12



13

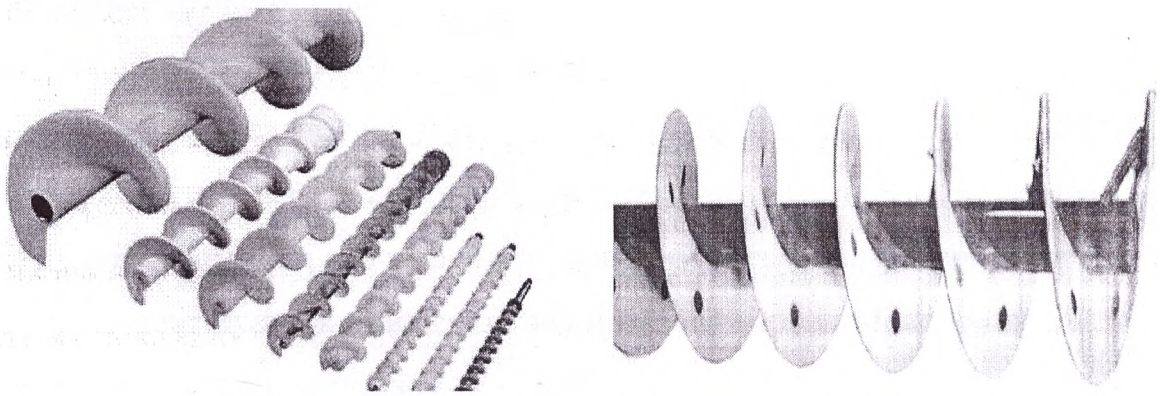


14

Рисунок 1.4 – Основні типи робочих органів гвинтових конвеєрів:
1 – стандартні витки; 2 – стрічкові витки з підтримуючими опорами;
3 – витки із вирізами; 4 – витки із змінним кроком; 5 – витки із вирізами та загинами; 6 – пустотілі витки; 7 – витки із коротким кроком; 8 – двозахідні витки; 9 – лопатки гвинтової форми; 10 – витки із конусним валом;
11 – конічні витки; 12 – компресійні витки; 13 – витки без валів;
14 – еластичні витки

1.2. Конструкційні особливості робочих органів гвинтових конвеєрів із еластичними витками

Гвинтові конвеєри з різними типами робочих органів широко використовуються в технічному процесі транспортування сипучих матеріалів, таких як зерно, насіннєвий матеріал і гранульовані мінеральні добрива в сільськогосподарському виробництві. Вони зазнають значних пошкоджень при транспортуванні в закритих оболонках, як жорстких, так і еластичних, і не відповідають агротехнічним вимогам. Однією з основних причин пошкодження сипучих матеріалів є потрапляння частинок в зазор між гвинтовою поверхнею робочого органу, що обертається, і нерухомою внутрішньою поверхнею направляючого корпусу. Щоб уникнути цього недоліку, гвинтові поверхні зазвичай виготовляють з еластичного матеріалу, як показано на рисунках 1.5 і 1.6 [10].



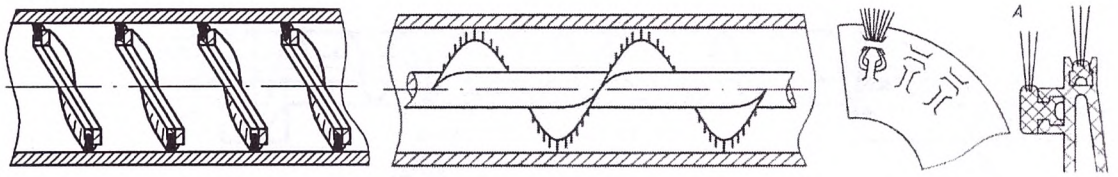
а) б)

Рисунок 1.5 – Різновиди робочих органів: а – компанії «WAM Group» із покриттям гвинтових витків (полімерним): б – компанії «Lundell Plastics Corp» із спіральними накладками на витках

Полімерні покриття на ребрах шнека допомагають подовжити термін його служби, але не суттєво зменшують пошкодження сипучого матеріалу.

Використання еластичних елементів, таких як щітки на зовнішній поверхні

шнека, як показано на рисунку 1.5, є одним із способів мінімізувати пошкодження матеріалу.



а) б) в) г)

Рисунок 1.5 – Схеми еластичних гвинтових робочих органів:
а – патент Франції ; б – патент Німеччини;
в – авторське свідоцтво (№1652230);
г – авторське свідоцтво (№1613404)

Такі робочі органи мають ряд недоліків: підвищена трудомісткість виробництва, низькі функціональні характеристики та ремонтопридатність.

У китайському патенті CN209956835U «Гвинтовий конвеєр щіткового типу» (рисунок 1.6) зазначено, що звичайні гвинтові конвеєри здатні транспортувати лише певні типи матеріалів за нормальних умов. Це пов'язано з зазором між гвинтом і корпусом. Під час транспортування різних типів матеріалу частина матеріалу не переміщується повністю і залишається всередині корпусу. Після зупинки конвеєра частина матеріалу під кожухом утворює твердий блок, який може вплинути на транспортування наступного матеріалу після повторного запуску конвеєра.

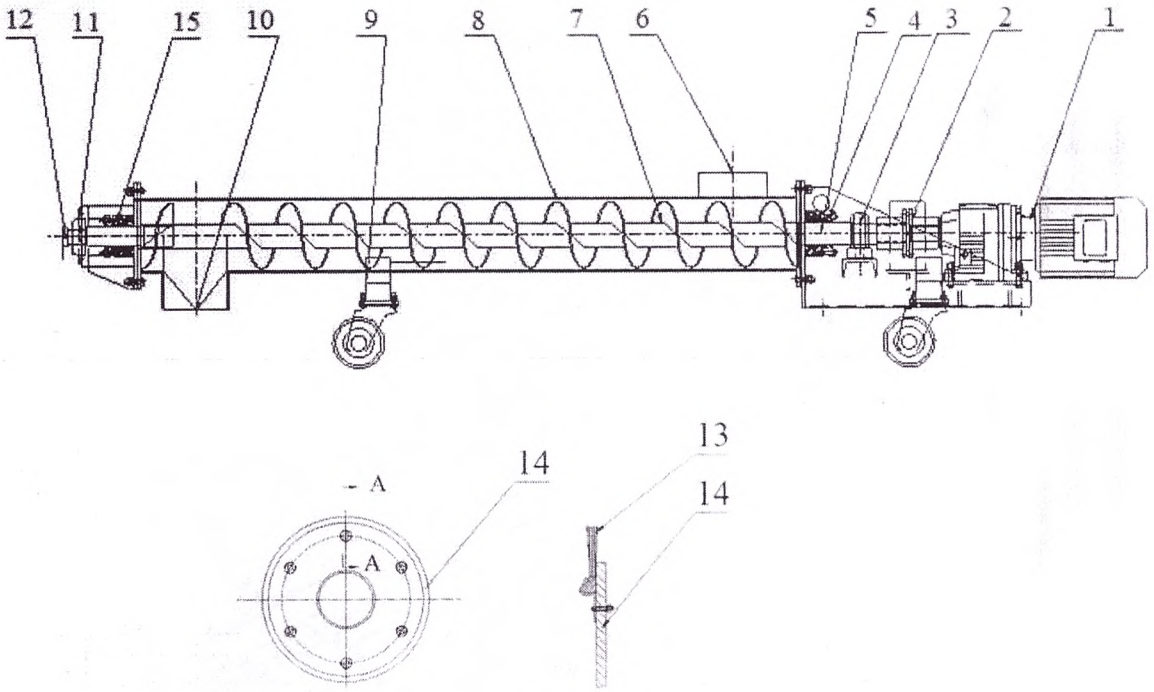


Рисунок 1.6 – Патент Китаю (CN209956835U)

Як наслідок, звичайні гвинтові конвеєри потребують додаткового очищення, що впливає на ефективність автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт. Завдяки використанню гвинтових рушіїв зі щітками, гвинтові конвеєри можуть транспортувати різноманітні матеріали, запобігати утворенню сміття в корпусі та змішувати матеріали, що транспортуються, у фіксованій послідовності. У конструкції конвеєра на рисунку 1.6 стрічка з щітковими елементами 13 з'єднана з основним металом обертання 14 гвинтового робочого органу за допомогою хомутів і болтів.

У німецькому патенті DE102005053082A1 (рисунок 1.7) представлений гвинтовий конвеєр для завантаження зернового матеріалу на сільськогосподарську техніку. У цьому конвеєрі використовується гвинтовий робочий орган, що складається з основної гвинтової частини 3, виконаної з металу, і вставки 16 більшого діаметру у вигляді гвинтової щітки, виконаної з нейлону або поліуретану.

Застосовуються для транспортування зернових і сухофруктів. Транспорту-

вання сировини та видалення пилу і лушпиння відбувається одночасно шляхом перемикання зі змінного сита 15 в бункер 14.

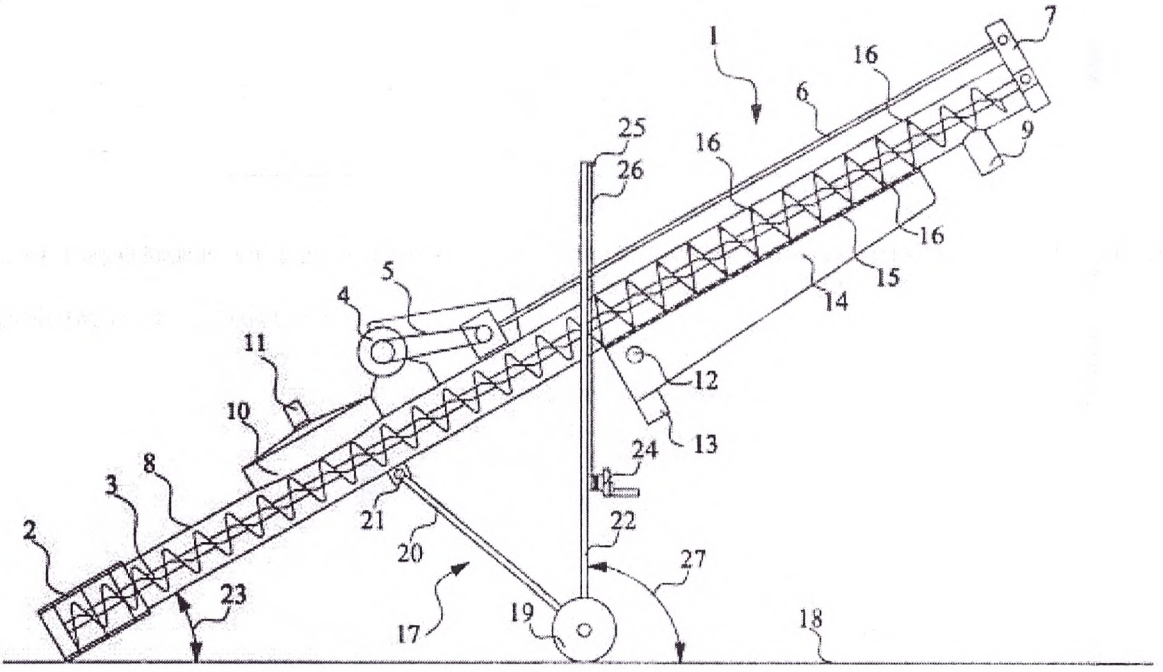


Рисунок 1.7 – Патент Німеччини (DE102005053082A1)

Гвинтовий конвеєр корейського патенту KR100941923B1 (рисунок 1.8) призначений для видалення твердих домішок з рідин. Основними елементами є сітчастий барабан та гвинтовий робочий орган без валу.

На зовнішній поверхні шнекового робочого органу розташований щітковий елемент, який одночасно подає матеріал і очищає отвори в сітчастому барабані. Запропоновано два варіанти кріплення щіткового елемента. У першому варіанті щітковий елемент 202 закріплений на спеціальній тонкій пластинчастій капсулі 201 за допомогою затискачів 300 і болтів. У другому варіанті щітковий елемент виконаний у вигляді окремого блоку 11 з полімерного матеріалу і прикріплений збоку робочого органу металевим гвинтом. Щітка складається з набору волокон і дротів, виготовлених з синтетичного каучукового матеріалу і металу.

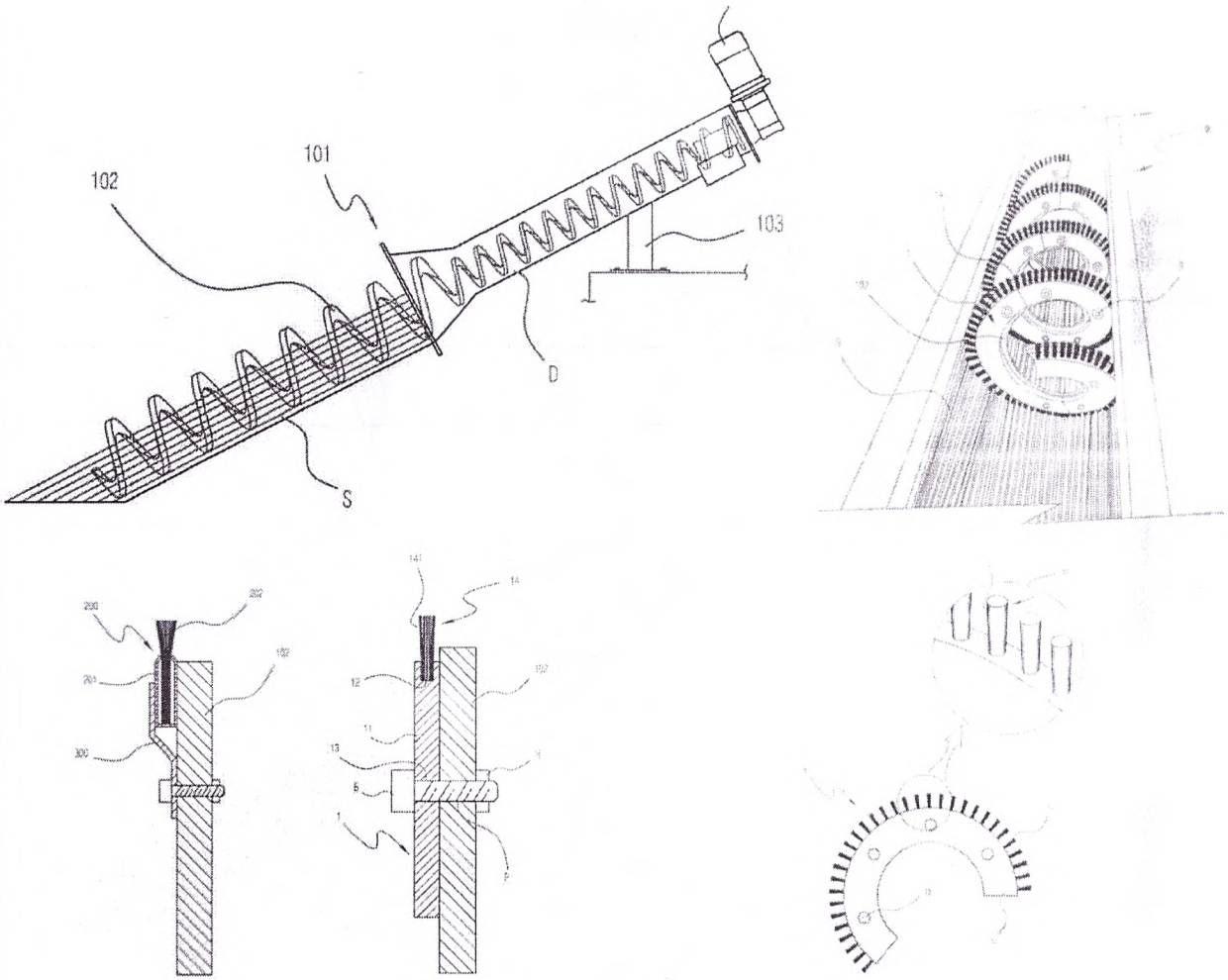


Рисунок 1.8 – Патент Південної Кореї (KR100941923B1)

Згідно з патентом України UA 69808 (рисунок 1.9), до обертової частини шнекового робочого органу приклепана накладка 6 з полімерного матеріалу зі зниженою твердістю в зоні контакту з корпусом конвеєра. Ця накладка зменшує коефіцієнт тертя між зерновим матеріалом і поверхнею шнека, а також знижує відсоток пошкодженого зерна за рахунок зменшення зазору між котушкою і корпусом транспортера.

У запатентованому в Україні UA 75314 шнековому транспортері (рисунок 1.10) металевий гвинтовий робочий орган 6 обмотаний спеціальною еластичною зносостійкою плівкою 7 із зазорами 9. Така конструкція робочого органу зменшує ударні навантаження на зерновий матеріал, що транспортується.

Крім того, форма плівки адаптується до зазору між крильчаткою шнека і

внутрішньою поверхнею корпусу, зменшуючи можливість стиснення зерна і, відповідно, його пошкодження.

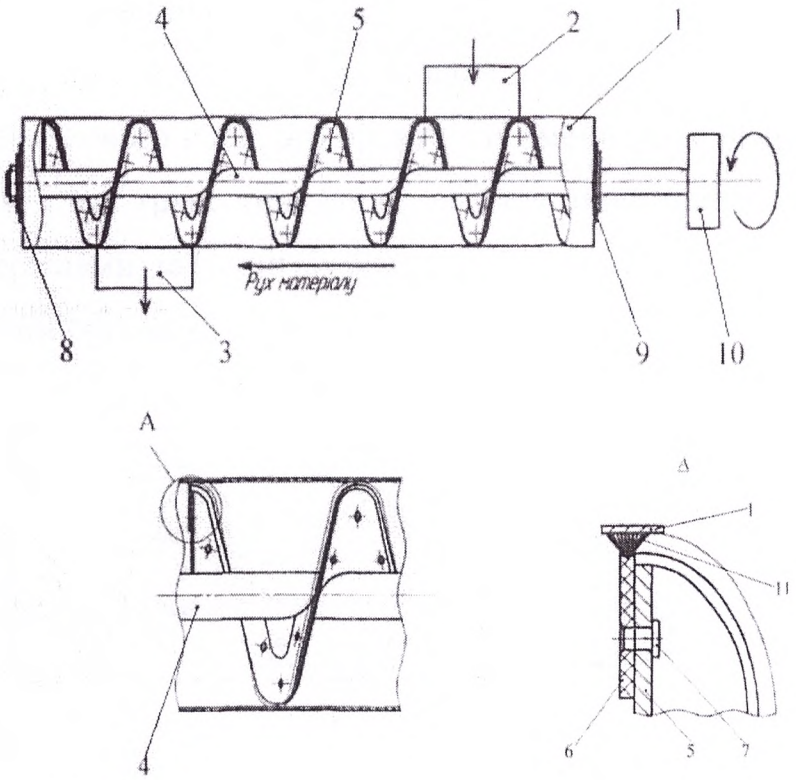


Рисунок 1.9 – Конвеєр гвинтовий, патент України (UA 69808)

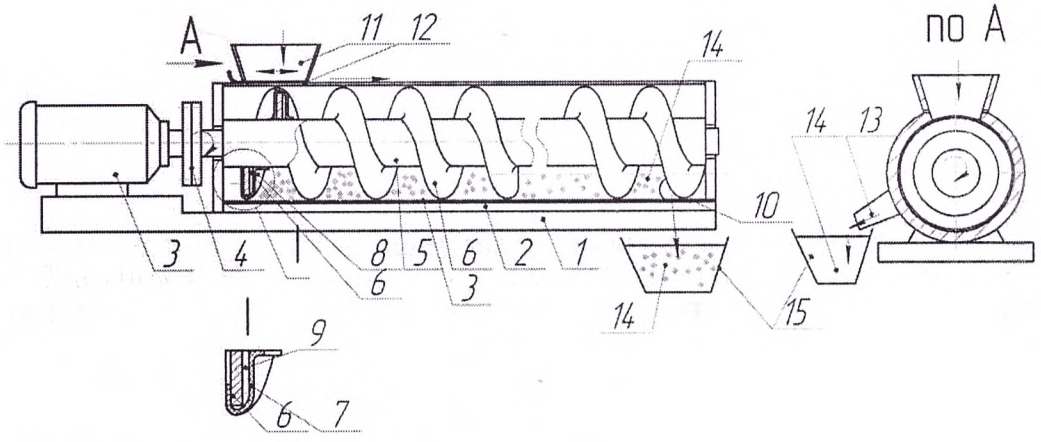


Рисунок 1.10 – Конвеєр гвинтовий, патент України (UA 75314)

У конструкції шнекового транспортера за патентом України (UA 75313) (рисунок 1.11) в центрі та по периферії двох пар витків гвинтового робочого органу розміщено полімерний пружний елемент 7.

Полімерні пружні елементи 7 розміщені в центрі та по периферії двох подвійних витків шнекового робочого органу для зменшення травмування насіннєвого матеріалу під час транспортування на зберігання, протруювання, покриття захисними матеріалами та завантаження в різні ємності для висіву. Зазор між шнековим робочим органом і поверхнею корпусу невеликий.

