

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри механіки**

професор, д.т.н. /В.М. БУЛГАКОВ/  
вчене звання і ступінь підпис  
27 травня 2025р.  
число місяць рік

# **ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ БАКАЛАВРА**

**на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІ ШНЕКУ  
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ  
ЗЕРНА ГВИНТОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ»**

**Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування**

**Гарант освітньої програми:** д.т.н., професор / В. М. Булгаков /  
науковий ступінь та вчене звання підпис

**Керівник дипломного проекту бакалавра:** к.пед.н., доцент /М. М. Бондар/  
науковий ступінь та вчене звання підпис

**Виконала:**  /М. Т. Шимко /  
підпис

**Київ – 2025**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри механіки

професор, д.т.н. /В. М. БУЛГАКОВ/  
вчене звання і ступінь підпис  
19 грудня 2024  
число місяць рік

**ЗАВДАННЯ**

на виконання дипломного проекту бакалавра студенту

Шимко Марії Тимофіївні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

**Спеціальність:** 133 Галузеве машинобудування

**Тема дипломного проекту бакалавра:** «Удосконалення конструкції шнеку в технологічних процесах транспортування зерна гвинтовими робочими органами»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» грудня 2024 року № 2265 «С»

**Термін подання завершеного проекту на кафедру:** 2025 05 26  
рік місяць число

**Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра:** агротехнічні та техніко-експлуатаційні вимоги до процесу транспортування зернових матеріалів шнеками в технологічних машинах рослинництва; аналіз ефективності роботи гвинтових конвеєрів; мета та обґрунтування напрямів удосконалення конструкції завантажувачів зернових матеріалів до виконання технологічних операцій в рослинництві.

**Перелік питань, які потрібно розробити:** виконати пошук оптимальної схеми транспортування сипких матеріалів шнековими робочими органами; виконати розрахунок продуктивності гвинтового конвеєра; виконати конструктивну розробку удосконалення; визначити параметри шнеків з робочою еластичною поверхнею для транспортування сільськогосподарських матеріалів; визначити економічну ефективність запропонованих рішень; розробити заходи з охорони праці.

**Перелік графічних документів:** Підготувати презентацію (від 10 до 20 слайдів) як додаток до доповіді


Дата видачі завдання “ 20 ” грудня 2024 р.

Керівник дипломного проекту бакалавра \_\_\_\_\_ М. М. Бондар  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняла до виконання \_\_\_\_\_ М. Т. Шимко  
( підпис ) (прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

	стор.
РЕФЕРАТ.....	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	7
<b>РОЗДІЛ 1</b>	
<b>СТАН ПИТАННЯ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Огляд технологічних процесів транспортування зерна гвинтовими робочими органами у рослинницькій галузі .....	9
1.2. Галузь застосування та аналіз ефективності роботи гвинтових конвеєрів .....	11
1.3. Огляд конструкцій робочих органів гвинтових конвеєрів, спрямованих на мінімізацію пошкоджень зерна.....	21
1.4. Огляд джерел теоретичних та експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів .....	28
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ     УНІВЕРСАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖУВАЧА СІВАЛОК .....</b>	<b>39</b>
2.1. Універсальні завантажувачі сівалок ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30-60 зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5 .....	39
2.2. Обґрунтування необхідності удосконалення конструкції універсального завантажувача .....	43
2.3. Розрахунок експлуатаційних параметрів шнекових робочих органів із еластичною поверхнею.....	47
2.4. Розрахунок на міцність удосконалених деталей .....	56

<b>01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ</b>								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25		у	3	2
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25		НУБІП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Перевіри								
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25				
Консульт.								