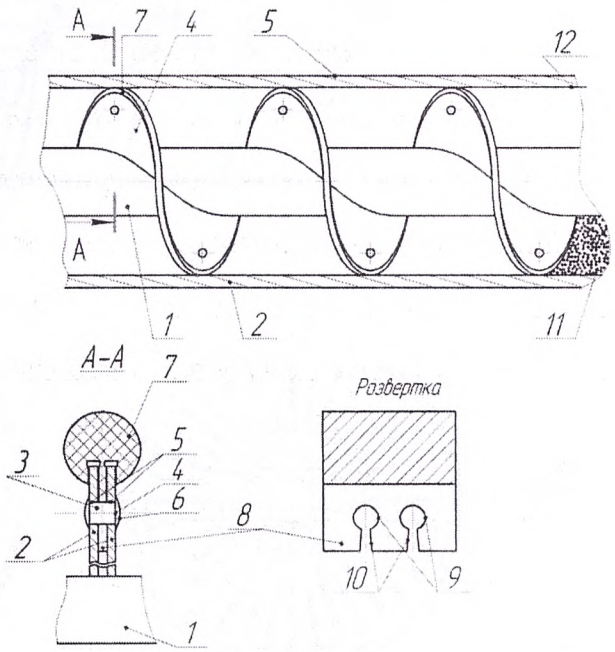
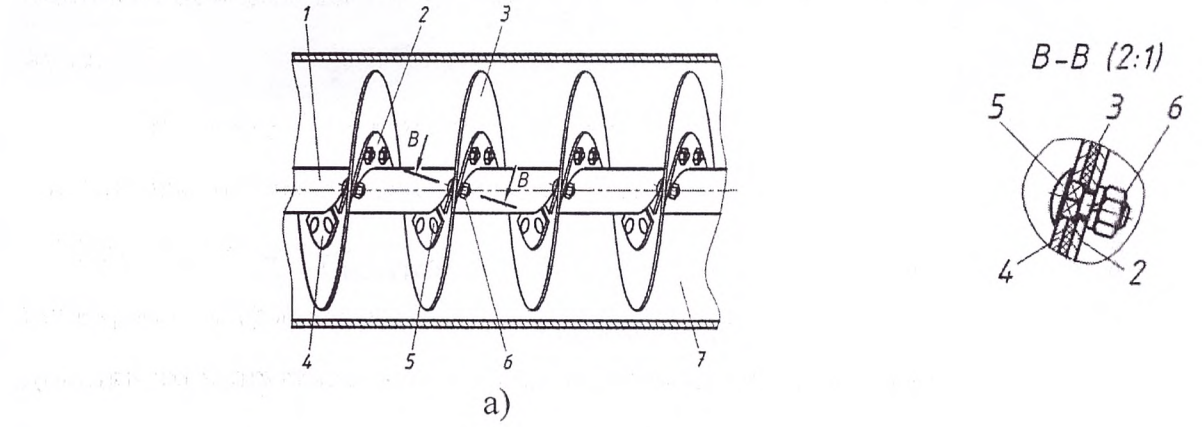


Рисунок 1.11 – Конвеєр гвинтовий, патент України (UA 75313)

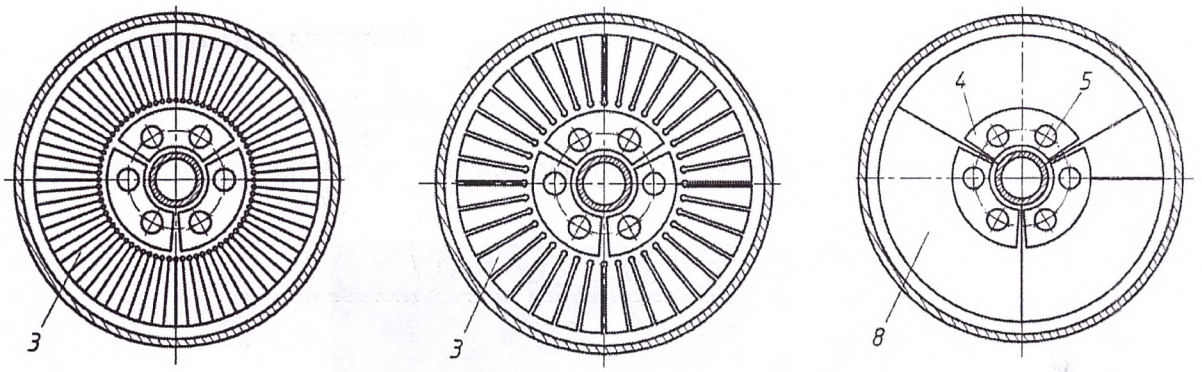
Основним елементом шнекового робочого органу з пружною частиною (рисунок 1.11) є вал 1 з привареним гвинтовим пасом 2, до якого болтами 5, гайками 6 зі штампованими шайбами та пластиною гвинтової частини 4 кріпиться пружна частина 3 з полімерного матеріалу, зокрема поліуретану. Еластична частина утворює робочу поверхню шнека для подачі зернового матеріалу. Між зовнішньою поверхнею еластичної частини і внут-

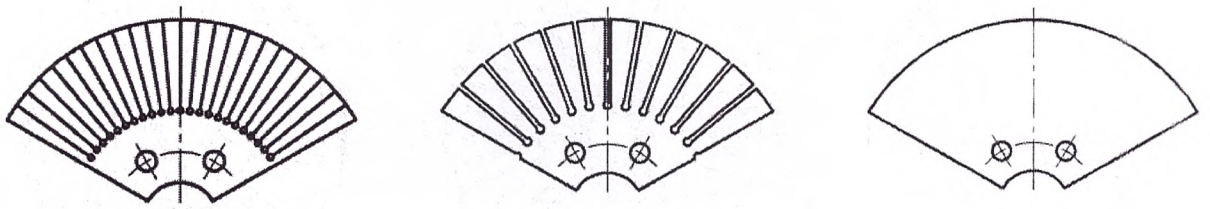
рішньою поверхнею корпусу підтримується мінімальний зазор, близький до нуля.

На рисунку 1.12 показані пружні секції різних конструкцій, в тому числі з перекриттям стулок (рисунок 1.12 б), зазорами між стулками (рисунок 1.12 в), сегментними секціями, закріпленими по швах (рисунок 1.12 г) або з перекриттям (рисунок 1.13). Це пояснюється тим, що жорсткість пружної ділянки зменшується, коли кристал затиснутий між зернами.



а)





б) в) г)

Рисунок 1.12 – Гвинтовий робочий орган з еластичною секцією:
а) загальний вигляд, б) еластична секція з перекриваючимися стулками,
в) еластична секція з проміжками між стулками, г) сегментна еластична секція

Геометричні параметри еластичних секцій розраховуються відповідно до властивостей зернового матеріалу, що транспортується, і матеріалу самої секції. Ще однією перевагою є те, що секції можна швидко замінити в разі зносу.

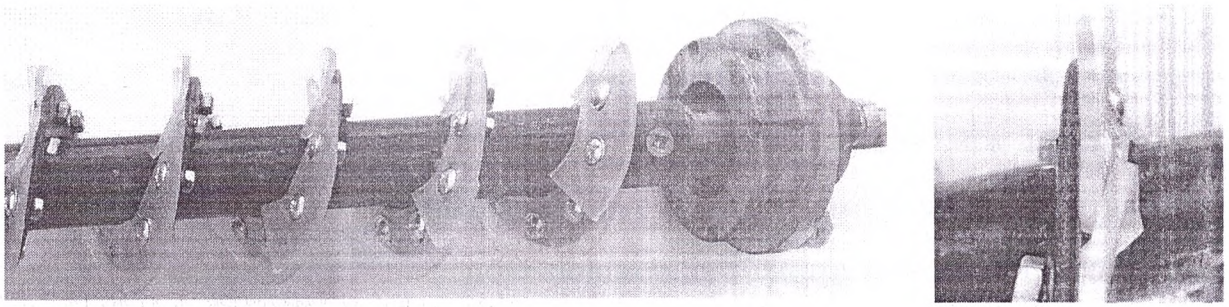


Рисунок 1.13 – Гвинтовий робочий орган обладнаний еластичними секціями з поліуретану

Sudenga представила гвинтовий конвеєр зі щітковим шнеком, як показано на рисунку 1.14. За словами компанії, цей шнек забезпечує високу продуктивність транспортування без пошкодження матеріалу.

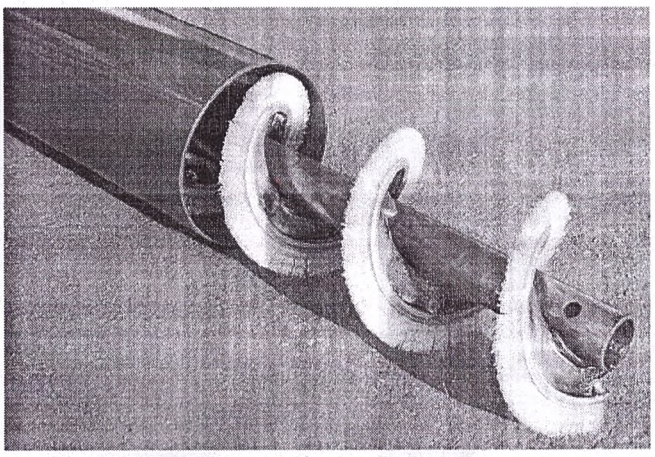
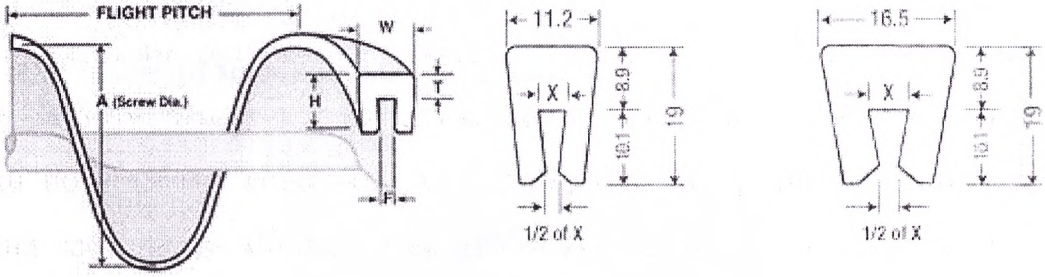
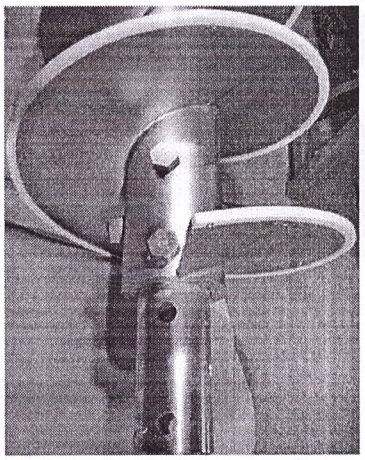


Рисунок 1.14 –Щіткові елементи компанії Sudenga

Сталевий сердечник переміщує матеріал котушки, а нейлонові волокна забезпечують прогин на кінцях котушки, де зазвичай відбувається пошкодження матеріалу. Діаметри варіюються від 4 до 8, а продуктивність - від 90 до 2600 бушелів на годину. Рекомендується для транспортування насіння бобових культур у чистому вигляді, але не підходить для використання з добривами.

Поширеним рішенням проблеми зменшення зазору між крильчаткою шнека і внутрішньою поверхнею корпусу є окантовка зовнішнього діаметру кромки повернення спеціальною полімерною екструзійною вставкою. Таке рішення забезпечує мінімальний зазор між гвинтом і корпусом без ризику контакту металу корпусу з металом гвинта. Параметри обрамлення показані на рисунку 1.15.





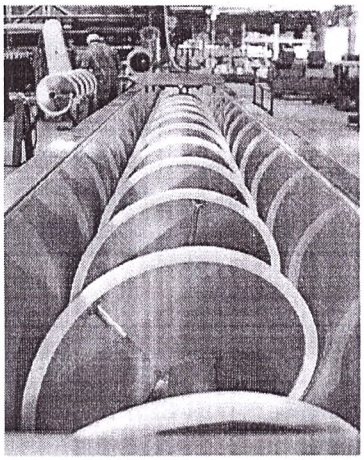


Рисунок 1.15. –Кромки зовнішнього діаметра витків шнека окантовані спеціальними полімерними екструдованими вставками

Матеріал, що використовується для ріжучих кромок, – високомолекулярний поліетилен, але можливі й інші варіанти матеріалів, залежно від вимог застосування. Розміри шнеків, для яких виготовляються полімерні вставки, варіюються від 6 до 36 дюймів в діаметрі і товщиною до 3/8 дюйма.

Перевага таких рам полягає в тому, що вони підвищують ефективність гвинтових конвеєрів, а також можуть використовуватися в якості напрямних, де потрібні проміжні підшипники. В цьому випадку полімерна вставка виконує роль підшипника ковзання. При встановленні в кінці витка вставка утримується на місці одним болтом в базовому витку (рисунок 1.15).

Marjon також пропонує полімерні вставки з щітками (рисунок 1.16). У цьому випадку щітки вставляються в сталевий канал в центрі полімеру. Їх рекомендують використовувати для роботи з матеріалами, які можна легко пошкодити звичайними металевими гвинтами.

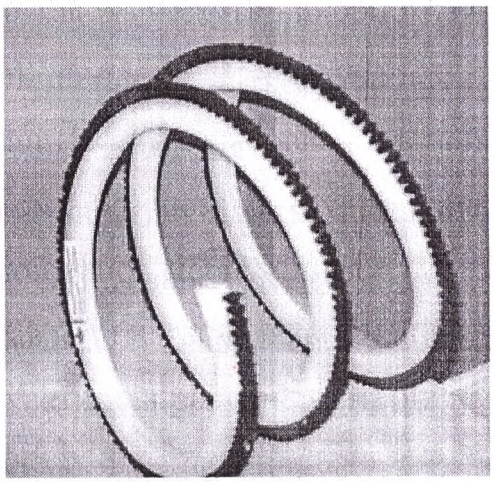


Рисунок 1.16 – Спеціальна полімерна вставка із щітковими елементами компанії Maljohn

2 Науковий розділ

2.1 План експериментальної частини

В процесі кваліфікаційної роботи було проведено серію експериментальних досліджень для перевірки здатності гвинтових конвеєрів з гвинтовими приводами з еластичною поверхнею, отриманою в результаті морфологічного синтезу, ефективно транспортувати крихкі матеріали. Під час експериментального практичного застосування було скориговано та вдосконалено конструкцію запропонованого гвинтового колеса з еластичною поверхнею, визначено його раціональні конструктивні та технічні параметри, а також модифіковано запропоновану теоретичну модель.

Програма експериментальних досліджень включає наступні етапи

Проектування та виготовлення дослідного зразка гвинтового конвеєра з трьома змінними гвинтовими робочими органами (суцільні бункерні частини, кільцеві еластичні щіткові частини та щіткові гвинтові частини) з різними діаметрами корпусу та еластичними поверхнями;

Проведення лабораторних досліджень з визначення закономірностей зв'язку між ефективністю транспортування та ступенем пошкодження насіннєвого зернового матеріалу гвинтовими транспортерами зі змінними еластичними поверхнями робочих органів залежно від зміни частоти обертання n гвинтових робочих органів, внутрішнього діаметра D корпусу та кута нахилу α_1 гвинтового транспортера під час переміщення ячменю та кукурудзи;

Виведення рівнянь регресії з закодованими натуральними величинами на основі статистичної обробки результатів експериментальних досліджень та їх верифікації за допомогою прикладного програмного забезпечення.

2.2 Особливості конвеєра з еластичними змінними поверхнями для проведення експериментальних досліджень

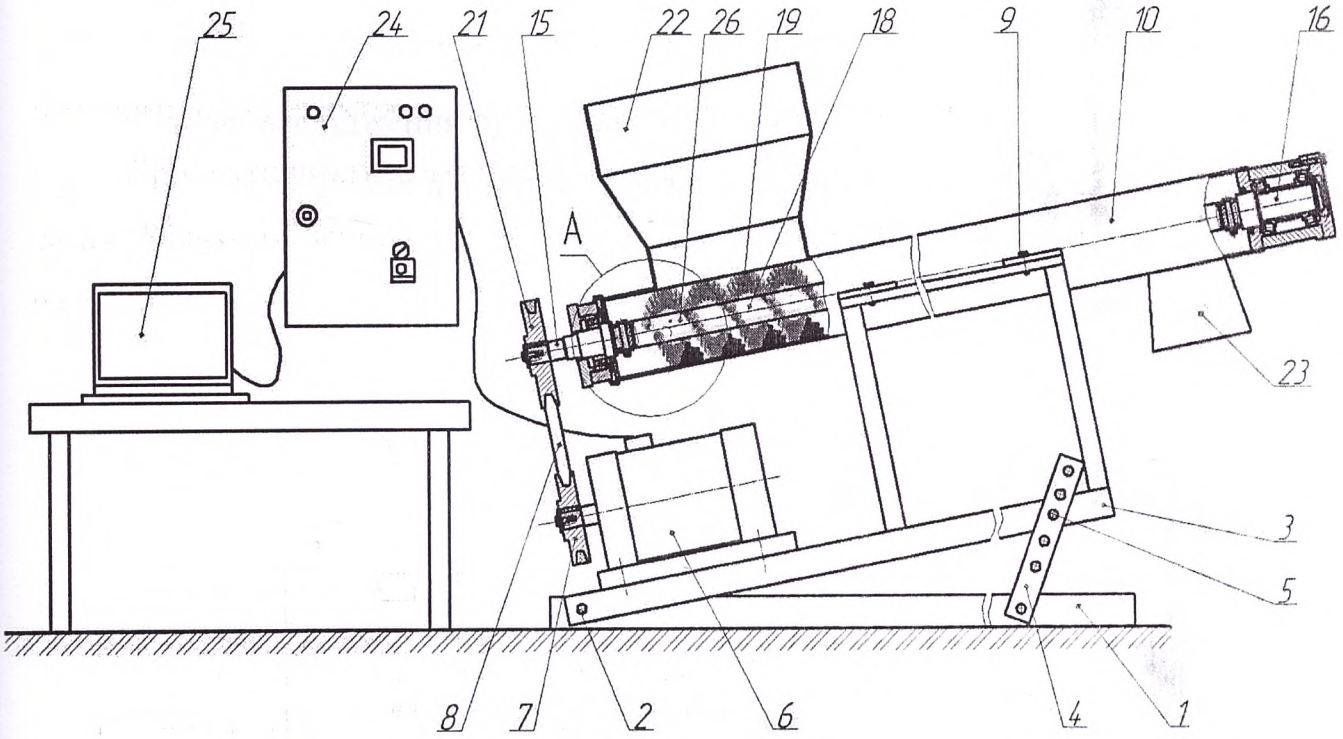
Прототип гвинтового конвеєра з різними діаметрами корпусу та змінними гвинтовими колесами з еластичними поверхнями показано на рисунках 2.1 та 2.2. Основним конструктивним елементом пристрою є опорна рама 1, на якій розміщена рухома рама 3, приварена на пальцях 2, що може зміщуватися на кут відносно горизонтальної лінії 1. Фіксація рухомої рами 3 під кутом, визначеним програмою експериментальних досліджень, здійснюється за допомогою кронштейна 4 і штифтів 5, встановлених в отворах кронштейна 4 і рухомої рами 3.

До рухомої рами 3 за допомогою болтів 9 також кріпиться електродвигун 6 зі шківами 7 та пасовою передачею 8, а також циліндричний корпус 10. Така конструкція дозволяє під час експериментальної роботи швидко змінювати корпуси 10 різних діаметрів. На кожній торцевій стороні корпусу 10 виконані пази (11 і 12), в яких встановлені лівий і правий піввали 15 і 16 в підшипниках кочення 13 і 14. На лівій і правій піввісях 15 і 16 за допомогою штифтів 17 закріплені порожнисті вали 18. На валу 18 за допомогою трубки 20 закріплена еластична щіткоподібна гвинтова робоча поверхня 19, яка разом утворює конструкцію гвинтового робочого органу 26 (на рисунку 2.3 показані різні конструкції гвинтового робочого органу 26). (На рисунку 2.3 показані різні конструкції гвинтового робочого органу 26). На лівій піввісь 15 встановлений шків 21, з'єднаний з пасовою передачею 8. На корпусі 10 встановлено завантажувальний бункер 22 і вивантажувальний патрубок 23. Електродвигун 6 з'єднаний кабелем з перетворювачем частоти змінного струму (Altivar 71), який знаходиться в блоці управління 24 приводом і всього конвеєра. Перетворювач частоти струму підключений до персонального комп'ютера 25 з програмним забезпеченням PowerSuite версії 2.3.0.

Під час проведення експериментальної роботи зерновий матеріал подавався з бункера 22 в корпус 10 і транспортувався по корпусу 10 за допомогою гвинтового робочого органу 26 з еластичною поверхнею до вивантажувального затвора 23, звідки матеріал переносився до вагової ємності. Обертальний рух гвинтовому робочому органу 26 передається від електродвигуна 6 через пасову передачу 8. Керування режимом роботи електродвигуна 6 і конвеєра здійснювалося з персонального комп'ютера 25 через перетворювач 24.

На перетворювачі 24 струм - частота Altivar 71 використовувалося програмне забезпечення PowerSuite. Це програмне забезпечення дозволяє користувачеві в режимі реального часу отримувати дані у вигляді числових таблиць і графіків про потужність, що витрачається на транспортування зернового матеріалу, і крутний момент на валу двигуна. Частотний перетворювач також забезпечує режим плавного пуску електродвигуна 6 і шнекового робочого органу 26.

Продуктивність конвеєра визначалася шляхом зважування на електронних вагах. Кількість зернового матеріалу, що транспортується за певний проміжок часу.



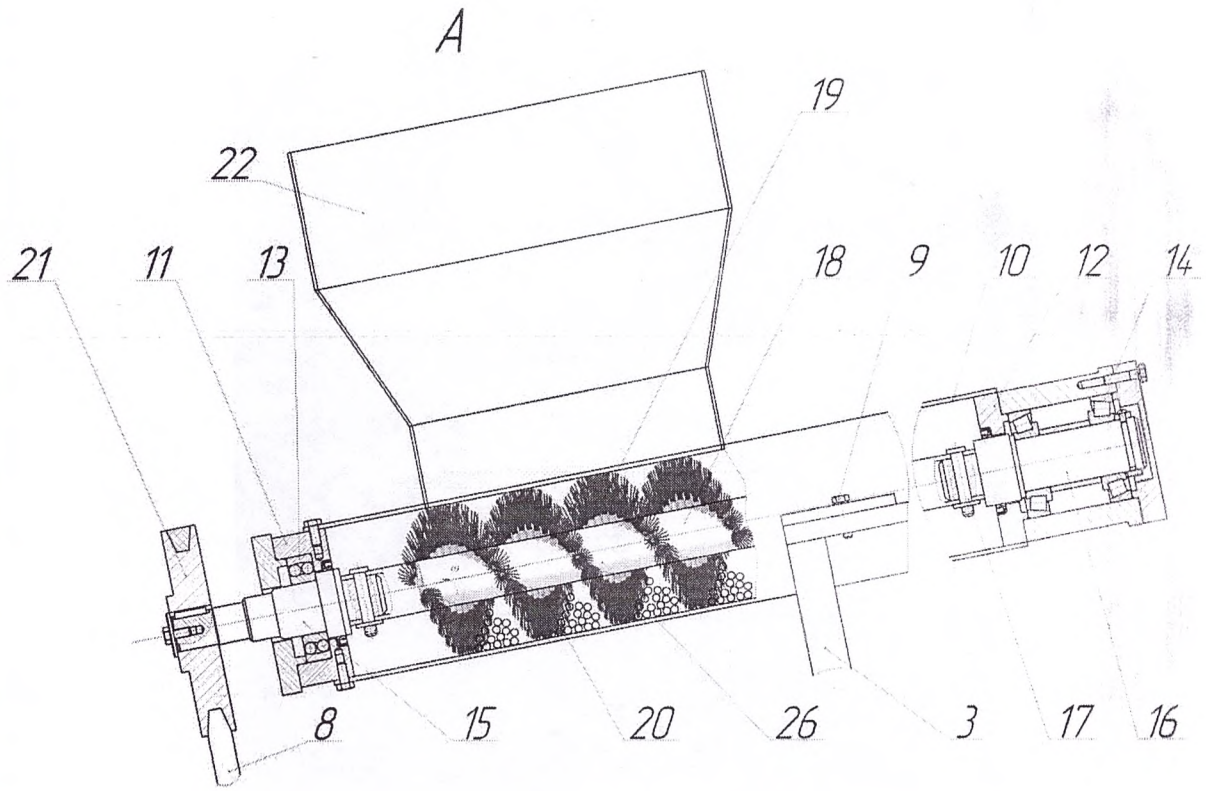


Рисунок 2.1 – Схема дослідного зразка конвеєра зі змінними гвинтовими робочими органами

Під час дослідження було використано три змінні гвинтові робочі органи з корпусами трьох різних діаметрів та еластичними поверхнями.

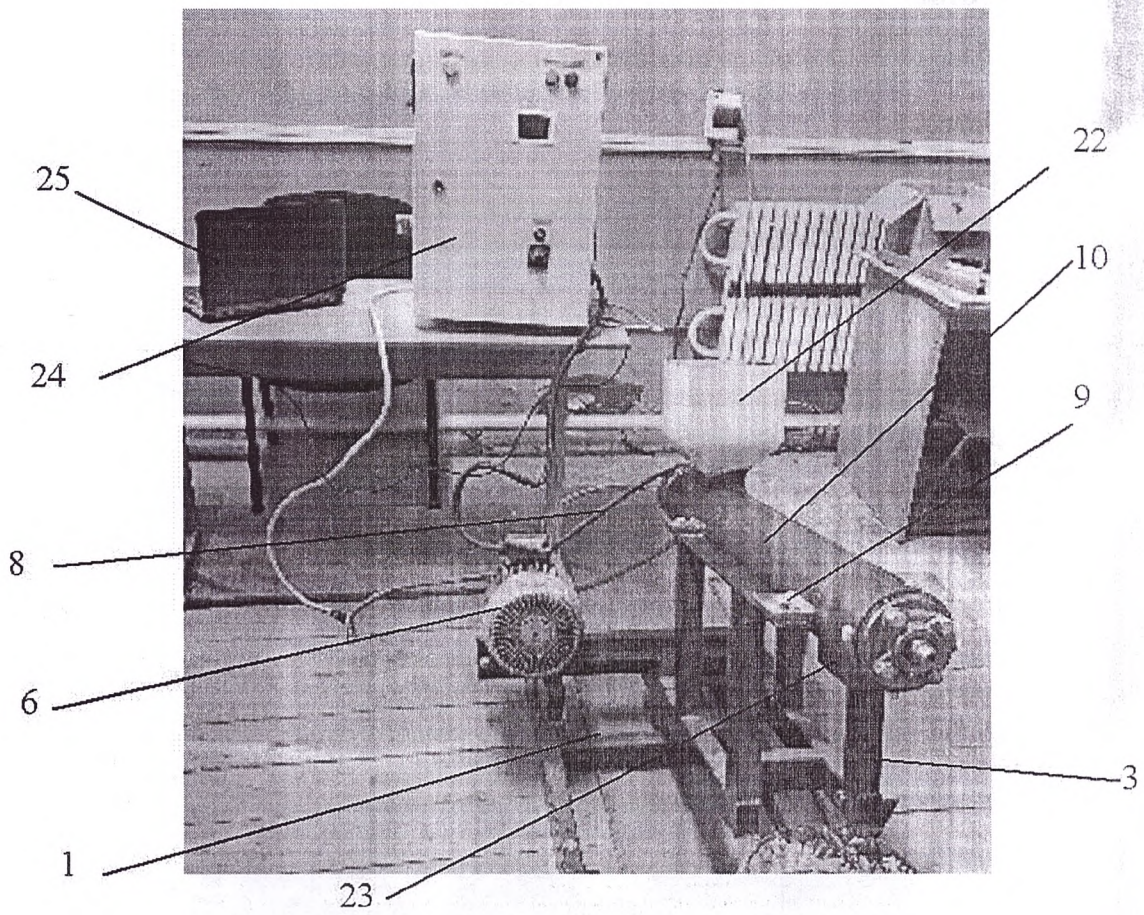


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд дослідного зразка

На рисунку 2.3 показано загальний вигляд гвинтового колеса з еластичними поверхнями.

Гвинтове робоче колесо, показане на рисунку 2.3 а, складається з порожнистого валу 1, на якому перпендикулярно до його центральної осі закріплена порожниста циліндрична труба 2, перфорована по гвинтовій лінії, на якій закріплений пучок 3 еластичних щіткоподібних елементів (еластичних щіток), що виступають на зовнішню поверхню порожнистого валу.

На рисунку 2.3 б, зображено гвинтовий робочий орган, що складається з порожнистого валу 1, на якому закріплена спіральна гвинтова лінія 2 з отвором для закріплення еластичного щіткоподібного елемента 3 за допомогою кріпиль-

них елементів. Еластичний щіткоподібний елемент 3 складається з еластичної основи 4 та еластичної щіткової частини 5 по колу.

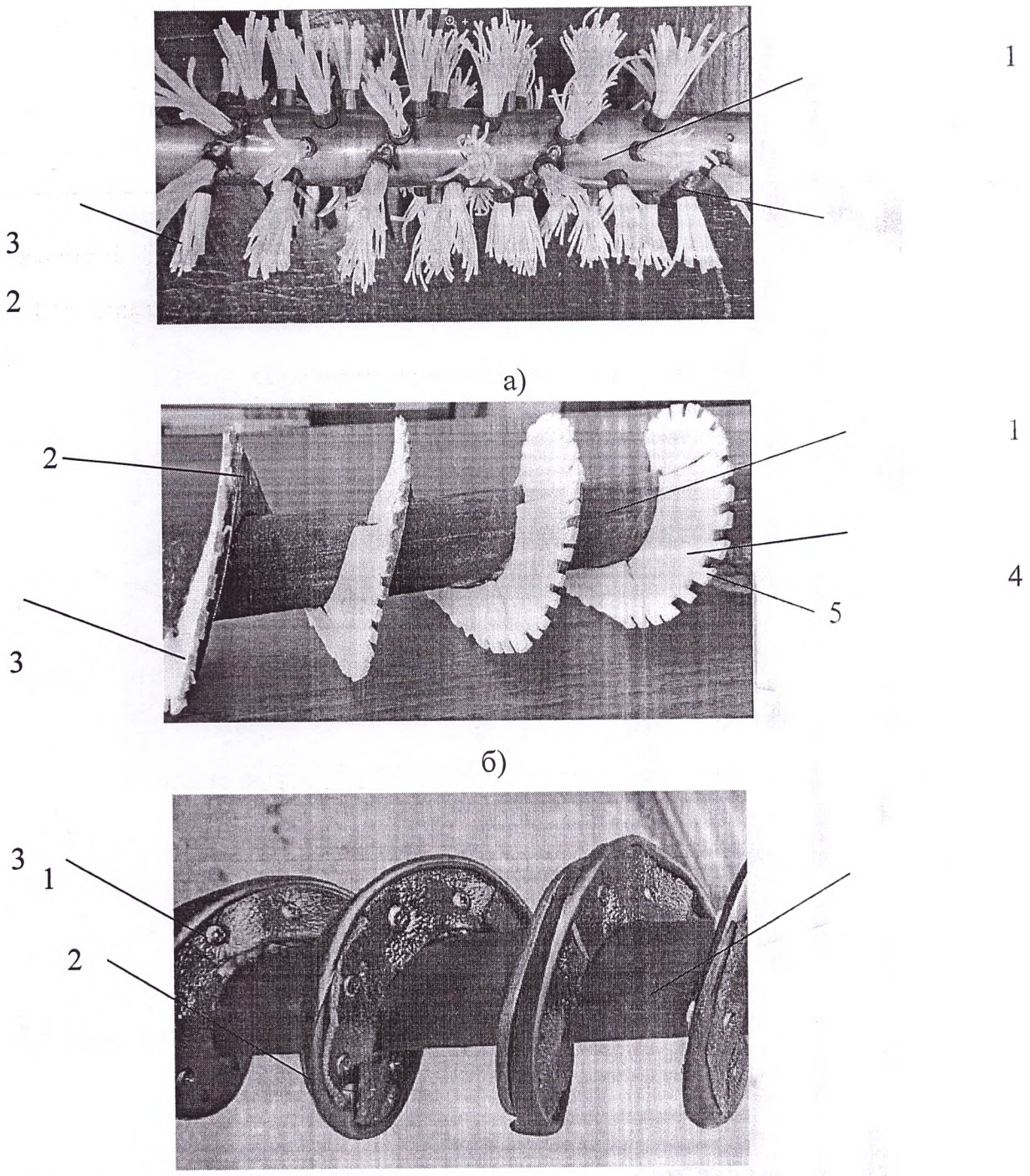


Рисунок 2.3 – Загальні вигляди робочих органів:
а) з щіткоподібною частиною гвинта; б) з еластичною щіткоподібною частиною; в) із камероподібною частиною

На рисунку 2.4 показано вікно програмного забезпечення PowerSuite, яке використовується для керування частотним перетворювачем Altivar 71, та експериментальні дані, отримані у вигляді графіків у реальному часі про потужність, що споживається на транспортування зернового матеріалу, та крутний момент на валу електродвигуна.

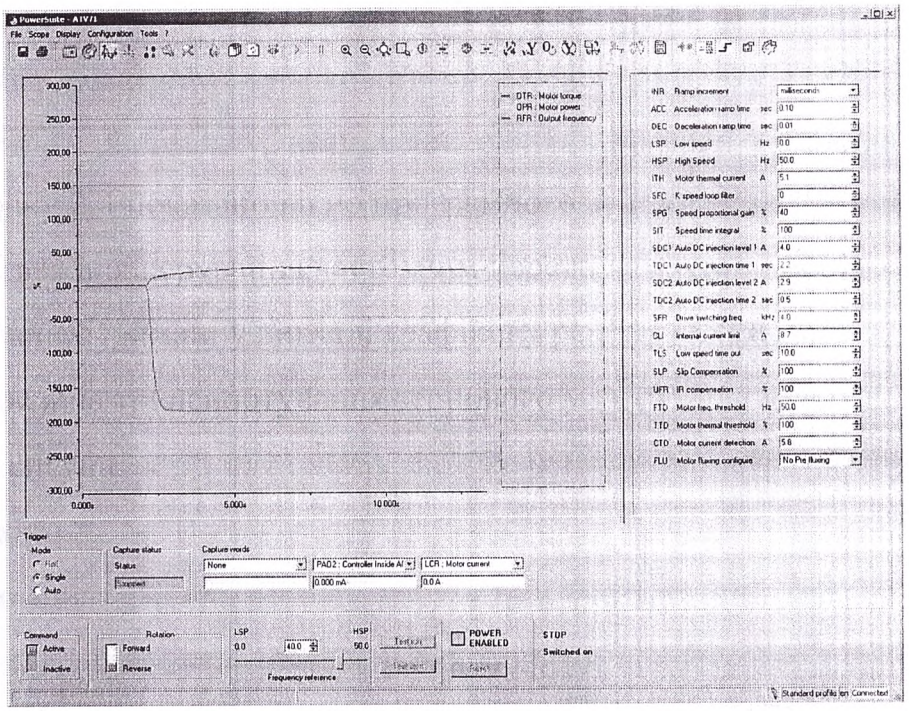


Рисунок 2.4 – Вікно програмного забезпечення

2.3.Методика проведення експериментів

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи та забезпечення достатньої точності отриманих даних для виробництва перед початком виконання основної роботи на основі теоретичних даних та попередніх експериментальних досліджень було проведено аналіз та вибір змінних конструктивно-технологічних факторів процесу транспортування зернового матеріалу гвинтовими робочими органами з пружними поверхнями.

При проведенні практичних досліджень використовувався математичний метод планування експериментів з відповідними математичними формулами та програмним забезпеченням. Це дозволило визначити оптимальну кількість дослідів, мінімізувати витрати часу на проведення експериментів та одночасно варіювати основні конструктивно-технологічні фактори в три етапи.

Основні етапи трифакторного експерименту базуються на кодуванні основних змінних, розробці плану експерименту, випадковому виборі послідовності виконання робіт, реалізації випадкового плану експерименту, статистичній обробці результатів експерименту, визначенні рівнянь регресії з відкиданням незначущих коефіцієнтів та перевірці моделі [12, 15].

Експериментальні дослідження проводилися з використанням спроектованих і виготовлених елементів гвинтового конвеєрного обладнання з трьома змінними гвинтовими робочими органами (суцільного бункера, кільцевої еластичної щітки та гвинтових секцій щіткового типу) з різними діаметрами корпусів і пружними поверхнями.

З метою дослідження впливу параметрів (незалежний фактор x_i) процесу транспортування зернового матеріалу гвинтовими конвеєрами з трьома різними типами гвинтових робочих органів з еластичними поверхнями на транспортну продуктивність кукурудзи та ячменю під час транспортування та ступінь пошкодження насіннєвого зернового матеріалу (параметри оптимізації Q і T) було проведено повний факторний експеримент, в якому досліджували вплив зміни трьох основних факторів: частоти обертання гвинтового робочого органу n, внутрішнього діаметра D кожуха та кута нахилу α транспортера. Тобто $Q=f(n, D, \alpha 1)$, $T=f(n, D, \alpha 1)$.

Визначено межі зміни основних змінних, що впливають на досліджувані параметри роботи гвинтових конвеєрів з гвинтовими робочими органами з пружними поверхнями:

Частота обертання шнека n = 284…511,2 об/хв, що відповідає заданій частоті струму перетворювача частоти 10…18 Гц.

Внутрішній діаметр корпусу D = 96…108 мм;

Кут нахилу конвеєра α1 = 0…30°.

Фактичні значення незалежних факторів експерименту були переведені в кодовані значення для усунення ефекту неоднорідності, обумовленої різними одиницями і порядками, і для переходу до єдиної системи обчислень.

Ефективність вимірювалася за допомогою трьох різних типів роботи шнека з еластичними поверхнями під час транспортування зернового матеріалу. Для подальшого дослідження були відібрані зразки матеріалу для визначення ступеня пошкодження насіннєвого зернового матеріалу до і після транспортування гвинтовими конвеєрами з різними типами гвинтових коліс з еластичними поверхнями. Отримані результати були занесені в таблицю в матриці експериментальної схеми.

Результати експерименту в матричній формі були статистично оброблені з використанням методів кореляційно-регресійного аналізу [12, 15] та відповідного програмного забезпечення для отриманих даних. Потім визначали та перевіряли коефіцієнти регресійних та емпіричних рівнянь.

Незалежні змінні n, D і α були об'єднані в єдину розрахункову систему шляхом кодування, оскільки вони є неоднорідними і по-різному впливають на ефективність транспортування Q і ступінь пошкодження T насіннєвого матеріалу під час транспортування кукурудзи і ячменю трьома різними типами гвинтових інструментів з еластичними поверхнями.

Запишемо рівняння регресії для трьох факторного експерименту в загальному вигляді: У загальному вигляді для трифакторного експерименту:

$$\hat{y}_i = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_1^k b_{ii} x_i^2 + \sum_1^k b_{ij} x_i x_j; \quad (2.1)$$
$$i \neq j,$$

де $i, j = 1,2,\ldots, k$ – порядкові номери факторів;

$\hat{y}$ – обертальний момент на привідному валу *T, H*;

$x_1, x_2, \ldots, x_k$ – вихідні фактори;

$b_0, b_1, b_2, \ldots, b_{12}, b_{13}, \ldots, b_{ij}, b_{ii}$ – коефіцієнти рівняння.

Позначивши числами «-1» мінімальні, «0» середні та «+1» максимальні значення обраних параметрів – заповнюємо таблицю 2.3.

Функціональна залежність вищенаведених параметрів на інтенсивність змішування має вигляд:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + \\ + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \qquad (2.2)$$

.Таблиця 2.1 – Результати проведеного кодування факторів

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Частота обертання робочого органу	n, об/хв	x_1	113,6	511,2 (+1)	397,6 (0)	284 (-1)
Діаметр кожуха (внутріш-ній)	D, мм	x_2	6	108 (+1)	102 (0)	96 (-1)
Кут нахилу конвеєра	α_1, град	x_3	15	30 (+1)	15 (0)	0 (-1)

2.4 Результати експериментальних досліджень продуктивності шнекових механізмів з еластичними змінними поверхнями

Результати експериментів з ефективності були занесені в матрицю планування з трифакторною (k=3) зміною всіх факторних експериментів з урахуванням статистичної обробки та впливу взаємодій при варіюванні кожного параметра щонайменше на трьох рівнях, з метою визначення виходів моделі, що описується рівнянням квадратичної регресії (2.1) та можливих екстремальних точок у факторному просторі.

У таблиці 2.1 наведено рівняння регресії для ефективності переміщення гранул насіння по гвинтовому конвеєру з гвинтовим колесом, що має пружну су-

цільну камерну секцію, де частота обертання гвинтового колеса n, внутрішній діаметр кожуха D і кут нахилу α1 транспортера, тобто $Q_{1(x,x,x)} \square f(n, D, \square_1)$, за результатами проведених повних факторних експериментів у кодованих величинах дорівнює:

– для транспортування ячменю:

$$Q_{1я(x,x,x)} = 5{,}132 + 0{,}529x_1 + 0{,}341x_2 - 0{,}329x_3 + 0{,}097x_1x_2 -$$

$$-0{,}094x_1x_3 - 1{,}19 \cdot 10^{-4} x_2x_3 - 0{,}146x^2 + 7{,}49 \cdot 10^{-4}_2 x^2 + 7{,}49 \cdot 10^{-4}_3 x^2;$$

– для транспортування кукурудзи:

$$Q_{1к(x,x,x)} = 5{,}39 + 0{,}555x_1 + 0{,}358x_2 - 0{,}346x_3 + 0{,}102x_1x_2 -$$

$$-0{,}099x_1x_3 - 1{,}25 \cdot 10^{-5} x_2x_3 - 0{,}154x^2 + 7{,}87 \cdot 10^{-4}_2 x^2 + 7{,}87 \cdot 10^{-4}_3 x^2,$$

де x_1 – значення (кодоване) частоти обертання гвинтового робочого органу;

x_2 – значення (кодоване) діаметра кожуха;

x_3 – значення (кодоване) значення кута нахилу конвеєра.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти рівнянь регресії при досліджені продуктивності переміщення

Коефіц.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
гранули	5,132	0,529	0,341	-0,329	0,097	-0,094	$-1{,}19 \cdot 10^{-4}$	-0,146	$-7{,}49 \cdot 10^{-4}$	$-7{,}49 \cdot 10^{-4}$
шарики	5,39	0,555	0,358	-0,346	0,102	-0,099	$-1{,}25 \cdot 10^{-5}$	-0,154	$-7{,}87 \cdot 10^{-4}$	$-7{,}87 \cdot 10^{-4}$

Коефіцієнти b_{23}, b_{22}, b_{33} рівнянь регресій є незначущими

Рівняння регресії у натуральних величинах мають такі вигляди:

– для транспортування ячменю:

$$Q_{1я(n,D,\alpha)} = 1{,}466 - 3{,}52 \cdot 10^{-5} n + 2{,}5 \cdot 10^{-4} D + 1{,}42 \cdot 10^{-4} nD -$$

$$-5{,}516 \cdot 10^{-5} n\alpha_1 - 1{,}129 \cdot 10^{-5} n^2;$$

– для транспортування кукурудзи:

$$Q_{1к(n,D,\alpha)} = 1{,}54 - 1{,}76 \cdot 10^{-5} n + 1{,}66 \cdot 10^{-4} D + 3{,}33 \cdot 10^{-5} \alpha_1 + 1{,}49 \cdot 10^{-4} nD -$$

$$-5{,}8 \cdot 10^{-5} n\alpha_1 - 1{,}19 \cdot 10^{-5} n^2.$$

На основі отриманих експериментальних результатів та рівнянь регресії побудовано поверхні відгуку залежності ефективності переміщення насіннєвого зернистого матеріалу гвинтовим конвеєром з гвинтовим робочим органом, що має пружні суцільні бункерні секції, та їх 2D перерізи, як показано на рисунках 2.5 – 2.8.