## 2.5. Спосіб виготовлення шнекового робочого органу

адаптованого для його кріплення з еластичними накладками ....60

## РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ .....65

## РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ.....69

ВИСНОВКИ .....74

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....75

ДОДАТКИ .....79


					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		4

## РЕФЕРАТ

У дипломному проекті бакалавра здійснено удосконалення конструкції універсальних завантажувачів типу ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30-60 Зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5. Визначено галузі застосування, розглянуті відомі способи та компоновки гвинтових конвеєрів для транспортування сипких матеріалів, здійснено аналіз ефективності їх роботи. Здійснено огляд конструкцій робочих органів гвинтових конвеєрів, спрямованих на мінімізацію пошкоджень зерна. Виконано аналіз теоретичних та експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів обладнаних шнековими робочими органами із еластичною поверхнею. Зроблені розрахунки експлуатаційних параметрів та запропоновано технологію виготовлення шнекових робочих органів із еластичною поверхнею. Проаналізована нормативна база, що регулює питання охорони праці і безпеки життєдіяльності. Обґрунтована економічна ефективність запропонованих конструктивних рішень.


Ключові слова: пошкодження насіння, завантажувач сівалок, гвинтовий конвеєр, еластичний шнек.

Дипломний проект бакалавра включає в себе пояснювальну записку, що складається із основної частини — вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків та графічної частини з кресленнями основних розробок. Пояснювальна записка містить 78 аркушів друкованого тексту. Графічна частина, що представлена на трьох аркушах формату А1 та презентація доповіді у форматі Power Point: 18 слайдів розміщені в додатках до дипломного проекту бакалавра.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Шимко М. Т.			23.05.25		у	5	1
Керівник	Бондар М. М.			23.05.25		НУБІП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Перевіри								
Н. контр.	Пилипенко А. П.			23.05.25				
Консульт.								

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- УЗ – універсальний завантажувач;
- ГК – гвинтовий конвеєр;
- НМ – насіннєвий матеріал;
- ЗЗП – завантажувач зерна причіпний
- ВГК – вивантажувальний гвинтовий конвеєр;
- ШЕП – шнек з еластичною поверхнею;
- ПК – посівний комплекс;
- ЕМ – еластичний матеріал.

					<b>01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b>		
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25			
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25			
Перевіри							
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25			
Консулт.					Літ.	Аркуш	Аркушів
					У	6	1
					НУБіП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		

## ВСТУП


**Актуальність теми.** Аналіз показує, що при сьогоднішній збиральній і післязбиральній технології обробки зерна, висівається близько 80% травмованого насіння. Цей фактор є причиною зниження майбутнього урожаю. При висіві травмованого зерна в ґрунті гине приблизно 30...40 кг. насіння при середній нормі висіву 2 ц/га. [3].

Зниження посівних якостей насіння пов'язано не стільки з наявністю видимих травм, скільки з пошкодженням внутрішніх тканин зернин при їх деформації, що істотно залежать від вологості матеріалу. Основною причиною, що викликає пошкодження насіння, є механічна дія робочих органів машин і знарядь. Значна частина травмованого насіння з'являється вже на етапі завантаження зерна у сівалки, шнековими робочими органами.

Рівень травмування високовартісного насіннєвого матеріалу в технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур у значній мірі залежить від досконалості конструкцій універсальних завантажувачів сівалок, режимів роботи їх робочих органів та фізико-механічних властивостей зерна.

З огляду на той факт, що понад 10% пошкодженого насіння потрапляє у відходи, загальна кількість травмованих зернин потокової лінією становить 43%. Від загальної кількості пошкоджених насінин більше 50% травмується при вантажно-розвантажувальних і транспортних операціях.

Тому актуальним є завдання впровадження у конструкції універсальних завантажувачів сівалок — шнекових робочих органів із еластичною поверхнею, які забезпечать мінімізацію пошкодження зерна у процесі його завантаження у посівні комплекси, а також підвищать експлуатаційні показники гвинтових конвеєрів.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата.	ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25		у	7	3
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25				
Перевіри								
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25				
Консульт.								
						НУБІП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		

**Мета дипломного проекту бакалавра.** Зважаючи на зазначене, метою дипломного проекту бакалавра є мінімізація пошкодження насіннєвого матеріалу при завантаженні сівалок у виробничих процесах вирощування зернових культур шляхом удосконалення конструкції універсальних завантажувачів типу ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30-60 Зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5 та вибору раціональних параметрів шнекових робочих органів із еластичною поверхнею.