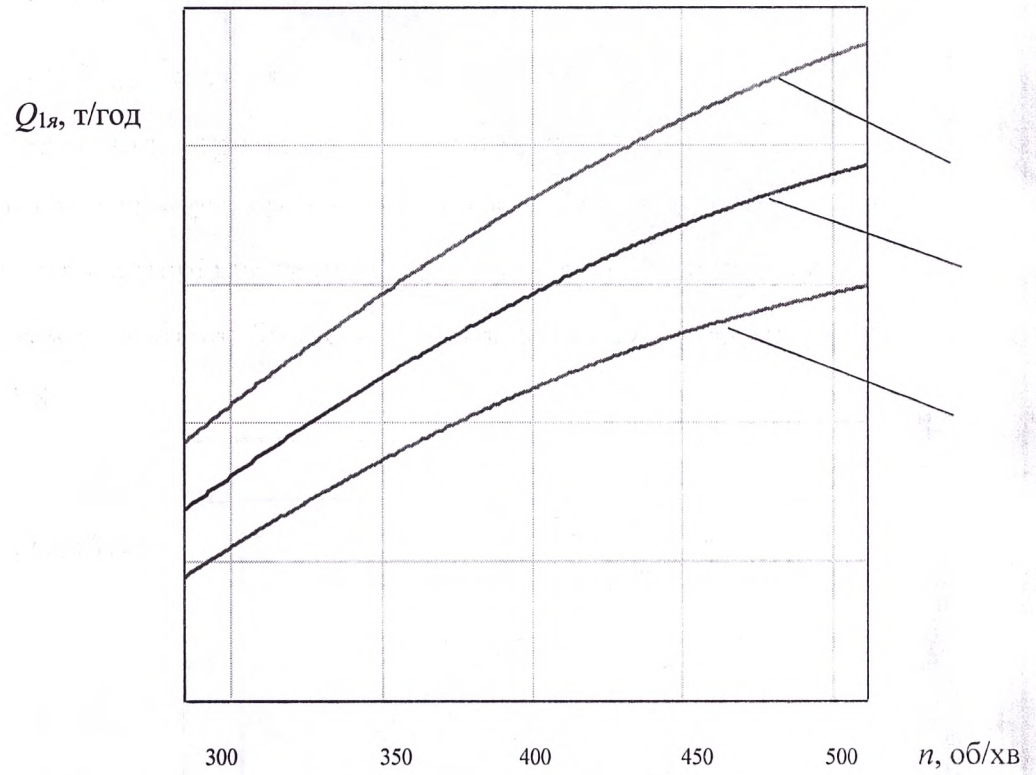
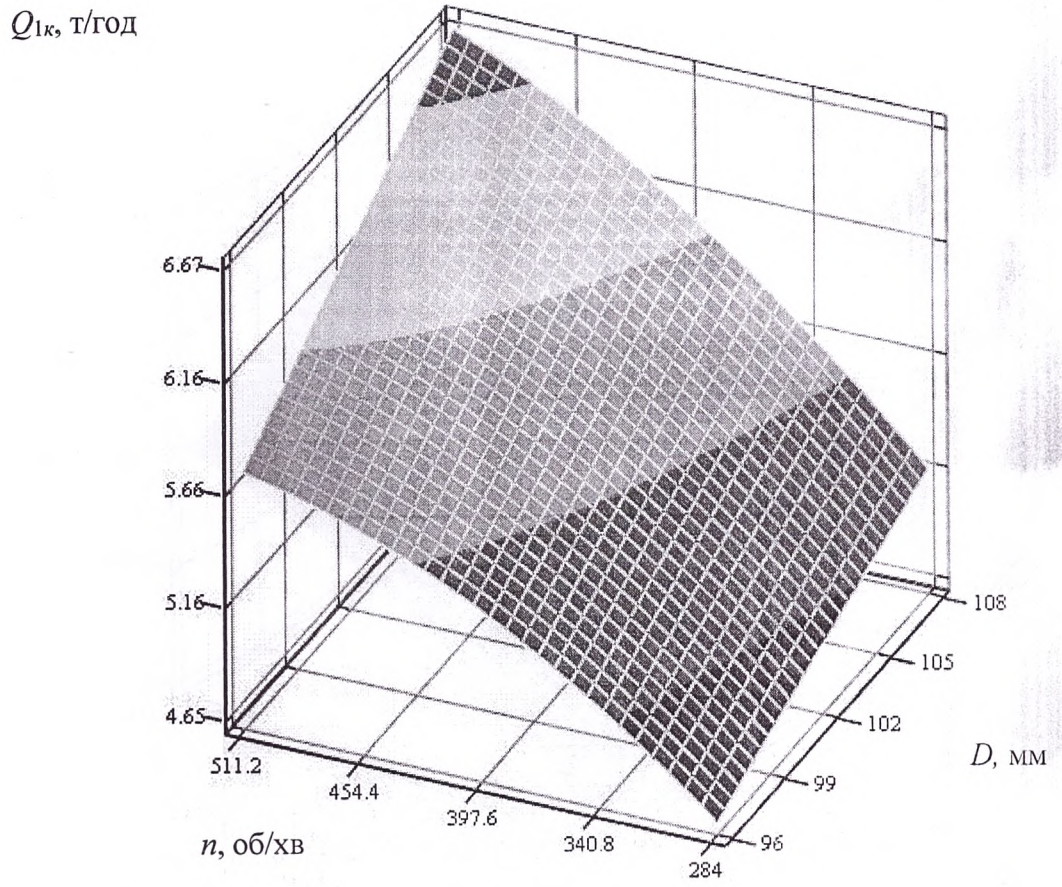
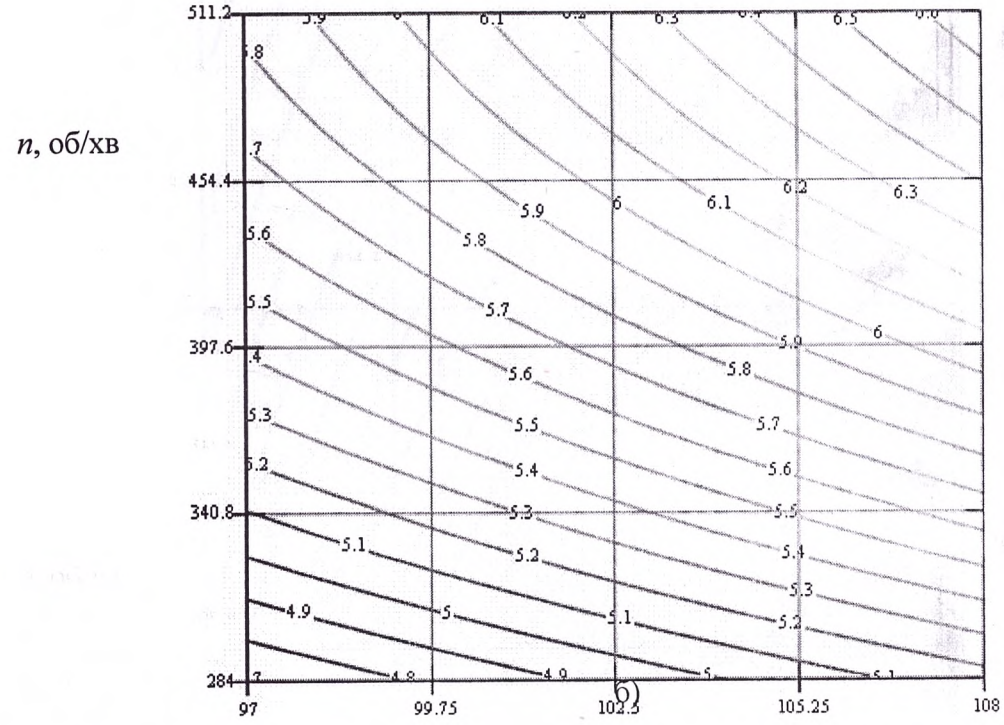


Рисунок 2.5 – Графіки залежності продуктивності переміщення матеріалу гвинтовим конвеєром із гвинтовим робочим органом з еластичною суцільною камероподібною частиною від частоти обертання робочого органу n при α_1=0 град: 1) D=96мм; 2) D=102мм; 3) D=108мм

Аналіз рівнянь регресії показує, що основним фактором, який впливає на зміну ефективності переміщення насіннєвого зернового матеріалу гвинтовими транспортерами з гвинтовими робочими органами з пружними суцільними бункерними секціями, є фактор $x_1(n)$. При цьому фактори x_2 і x_3 (D і α1) мають практично однаковий вплив: збільшення першого призводить до підвищення ефективності, а збільшення другого - до зниження ефективності.

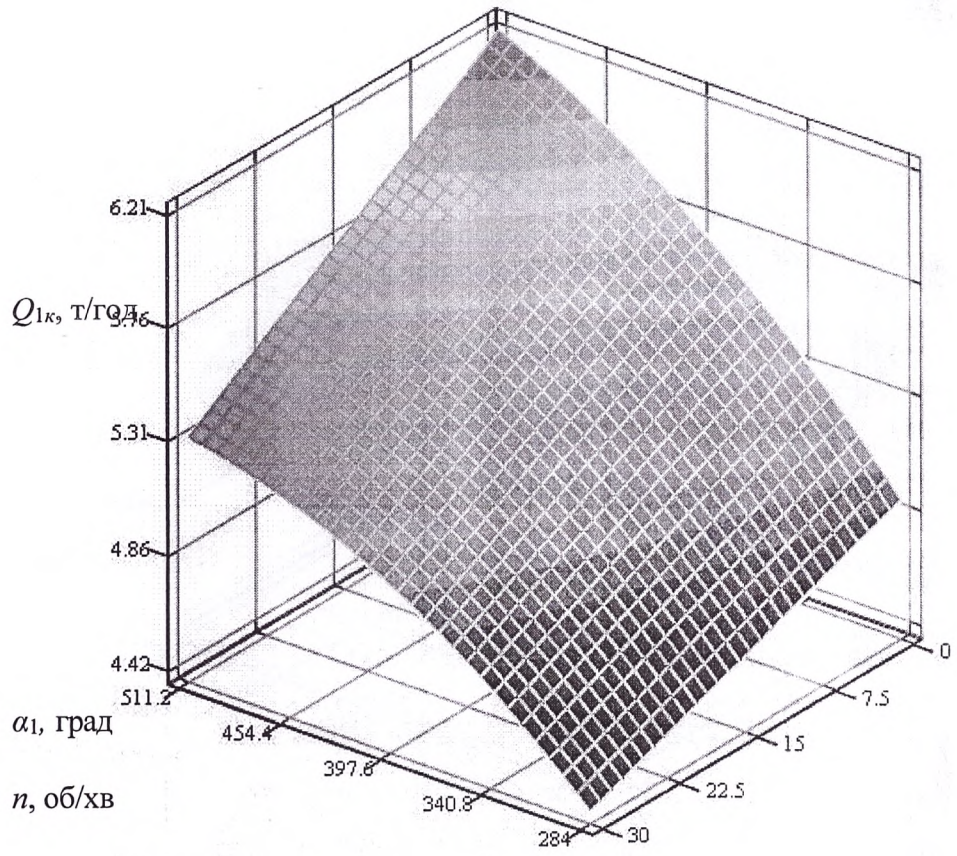


а)

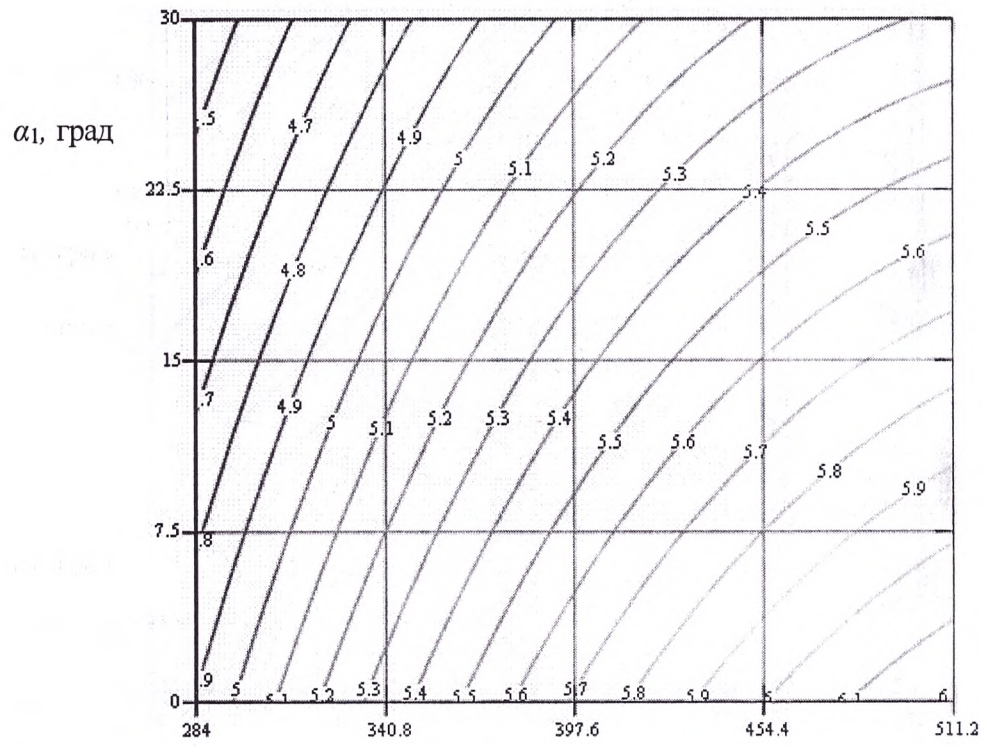


б)

Рисунок 2.6 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення від частоти обертання гвинтового робочого органу n та діаметра кожуха D (α_1=0 град)

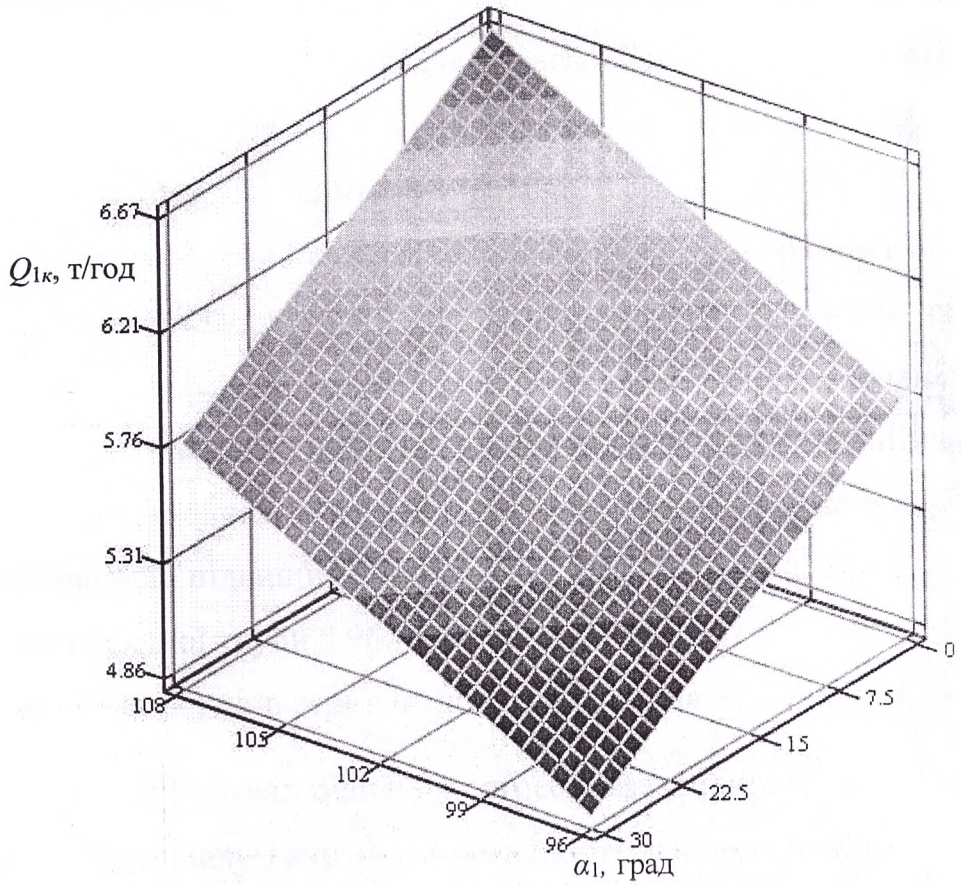


а)

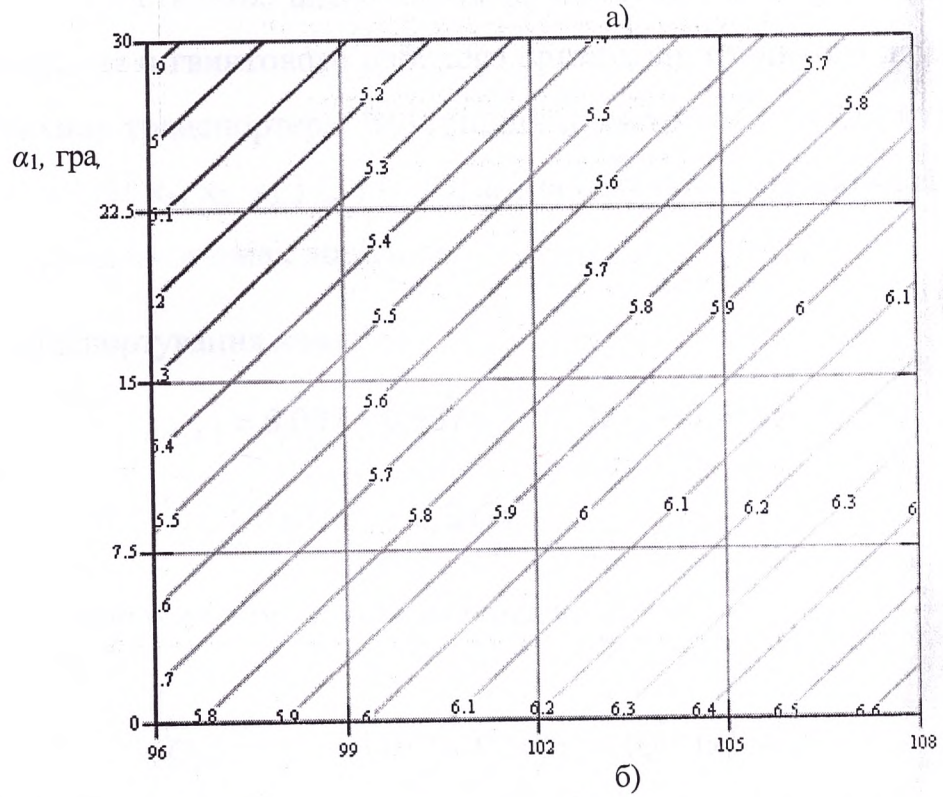


б)

Рисунок 2.7 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення від частоти обертання гвинтового робочого органу n та кута нахилу конвеєра α_1 (D=102мм)



а)



б)

Рисунок 2.8 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення від діаметра кожуха D та кута нахилу конвеєра α_1 (n=511,2 об/хв)

З рисунків 2.5 – 2.8 та рівнянь регресії можна зробити висновок, що ефективність транспортування насіннєвого зернового матеріалу зростає зі збільшенням діаметра кожуха, гвинтового робочого органу з пружним суцільним поперечним перерізом у формі камери та зменшенням кута нахилу гвинтового конвеєра. Максимальна продуктивність, отримана при транспортуванні ячменю, становила 6,37 т/год, а мінімальна - 3,98 т/год. Максимальна продуктивність, отримана під час транспортування кукурудзи, становила 6,67 т/год, а мінімальна - 4,18 т/год. Збільшення швидкості обертання робочого колеса шнека з n 284 об/хв до 511,2 об/хв дозволило підвищити продуктивність в 1,29 рази. У той же час, збільшення діаметра обсадної труби з 96 мм до 108 мм збільшило ефективність в 1,11 рази, а зміна кута нахилу конвеєра з 0° до 30° зменшила ефективність в 1,12 рази.

Загальний вигляд рівняння регресії ефективності переміщення насіннєвого зернового матеріалу гвинтовим транспортером, оснащеним гвинтовим робочим органом з еластичною щіткоподібною частиною по колу, в залежності від частоти обертання n гвинтового робочого органу, внутрішнього діаметра D кожуха та кута нахилу транспортера. Внутрішній діаметр корпусу D і кут нахилу конвеєра α1, тобто Q2(x_1, x_2, x_3) □ f (n, D, α_1), за результатами проведених експериментів у кодованих величинах дорівнює:

для транспортування ячменю:

$$- Q_{2я(x_1,x_2,x_3)} = 6,097 + 0,557x_1 + 0,502x_2 - 0,495x_3 -$$

$$- -0,812x_1^2 + 0,015x_2^2 - 0,247x_3^2;$$

- для транспортування кукурудзи:

$$Q_{2к(x_1,x_2,x_3)} = 5,959 + 0,649x_1 + 0,501x_2 - 0,391x_3 + 0,143x_1x_2 -$$

$$-0,529x_1^2 + 7,62 \cdot 10^{-4} x_2^2 - 0,195x_3^2.$$

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти рівнянь регресії при дослідженні продуктивності переміщення із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною

Коефіц.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
гранули	6,097	0,557	0,502	-0,495	0	0	0	-0,812	0,015	-0,247
шарики	5,959	0,649	0,501	-0,391	0,143	0	0	-0,529	$7,62 \cdot 10^{-4}$	-0,195

Рівняння регресії у натуральних величинах мають такі вигляди:

- для транспортування ячменю:

$$Q_{2я(n,D,\alpha)} = -9,75 + 0,0549n - 1,33 \cdot 10^{-3} D - 6,66 \cdot 10^{-5} \alpha_1 - 6,29 \cdot 10^{-5} n^2 + +4,17 \cdot 10^{-4} D^2 - 1,097 \cdot 10^{-3} \alpha^2;$$

- для транспортування кукурудзи:

$$Q_{2к(n,D,\alpha)} = -2,6 + 0,0169n + 8,33 \cdot 10^{-5} D - 6,66 \cdot 10^{-5} \alpha_1 + 2,098 \cdot 10^{-4} nD - -4,099 \cdot 10^{-5} n^2 - 8,66 \cdot 10^{-4}_1 \alpha^2.$$

На основі отриманих експериментальних результатів та рівнянь регресії за допомогою прикладного програмного забезпечення було побудовано поверхню відгуку в залежності від ККД насіннєвого гранульованого матеріалу, що рухається по гвинтовому конвеєру з гвинтовою робочою частиною, яка має пружну щіткоподібну частину по периферії та двовимірний поперечний переріз, як показано на рисунку 2.10 – 2.13.

Аналіз рівнянь регресії показує, що основним фактором, який впливає на зміну продуктивності гвинтового конвеєра з гвинтовим колесом з еластичною щіткоподібною ділянкою навколо нього, є фактор $x_1(n)$. Фактор $x_2(d)$ має незначний вплив, а фактор $x_3(\alpha 1)$ має найменший вплив, причому збільшення перших двох факторів призводить до збільшення продуктивності, а збільшення третього фактора – до зменшення продуктивності.

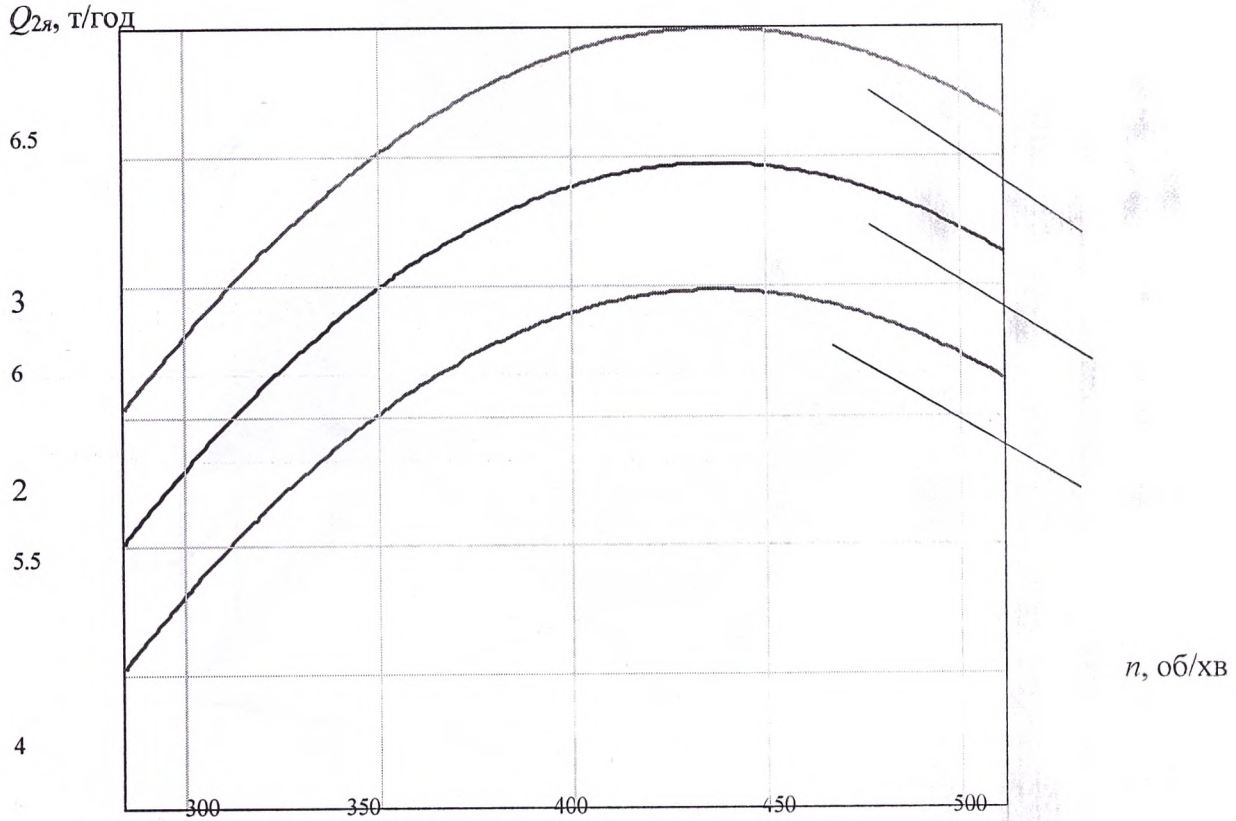
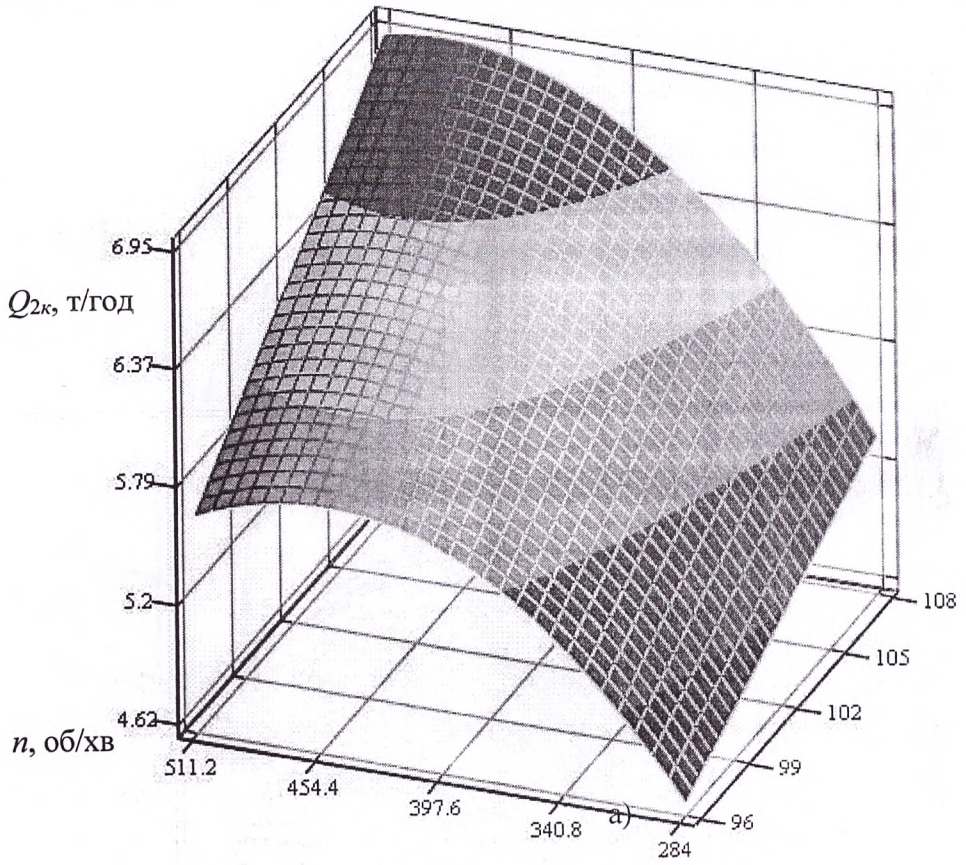


Рисунок 2.10 –Залежність продуктивності переміщення матеріалу гвинтовим конвеєром із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною від частоти обертання робочого органу n при транспортуванні ячменю, α_1=0 град: 1) D=96мм; 2) D=102мм; 3) D=108мм

З рисунків 2.10 і 2.13 та рівнянь регресії можна зробити висновок, що ефективність транспортування зернового матеріалу зростає зі збільшенням діаметра корпусу, збільшенням швидкості обертання гвинтового робочого органу з еластичними щіткоподібними секціями навколо нього та зменшенням кута нахилу гвинтового конвеєра. Максимальне і мінімальне значення продуктивності, отримане при транспортуванні ячменю, становило 6,61 т/год і 3,49 т/год відповідно. Максимальна продуктивність, отримана при транспортуванні кукурудзи, становила 6,92 т/год, а мінімальна - 3,84 т/год. При збільшенні швидкості обертання n шнекового колеса з 284 об/хв до оптимальної продуктивність зросла в 1,25 рази для ячменю і в 1,22 рази для кукурудзи. Оптимальна швидкість обертання шнека для транспортування ячменю становить 430-440 об/хв, а для транспортування кукурудзи – 450-480 об/хв.



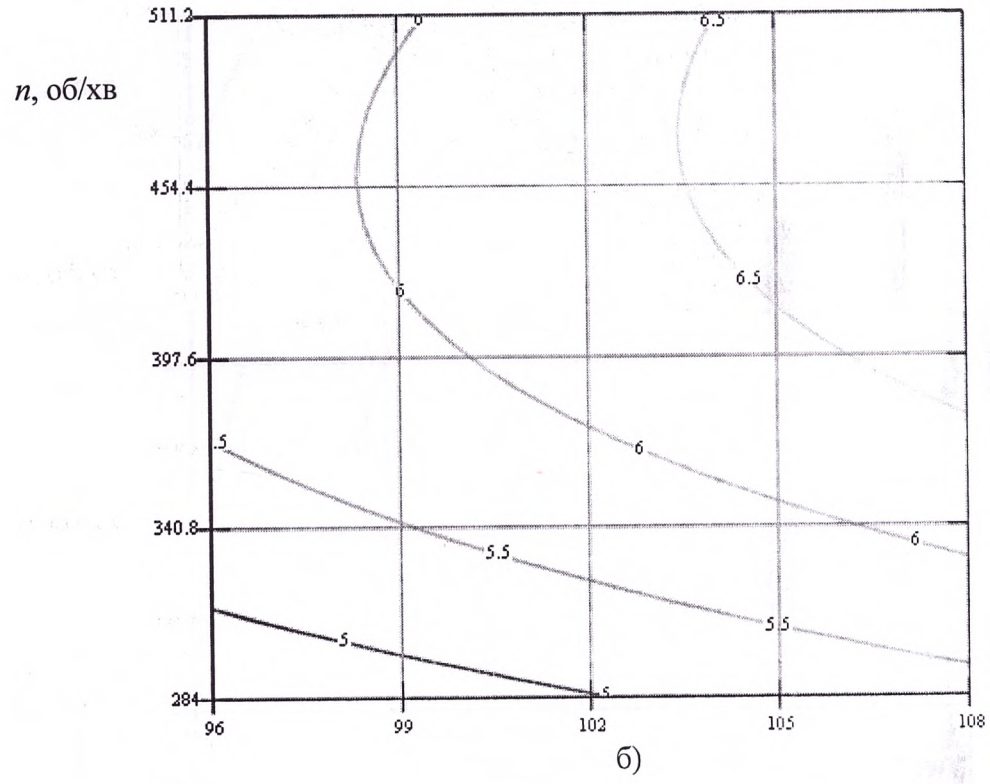
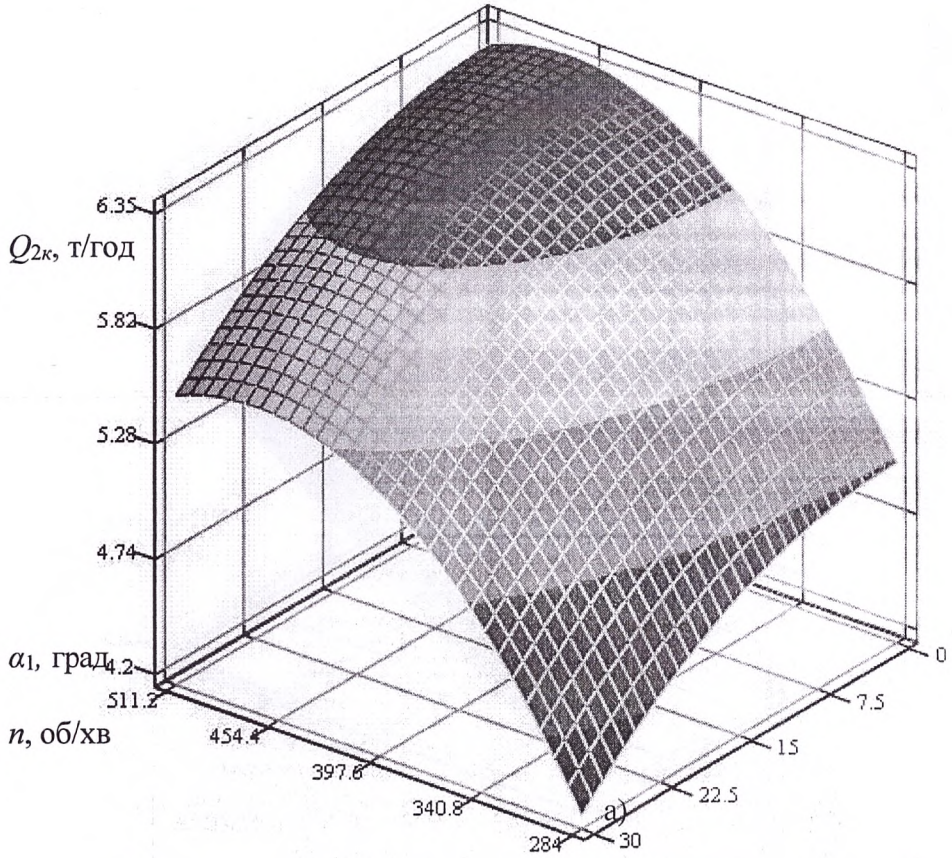
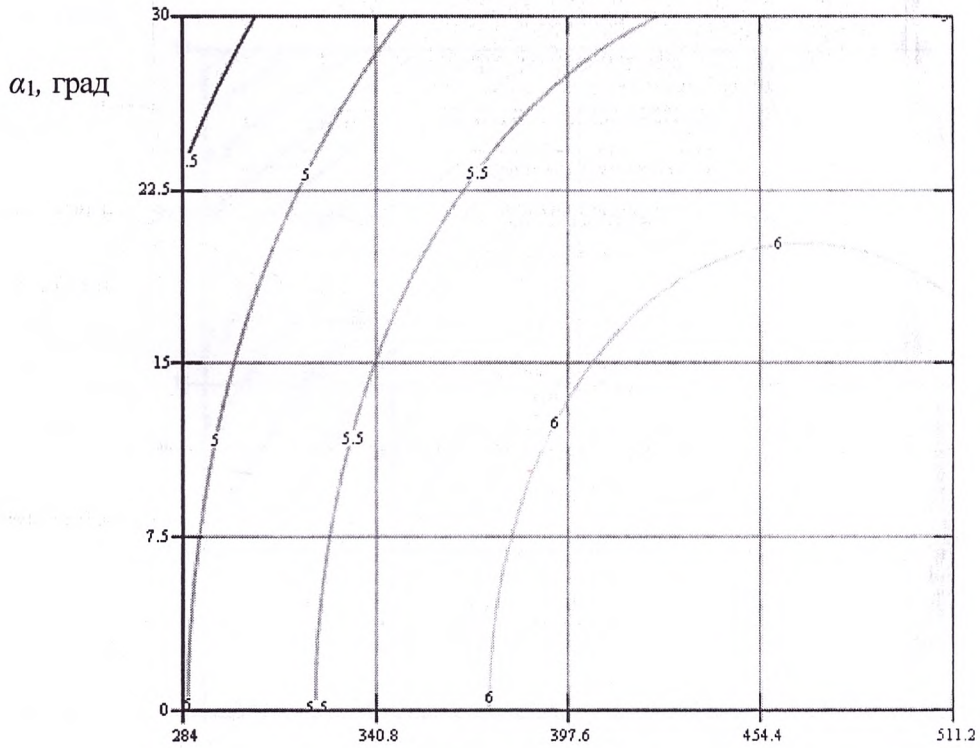


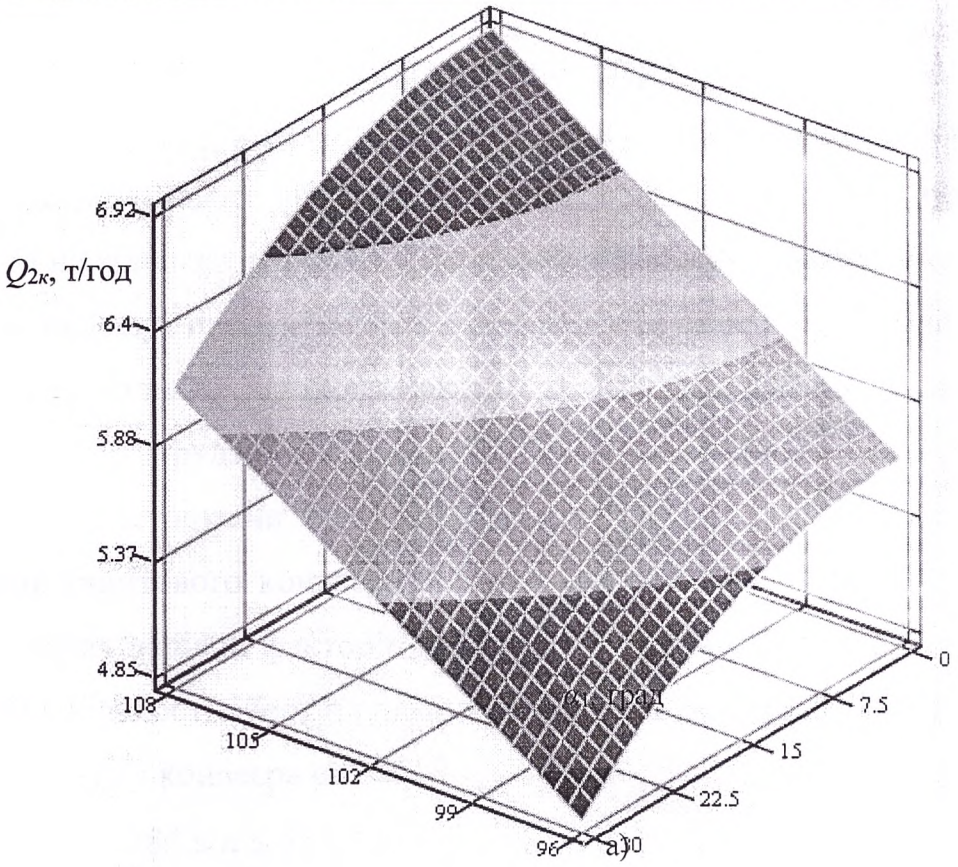
Рисунок 2.11 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення матеріалу конвеєром із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною від частоти обертання гвинтового робочого органу n та діаметра кожуха D (α_1=0 град.)





б)

Рисунок 2.12 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення матеріалу конвеєром із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною від частоти обертання гвинтового робочого органу n та кута нахилу конвеєра α_1 (D=102мм)



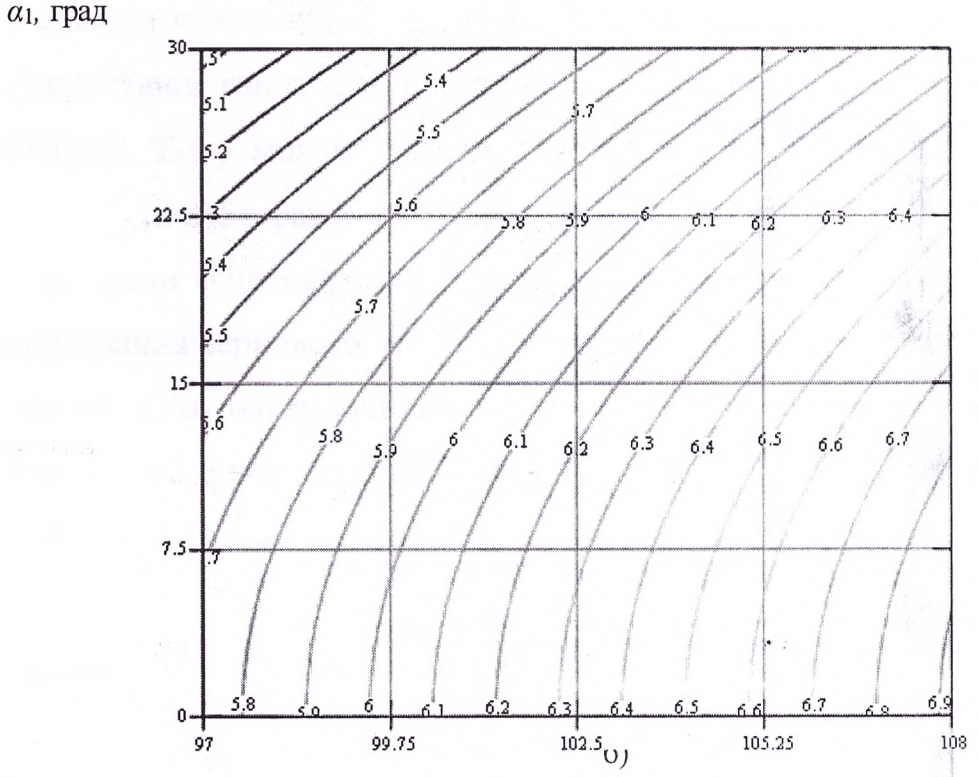


Рисунок 2.13 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності матеріалу конвеєром із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною від діаметра кожуха D та кута нахилу конвеєра α_1 (n=511,2 об/хв.)

Орієнтовний діапазон оптимальної швидкості обертання залежить від діаметра корпусу і кута нахилу конвеєра. Це пов'язано з відцентровими силами, які знижують коефіцієнт завантаження гвинтового конвеєра при подачі матеріалу з бункера на крильчатку шнека. При цьому збільшення діаметра корпусу з 96 мм до 108 мм збільшує продуктивність ячменю в 1,22 рази, а кукурудзи - в 1,16 рази, тоді як зміна кута нахилу конвеєра з 0° до 30° зменшує продуктивність ячменю в 1,28 рази, а кукурудзи - в 1,2 рази.

Використовуючи отримане рівняння регресії, можна спрогнозувати ефективність гвинтового конвеєра зі шнековим колесом з еластичною поверхнею в таких межах варіації факторів для транспортування ячменю та кукурудзи залежно від Q, кількості обертів шнекового колеса n, внутрішнього діаметра кожуха D та кута нахилу конвеєра α:

$$284 \le n \le 511{,}2 \text{ (об/хв)}; \; 96 \le D \le 108 \text{ (мм)}; \; 0 \le \alpha_1 \le 30 \text{ (град)}.$$

Найвища ефективність транспортування зернового матеріалу досягається при використанні гвинтових пристроїв з еластичною щіткоподібною частиною на периферії. Тому можна сказати, що такі шнеки забезпечують значно вищу ефективність (в 1,51 рази) транспортування матеріалу порівняно зі шнеками з щіткоподібними гвинтовими частинами. Слід також зазначити, що ефективність транспортування зернового матеріалу відрізняється лише на 3,5% між гвинтовими колесами з гнучкими суцільними бункерними секціями та гвинтовими колесами з гнучкими щіткоподібними секціями по всьому периметру. У порівнянні з відомими результатами ефективності транспортування зернового матеріалу жорсткими шнеками [17], ефективність транспортування такого матеріалу гвинтовими колесами з еластичними поверхнями є низькою.

3. Проектні рішення та способи виготовлення гвинтових робочих органів з еластичними робочими поверхнями

Гвинтові конвеєри широко застосовуються в різних галузях економіки, де вони використовуються для транспортування різних матеріалів. Однією з вимог до гвинтових конвеєрів є мінімізація пошкодження матеріалу (при транспортуванні), для чого були розроблені вдосконалені конструкції гвинтових робочих органів з еластичними поверхнями.

Важливий вплив на процес передачі навантаження гвинтового обладнання з щіткоподібними еластичними робочими поверхнями має технологічність конструкції елементів. Забезпечення технологічності конструкції виробу є функцією готовності виробництва, яка передбачає взаємопов'язане вирішення конструкторських і технологічних завдань з метою підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних трудових і матеріальних витрат, скорочення часу на виготовлення, обслуговування і ремонт виробу [22]. Перевірка конструкції виробу на технологічність передбачає зниження трудомісткості та витрат, необхідних для виготовлення виробу та його монтажу поза межами підприємства-виробника; зниження трудомісткості, витрат і часу, необхідних для обслуговування та ремонту виробу; зниження загальної матеріаломісткості виробу (тобто споживання металів та паливно-енергетичних ресурсів) [22].

Загалом, технологічність конструкції виробу залежить від наступної групи факторів, включаючи його характеристики, якість проектування, умови експлуатації та вимоги до ремонту.

Технологічність виробу оцінюється за такими показниками, як трудомісткість і технічна собівартість виготовлення, матеріаломісткість, витрати на техніч-

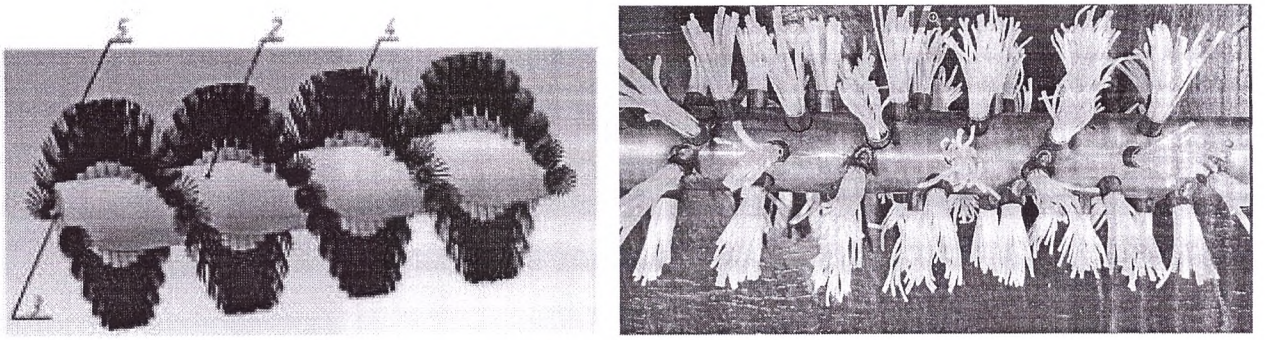
ну підготовку проектування і виробництва, час і ресурси, що витрачаються на виконання виробничих процесів і ремонтних робіт [22].

При проектуванні гвинтового колеса з щіткоподібною еластичною робочою поверхнею необхідно не тільки задовольнити експлуатаційні вимоги, але й виготовити його раціонально та економічно відповідно до вимог принципу технологічності конструкції виробу [27], згідно з [27] основними критеріями технологічності конструкції виробу є трудомісткість та собівартість його виготовлення. Загалом, згідно з [27], технологічність конструкції виробу – це сукупність характеристик, що визначають її придатність для досягнення оптимальних витрат при виготовленні, експлуатації та ремонті при заданих показниках якості та умовах виконання нею свого призначення.

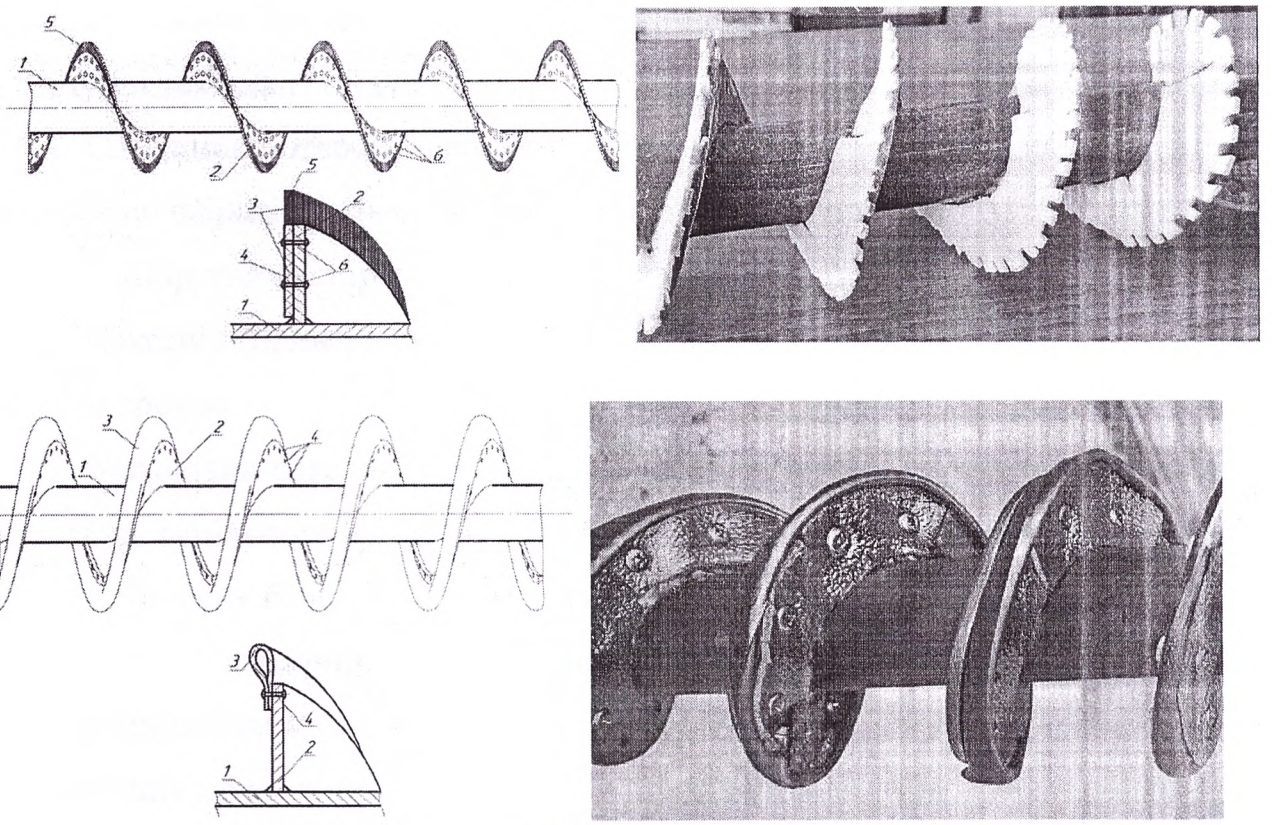
Згідно з [27], при проектуванні гвинтових інструментів з щіткоподібними еластичними робочими поверхнями для забезпечення високої якості, експлуатаційної надійності та довговічності при виготовленні цих гвинтових інструментів слід використовувати уніфіковані складальні одиниці, стандартизовані та нормалізовані компоненти.

Розглядаючи специфіку виготовлення дослідних зразків гвинтових інструментів з еластичними робочими поверхнями, таких як щітки, слід зазначити, що, на відміну від звичайних гвинтових інструментів, технологія їх виробництва значно складніша і, крім традиційних завдань, таких як намотування, калібрування та зварювання, виникають додаткові завдання, пов'язані з формуванням еластичних поверхонь навколо гвинта. Слід зазначити, що це необхідно. Крім того, створення пружних поверхонь навколо гвинта вимагає індивідуальних технічних рішень для кожного конструктивного варіанту, в залежності від його форми і матеріалу.

Розглянемо більш детально технічні особливості виготовлення гвинтових коліс з еластичними поверхнями (рисунок 3.1).



а) б)



в) г)

д) е)

Рисунок 3.1 –Робочі органи із еластичними поверхнями:
а), в), д) конструктивні схеми; б), г), е) загальні вигляди

На рисунку 3.1 а (рисунок 3.1 б) показано конструктивне рішення еластичної гвинтової заготовки з щіткоподібними елементами. При виготовленні використовується наступна технологія, що передбачає послідовність операцій [15]:

1. Попередня розмітка (відповідно до прийнятого кроку обертання) та свердління отворів 4 по лінії спіралі через порожнистий вал 2.

2. Кріплення (зварювання, натяжне з'єднання, пайка) порожнистої циліндричної труби 3 до отвору 4 по лінії спіралі порожнистого валу 2.

3. Закріплення пучка еластичних щіткоподібних елементів (еластичних щіток) 1 на порожнистій циліндричній трубі 3 (шляхом приклеювання)

4. Закріплення двох цапф на торцях порожнистого валу (механічно, за допомогою зварювання).

Однозахідні або багатозахідні шнеки можуть бути отримані шляхом встановлення пружних елементів на торці спіралі шнека. Процес виготовлення включає наступні технологічні операції:

1. Свердління отворів свердлувальною головкою в торцевій поверхні щільно намотаної спіралі на кінці та приєднання її до кондуктора

2. Калібрування спіралі з встановленим кроком.

3. Фіксація (приварювання) спіралі до поверхні порожнистого валу з встановленим кроком.

3. Механічна фіксація еластичних елементів (секції, кільцевої щіткоподібної частини, суцільного резервуароподібного елемента) до отвору в торці спіралі.

4. Кріплення цапф до торців порожнистих валів (механічне, зварювання).

Крім перерахованих вище способів виготовлення гвинтових робочих коліс з еластичними робочими поверхнями, існує безліч інших методів, наприклад, шляхом нанесення полімерного покриття або приєднання до ребер гвинта радіальних еластичних щіток. Основною вимогою до еластичних поверхонь гвинтових робочих коліс є мінімізація коефіцієнта тертя робочої поверхні при взаємодії гвинта з робочою поверхнею.

Основною вимогою до еластичних поверхонь шнекових коліс є мінімізація коефіцієнта тертя робочої поверхні шнека при взаємодії з корпусом і матеріалом і забезпечення безперервного руху переміщуваного матеріалу.

ВИСНОВКИ

1. Аналізуючи засоби транспортування крихких матеріалів за допомогою гвинтових конвеєрів було намічено конструкцію найбільш ефективного робочого органу.

2. При проведенні практичних досліджень використовувався математичний метод планування експериментів з відповідними математичними формулами та програмним забезпеченням. Це дозволило визначити оптимальну кількість дослідів, мінімізувати витрати часу на проведення експериментів та одночасно варіювати основні конструктивно-технологічні фактори.

3. Встановлено що найвища ефективність транспортування крихкого матеріалу досягається при використанні гвинтових пристроїв з еластичною щіткоподібною частиною на периферії. Тому можна сказати, що такі шнеки забезпечують значно вищу ефективність (в 1,51 рази) транспортування крихкого матеріалу порівняно зі шнеками з щіткоподібними гвинтовими частинами. Слід також зазначити, що ефективність транспортування крихкого матеріалу відрізняється лише на 3,5% між гвинтовими колесами з гнучкими суцільними бункерними секціями та гвинтовими колесами з гнучкими щіткоподібними секціями по всьому периметру. У порівнянні з відомими результатами ефективності транспортування крихкого матеріалу жорсткими шнеками, ефективність транспортування такого матеріалу гвинтовими колесами з еластичними поверхнями є низькою.

СПІСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванченко Ф. К. Підйомно-транспортні машини / Ф. К. Іванченко. – К. : Вища школа, 1993. – 412 с.

2. Ляшук О.Л. Основні ідеї методу Ван-Дер-Поля для коливань поздовжньо-рухомих привідних канатів транспортерів [Текст] / О.Л. Ляшук, Р.З. Золотий // Науковий вісник Херсонського державного морського інституту. – 2013. – №2(9). – С.197–205.

3. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. – Львов : Вища школа, 1989. – 176 с.

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. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах: монографія/ Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинський, Р.І. Розум, М.Б. Клендій, О.М. Клендій, А.О. Вітровий. – Тернопіль: Астон, 2018. –180 с.

6. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. – 212 с.

7. Каудерер Г. Нелинейная механика / Каудерер Г.: [пер. с нем. Я. Г. Пановко]. – М.: ИЛ, 1961. – 777 с.

8. Рогатинський Р. М. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко // Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2012. – № 3 (67). – С. 197–210.

9. Тесля В. Гвинтовий завантажувач-змішувач з центральним приводом / Володимир Тесля, Любомир Слободян // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), 22-24 травня 2018. – Т.: ТНТУ, 2018. – С. 170–171. – (Сучасні технології в машино- та приладобудуванні).

10. Слободян Л.М. Класифікація гвинтових завантажувачів транспортних засобів / Л.М. Слободян // Збірник тез доповідей Міжнародної науково- технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 28-29 листопада 2018.: тези допов. – Т.: ТНТУ, 2018. – Том 1. – С. 161–162.

11. European Patent O 096 673 A2. Device for the transfer of material between a substantialli horizontal and substantialli vertical borew conveyor. Date of filing: 03.06.83. Date of publication of application 21.12.83.

12. Павловский М.А. Теоретическая механика: для студ. втузов/ М.А. Павловский, Т.В. Путята– К.: Вища школа, 1985. – 328 с.

13. Мартинців М. П. Одне узагальнення методу Д'Аламбера для систем, які характеризуються поздовжнім рухом/ М. П. Мартинців, М. Б. Сокіл // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: УДЛТУ, 2003. – Вип. 13.4. – С. 64–67.

14. Митропольский Ю. А. Асимптотические решения уравнений в частных производных/ Ю. А. Митропольский., Б. И. Мосеенков– Киев: Вища школа, 1976. – 84 с.

15. Казачковський Н. Н. Программа PowerSuite для настройки преобразователей частоты и устройств плавного пуска (версия 2.3.0): методичні вказівки [для слухачів курсів підвищення кваліфікації та студентів спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривід»] / Н. Н. Казачковський, Д. В. Якупов. – Дніпропетровськ : НГУ, 2006. – 45 с.

16. Пат. на кор. модель 128019 Україна, МПК B65G 33/00. Стенд для дослідження перевантаження сипких матеріалів з горизонтальної на вертикальну гілку / Ляшук О.Л., Клендій В.М., Слободян Л.М., Маруних О.П.; заявник і власник

патенту Ляшук О.Л., Клендій В.М., Слободян Л.М., Маруних О.П. – 201803752; заявл. 06.04.2018; опубл. 27.08.2018, Бюл. № 16.

17. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. – 212 с.

18 Взаємозв'язок конструктивних характеристик гвинтових і захисних механізмів від характеру навантаження / І.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.

19. Гевко І.Б. Обґрунтування параметрів гвинтових завантажувачів / Гевко І.Б., Тарасюк Ю.М., Клендій В.М. // Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та машинообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство») «Наукові нотатки». – Випуск 44. – Луцьк : ЛНТУ, 2014. – С. 57 – 62.

Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами

Презентаційні матеріали

ГММ.602-ММв.044-00.00.000ПМ

Дослідження робочих процесів шнекового механізму із змінними елементами

Кваліфікаційна робота магістра

Розробив студент групи 602-ММв
Д.О. Шрамко

Керівник к.т.н., доц.
А.В. Васильєв

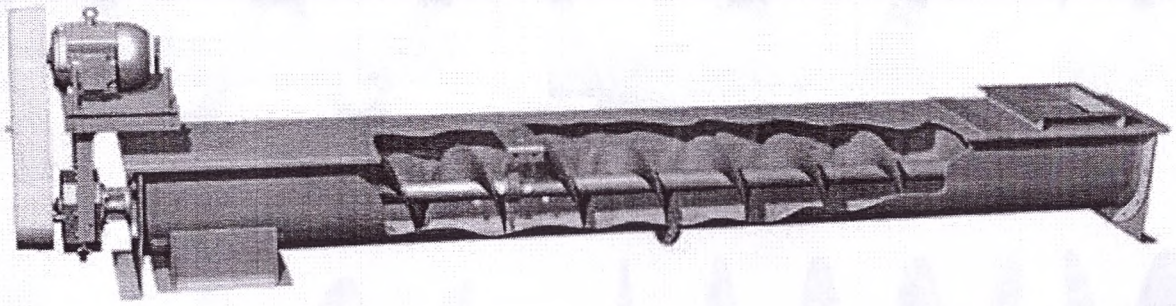
Метою роботи є розробка нового змінного робочого органу з пружними поверхнями та зменшення ступеня пошкодження під час транспортування крихкого матеріалу гвинтовими транспортерами шляхом вибору раціональних конструктивних параметрів та режиму роботи.

Для досягнення поставленої мети були визначені та вирішені наступні задачі

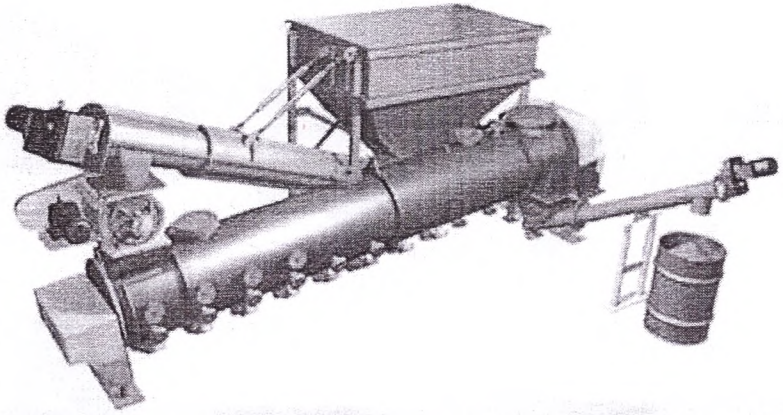
- проаналізувати конструктивні рішення гвинтових конвеєрів, зокрема гвинтових робочих коліс, дослідити їх прикладні характеристики і на цій основі розробити передумови для проектування нових гвинтових робочих коліс з пружними поверхнями для транспортування крихких матеріалів
- розробити та виготовити дослідний зразок гвинтового конвеєра зі змінними гвинтовими робочими органами з еластичними поверхнями.
- провести експериментальні дослідження з метою отримання емпіричних рівнянь регресії, які дозволяють адекватно прогнозувати продуктивність гвинтових конвеєрів з еластичними гвинтовими робочими органами та ступінь пошкодження насіннєвого зернового матеріалу;

Обєктом дослідження є процес транспортування крихкого матеріалу гвинтовими конвеєрами зі змінними гвинтовими робочими органами з еластичними поверхнями.

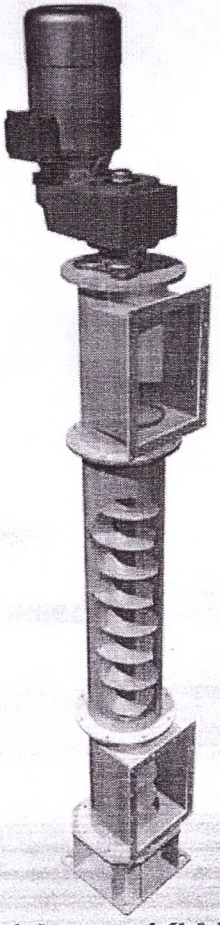
Предметом дослідження є встановлення закономірностей впливу конструктивних параметрів та режиму роботи гвинтових конвеєрів зі змінними гвинтовими робочими органами з еластичними поверхнями на їх продуктивність під час транспортування.



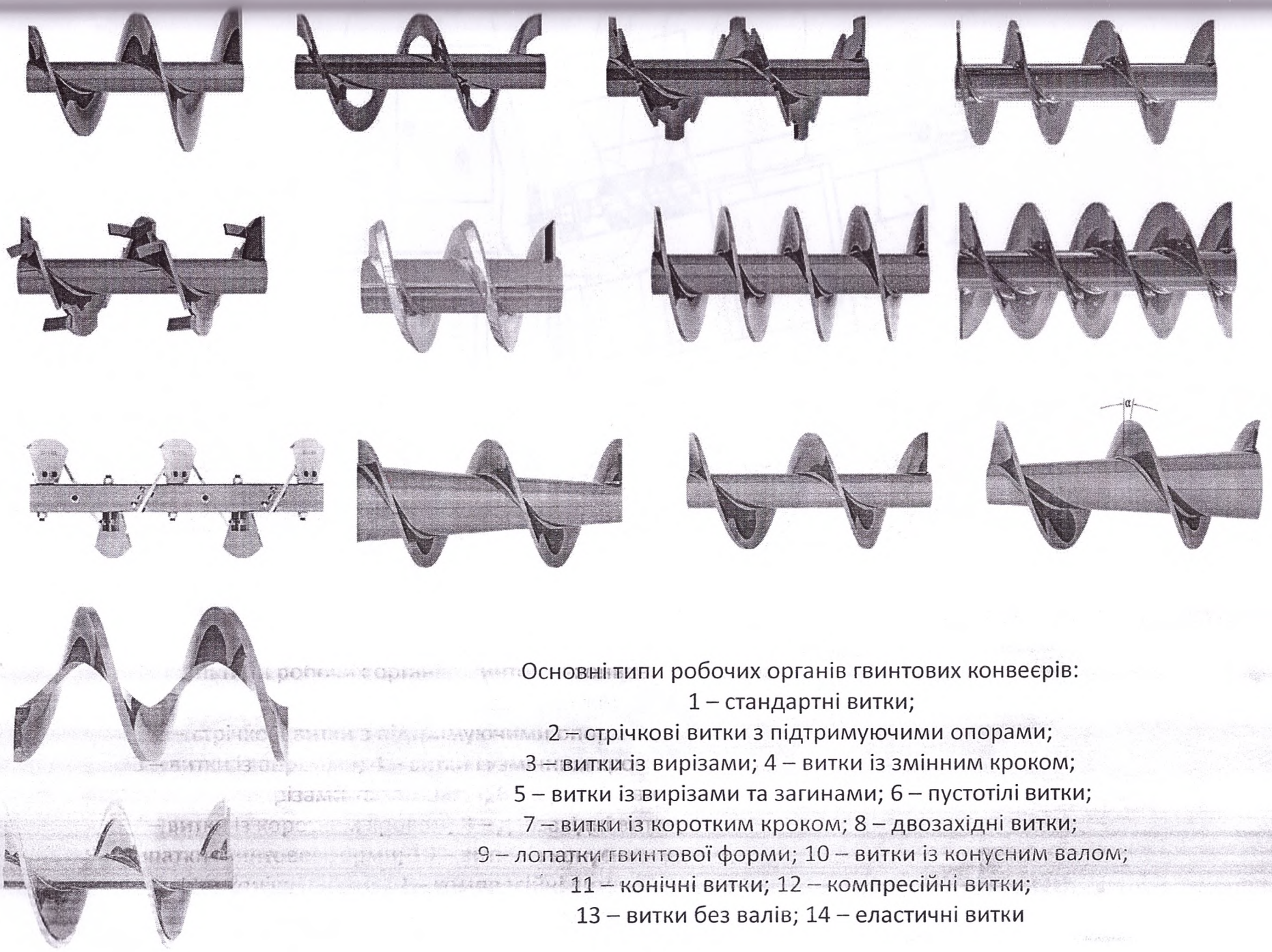
Горизонтальний гвинтовий конвеєр фірми KWS



Нахилений гвинтовий конвеєр



Вертикальний гвинтовий конвеєр фірми KWS



Основні типи робочих органів гвинтових конвеєрів:
1 – стандартні витки;
2 – стрічкові витки з підтримуючими опорами;
3 – витки із вирізами; 4 – витки із змінним кроком;
5 – витки із вирізами та загинами; 6 – пустотілі витки;
7 – витки із коротким кроком; 8 – двозахідні витки;
9 – лопатки гвинтової форми; 10 – витки із конусним валом;
11 – конічні витки; 12 – компресійні витки;
13 – витки без валів; 14 – еластичні витки

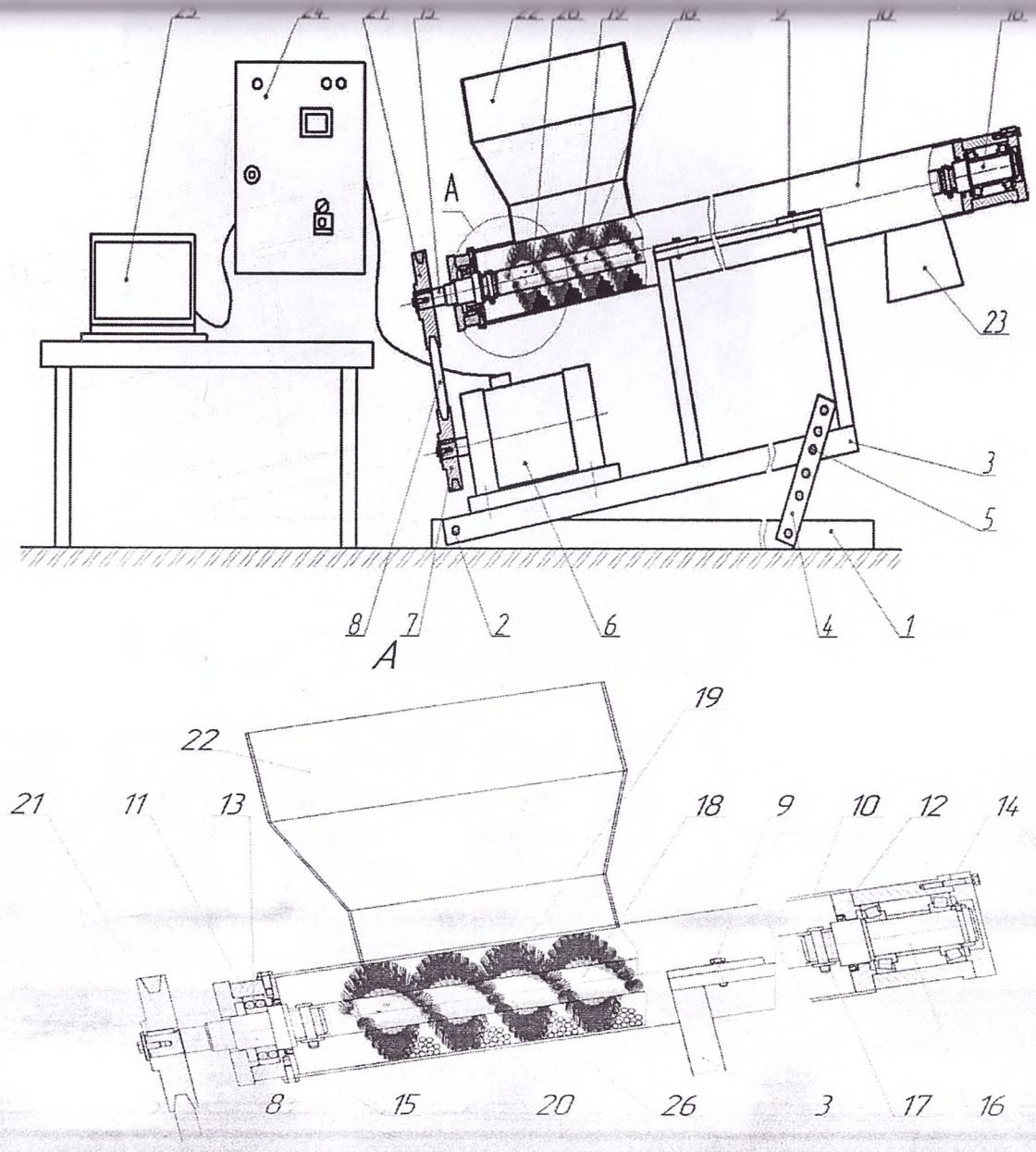
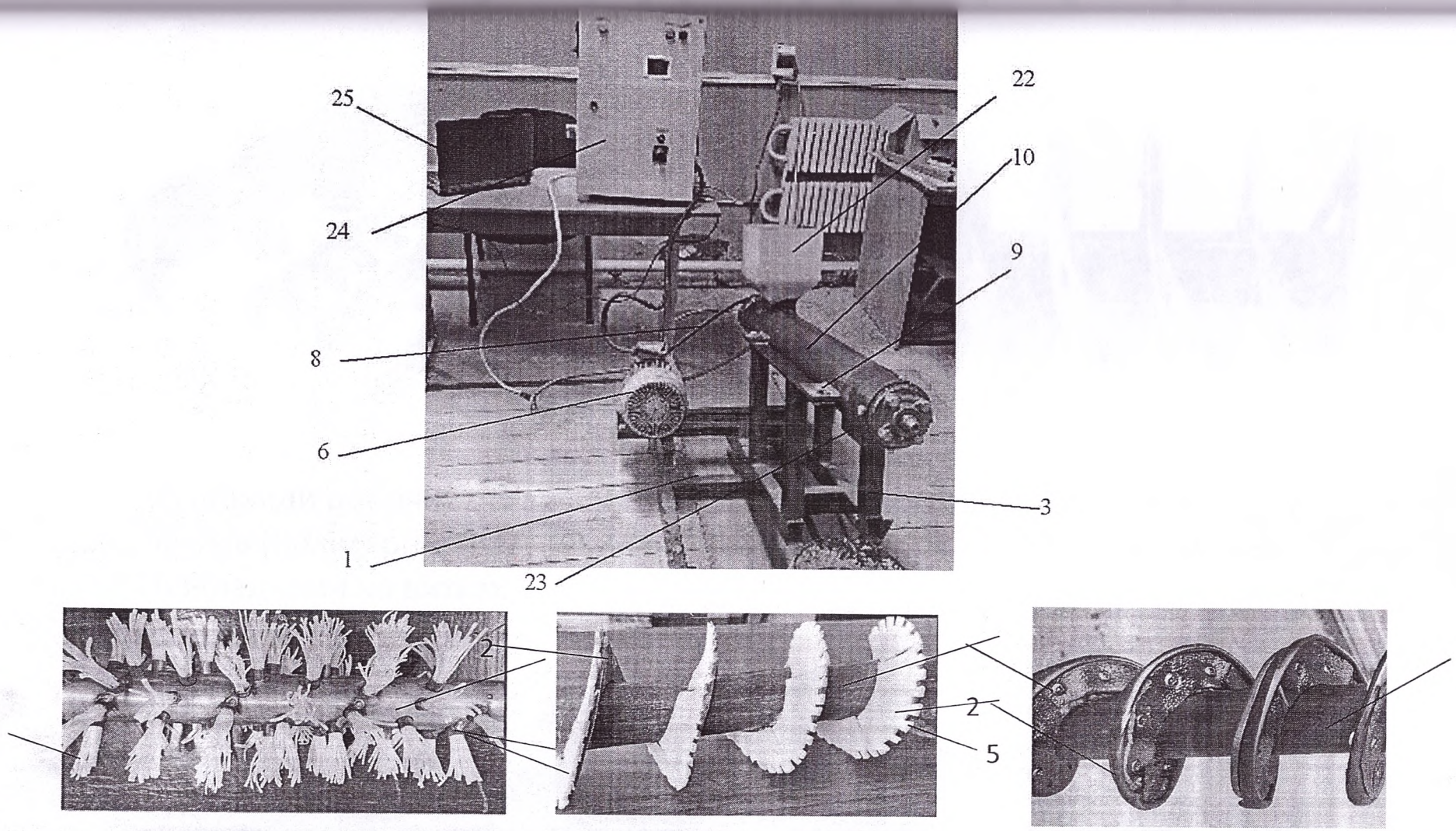
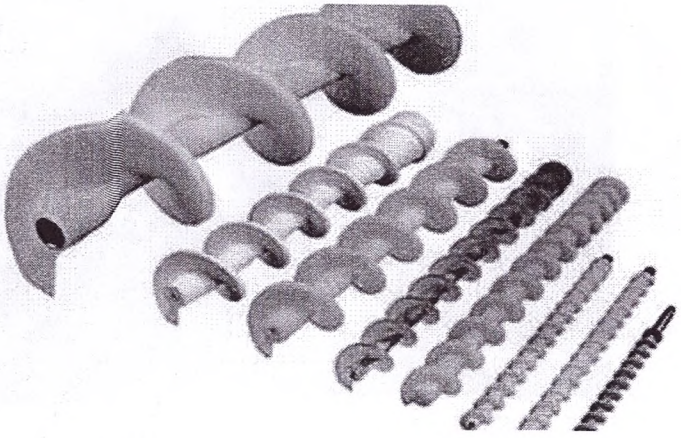


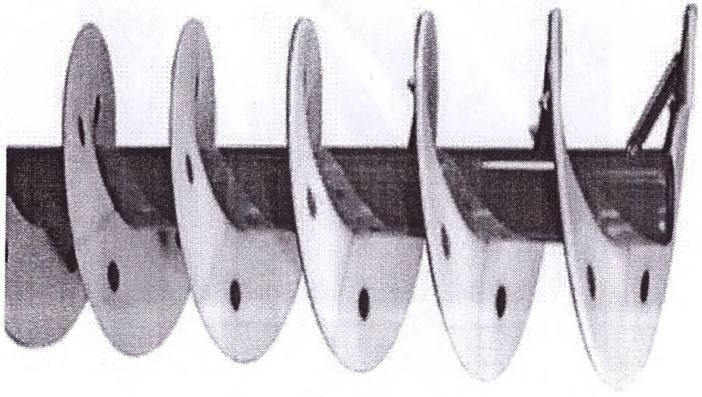
Схема дослідного зразка конвеєра зі змінними гвинтовими робочими органами



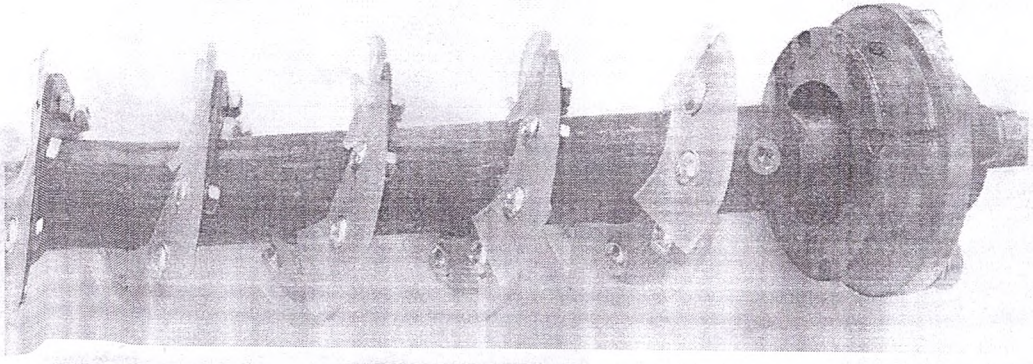
Загальні вигляди робочих органів:

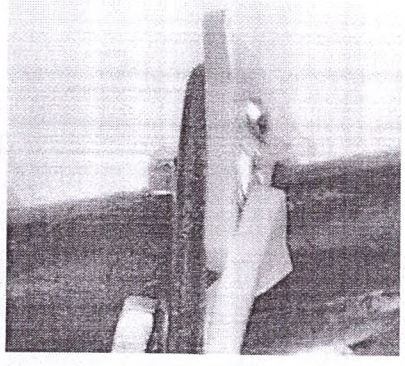
а) з щіткоподібною частиною гвинта; б) з еластичною щіткоподібною частиною; в) із камероподібною частиною



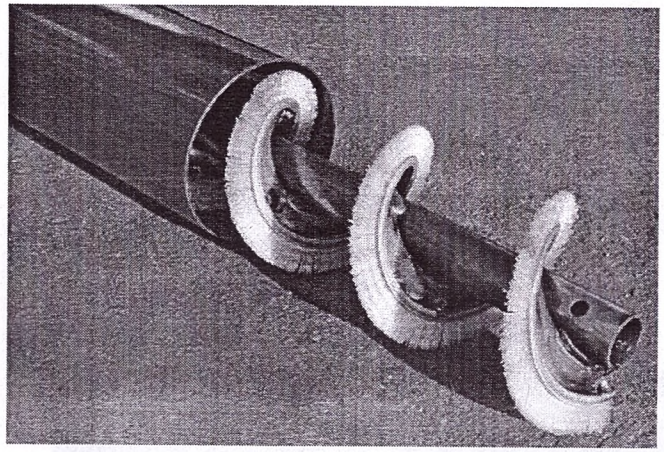


Різновиди робочих органів: а – компанії «WAM Group» із покриттям гвинтових витків (полімерним): б – компанії «Lundell Plastics Corp» із спіральними накладками на витках

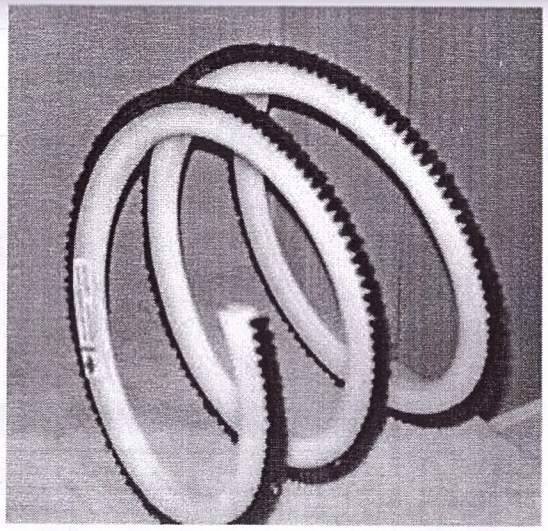




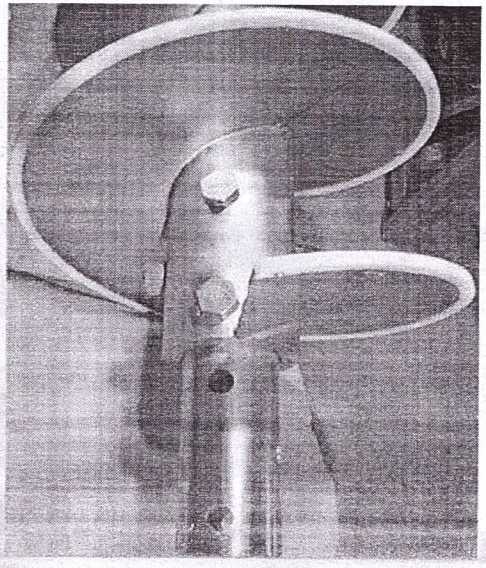
Гвинтовий робочий орган обладнаний еластичними секціями з поліуретану

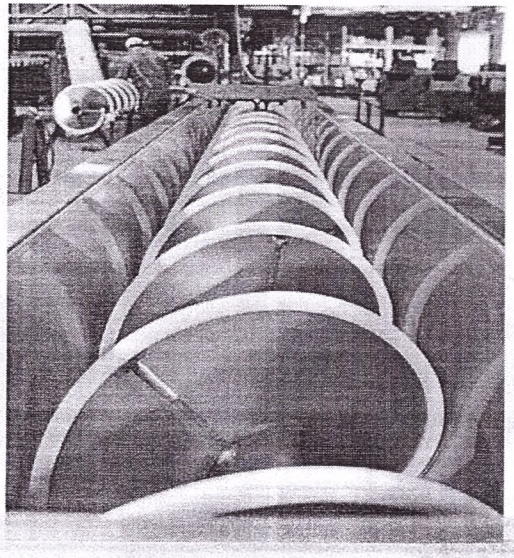


Щіткові елементи компанії Sudenga



Спеціальна полімерна вставка із щітковими елементами компанії Maljohn



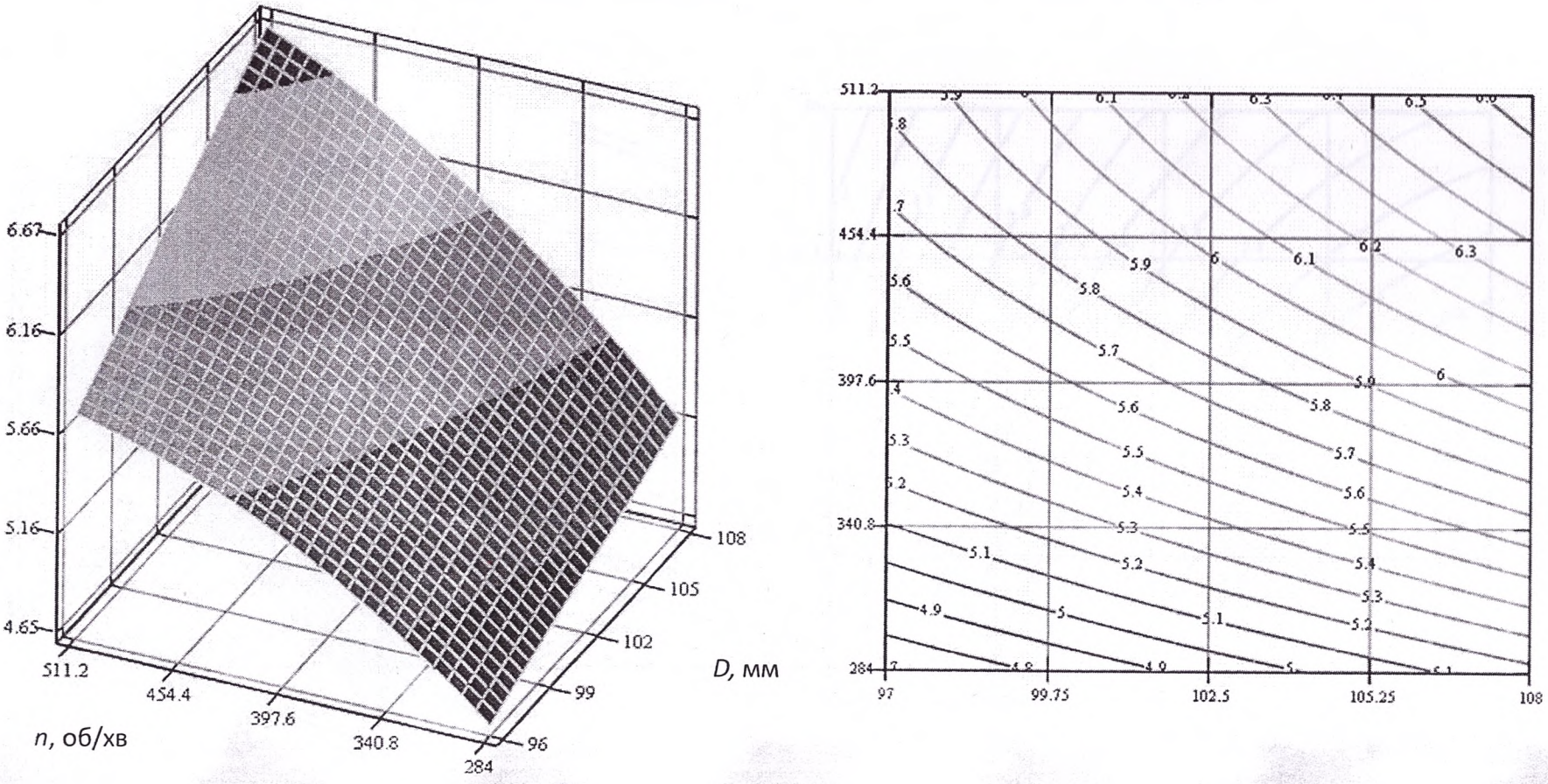


Кромки зовнішнього діаметра витків шнека окантовані спеціальними полімерними екструдованими вставками

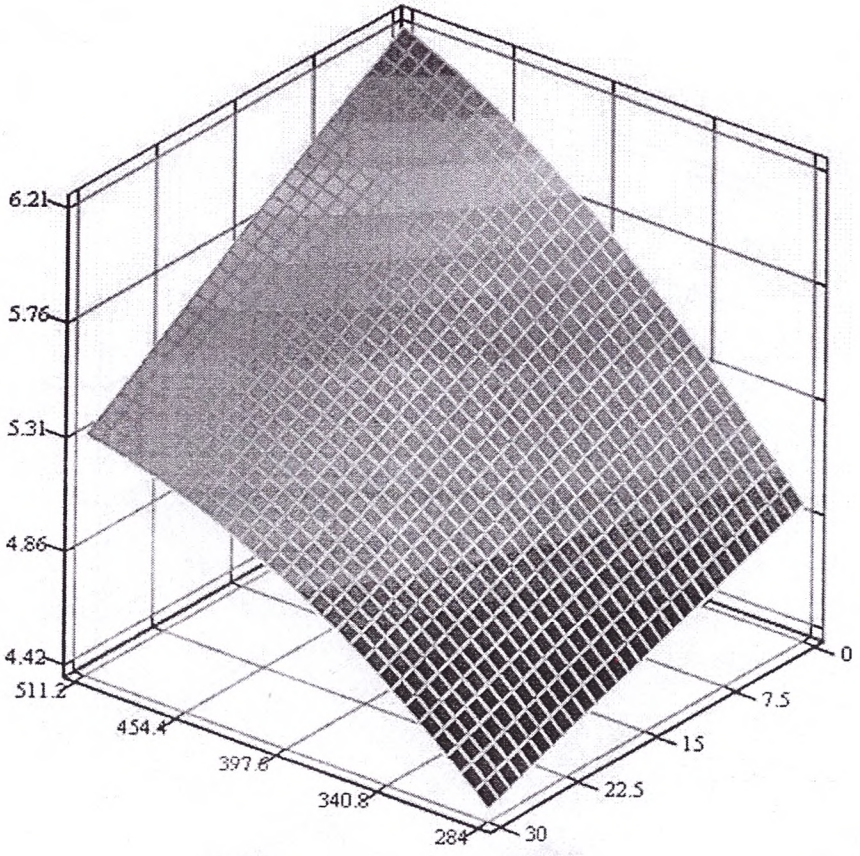
$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 +$$

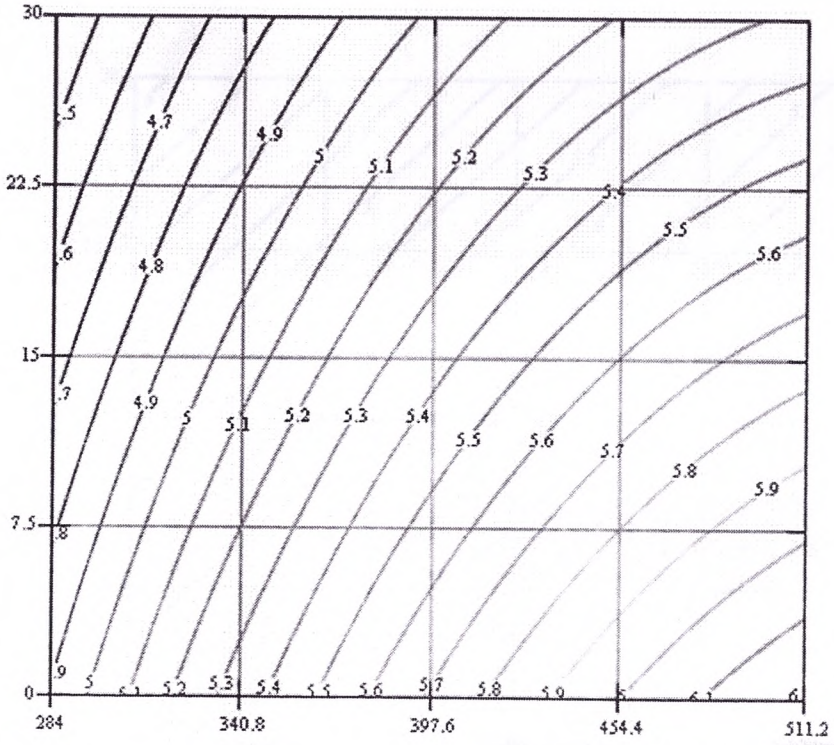
$$+ b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3$$

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Частота обертання робочого органу	n, об/хв	x_1	113,6	511,2 (+1)	397,6 (0)	284 (1)
Діаметр кожуха (внутрішній)	D, мм	x_2	6	108 (+1)	102 (0)	96 (1)
Кут нахилу конвеєра	α_1, град	x_3	15	30 (+1)	15 (0)	0 (1)

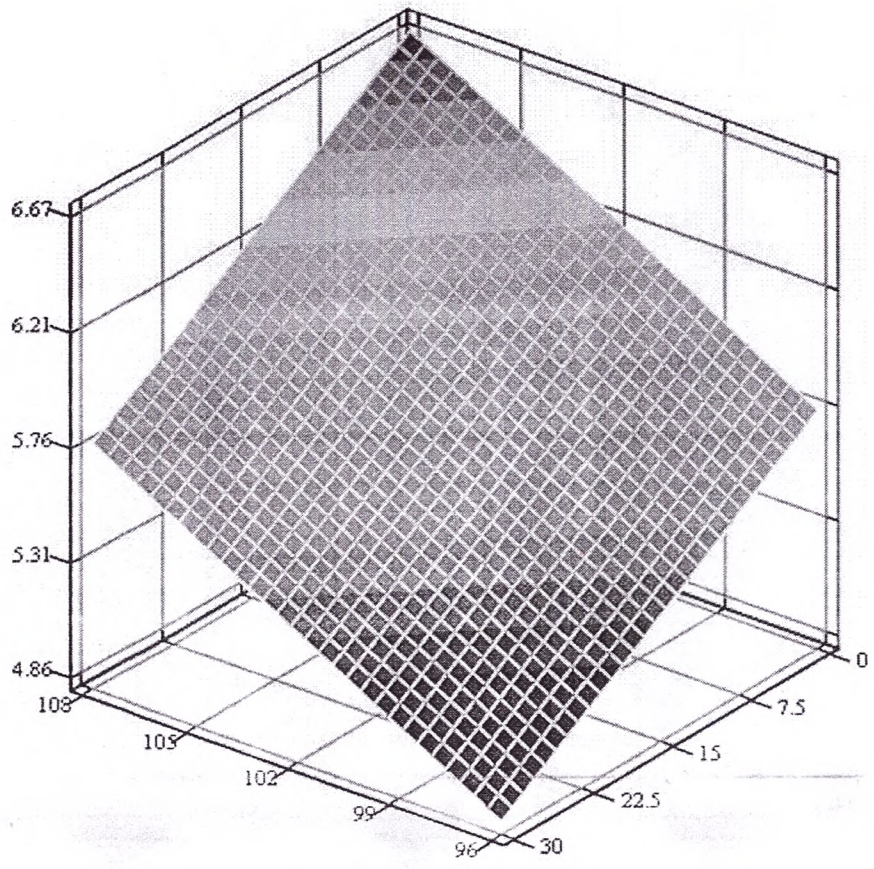


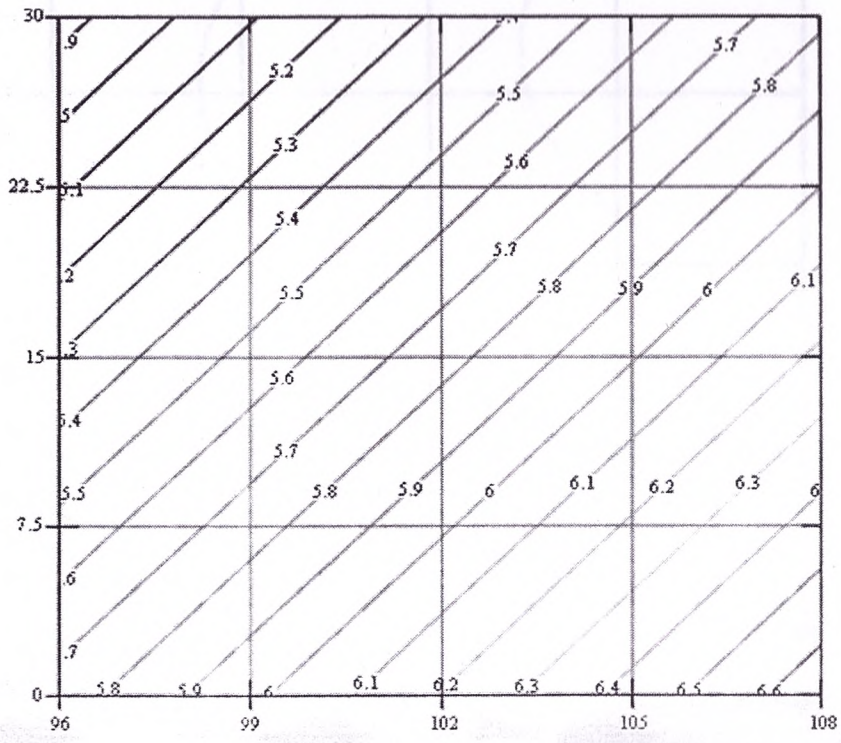
- Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення від частоти обертання гвинтового робочого органу *n* та діаметра кожуха *D* (α_1=0 град)



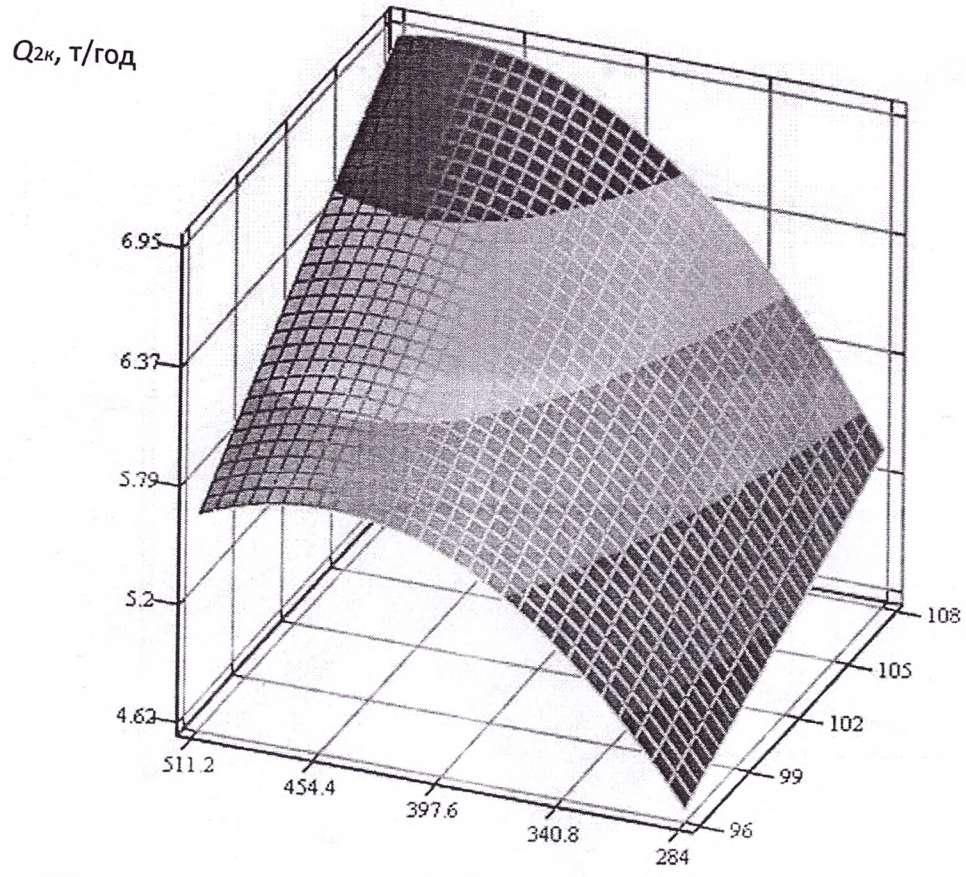


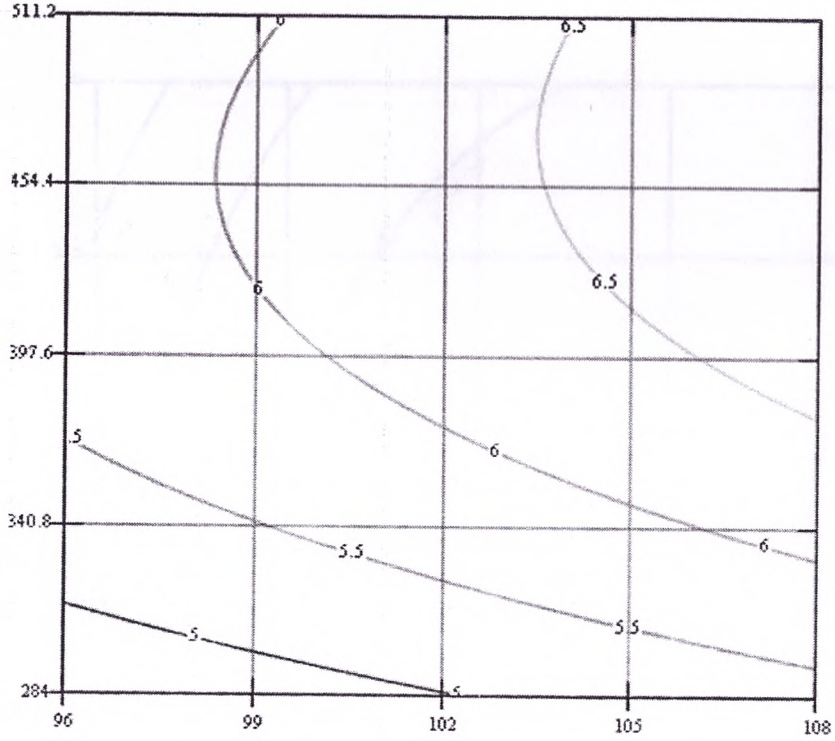
Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення від частоти обертання гвинтового робочого органу *n* та кута нахилу конвеєра α_1 (*D*=102мм)



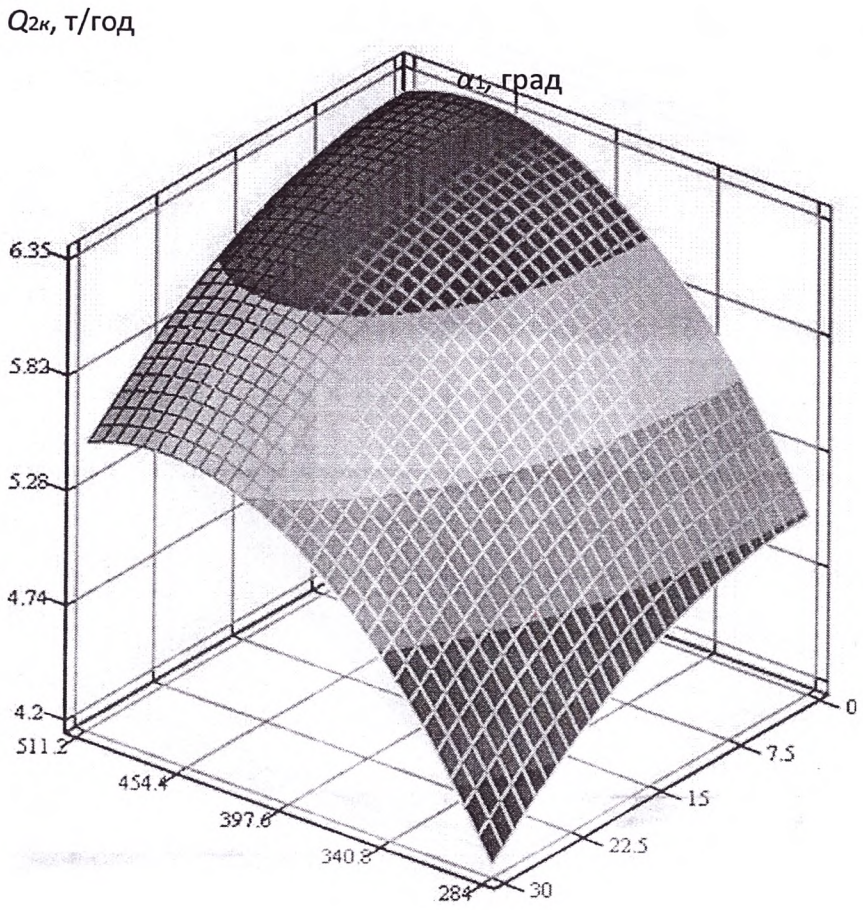


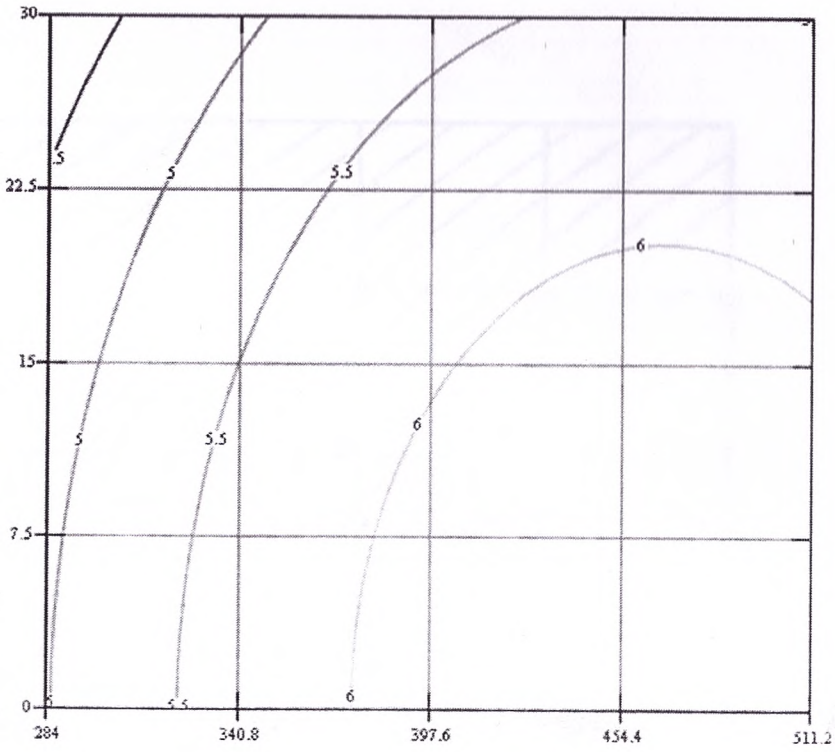
Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення від діаметра кожуха D та кута нахилу конвеєра α_1 (n=511,2 об/хв)



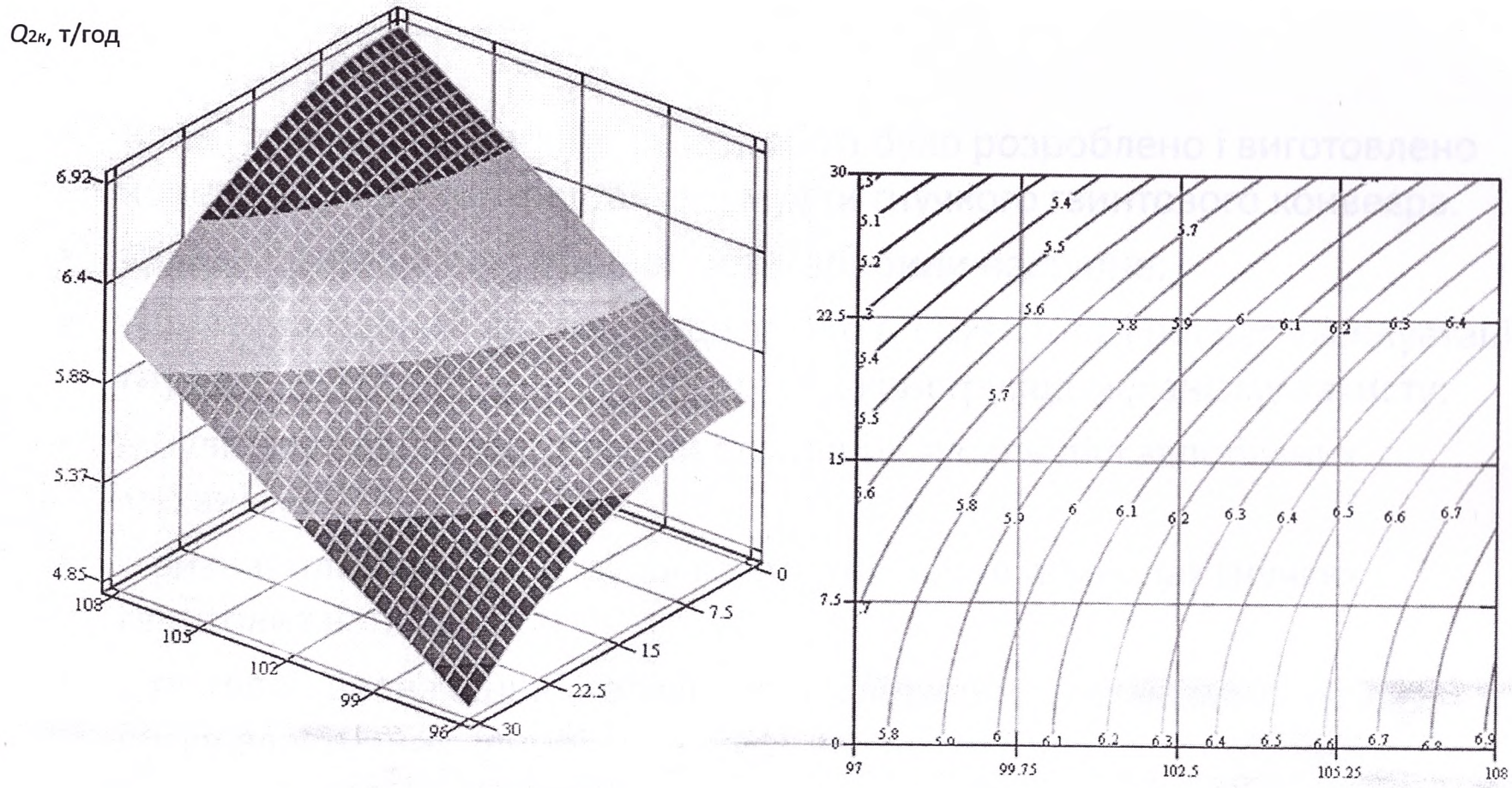


- Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення матеріалу конвеєром із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною від частоти обертання гвинтового робочого органу *n* та діаметра кожуха *D* (α_1=0 град.)





Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності переміщення матеріалу конвеєром із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною від частоти обертання гвинтового робочого органу n та кута нахилу конвеєра α_1 (D=102мм)



Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності матеріалу конвеєром із робочим органом з периферійною еластичною щіткоподібною частиною від діаметра кожуха D та кута нахилу конвеєра α_1 (n=511,2 об/хв.)

Висновки

- В ході виконання магістерської роботі було розроблено і виготовлено конструкції пружно-запобіжної муфти гнучкого гвинтового конвеєра.
- Для досягнення поставленої мети зробили наступне:
- – був проведений аналіз процесів, що відбуваються під час експлуатації гнучких гвинтових конвеєрів та огляд конструкції механізму захисту;
- – було проведено розрахунки статичних зусиль для запобіжних механізмів;
- – визначили вплив зазору на контактні сили в приводах гнучких гвинтових конвеєрів;
- – провели визначення статичного дослідження механізму плавного пуску еластичних запобіжних муфт на гнучких гвинтових конвеєрах;
- – провели експериментальні досліджень визначення максимального обертального моменту запобіжної муфти
- – виконали експериментальне дослідження для визначення: статичних випробувань на подовження.