Для досягнення поставленої мети виділені **завдання дипломного проекту бакалавра:**

- визначити галузі застосування, розглянути відомі способи та компоновки гвинтових конвеєрів для транспортування сипких матеріалів, здійснити аналіз ефективності їх роботи;
- здійснити огляд конструкцій робочих органів гвинтових конвеєрів, спрямованих на мінімізацію пошкоджень зерна;
- здійснити огляд джерел теоретичних та експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів обладнаних шнековими робочими органами із еластичною поверхнею;
- удосконалити конструкцію універсальних завантажувачів сівалок типу ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30-60 Зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5;
- здійснити розрахунки експлуатаційних параметрів та запропонувати технологію виготовлення шнекових робочих органів із еластичною поверхнею;
- виконати розрахунки на міцність удосконалених деталей;
- розробити заходи з охорони праці;
- обґрунтувати економічну ефективність пропонованих конструктивних рішень;
- сформулювати висновки дипломного проекту бакалавра.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ

#### 1.1. Огляд технологічних процесів транспортування зерна гвинтовими робочими органами у рослинницькій галузі.

Технічні засоби неперервного транспортування сільськогосподарських матеріалів є основою комплексної механізації завантажувально-розвантажувальних робіт, які підвищують продуктивність праці та ефективність виробництва.

У сільськогосподарському виробництві застосовується комплекс машин для завантаження та розвантаження сипких матеріалів (зернові, комбікорми, та ін.), однак основна їх частина відноситься до стаціонарних або обмежено-рухомих транспортуючих засобів, в той час як мобільна техніка застосовується не достатньо [7; 9].

До конвеєрів без гнучкого тягового органу відносяться гвинтові транспортні засоби, які знайшли широке застосування у сільськогосподарському виробництві за рахунок наступних переваг: простота конструкції та обслуговування; надійність в експлуатації; герметичність; незначні габаритні розміри; можливість розвантаження в будь-якому місці. Недоліками таких транспортерів є підвищені енерговитрати внаслідок тертя транспортованого вантажу з жолобом і поверхнею спіралі, обмежена довжина магістралі транспортування, а також пошкодження (дроблення) зернових матеріалів внаслідок постійного зазору між гвинтом та жолобом.

В польових умовах шнековий конвеєр розташовується позаду причепа, де попередньо відкривають шиберну заслінку і починають повільно піднімати платформу причепа. Матеріал самопливом надходить у завантажувальну горловину конвеєра, а далі в технологічні ємкості агрегатів, наприклад, в кузов розкидача мінеральних добрив або завантажувальні бункери сівалки (рис. 1.1).


					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25		у	9	27
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25		НУБіП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Перевіри								
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25				
Консульт.								



Рис. 1.1. Універсальний агрегат при завантаженні сівалки

Гвинтові конвеєри із жорстким робочим органом можна віднести до обмежено рухомих транспортних засобів. Їх незначні габаритні розміри та металомісткість дозволяють пересувати конвеєр з однієї зони завантаження в іншу. Однак обмеження їхньої рухомості полягає в тому, що маневрувати транспортною магістраллю під час виконання технологічного процесу неможливо, що знижує функціональні характеристики даних засобів механізації.

До переваг даного універсального агрегату, в першу чергу, відносяться його мобільність в польових умовах і суттєве розширення функціональних можливостей. Однак, для завантаження в бункери сівалок зернового матеріалу необхідно маневрувати енергетичними засобами, що знижує як продуктивність механізованого завантаження сипкими матеріалами, так і ускладнює трудомісткість цих процесів. Вищевказані недоліки можна було б досить легко усунути, якщо в гнучкому кожусі замість жорсткого шнека застосувати гнучкий гвинтовий шарнірно-секційний робочий орган.

Таким чином, на основі проведеного аналізу, можна сформулювати основні вимоги, які висуваються до технологічних процесів переміщення сипких сільськогосподарських матеріалів гнучкими гвинтовими конвеєрами: висока

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		10

мобільність технологічних магістралей при завантаженні та розвантаженні вантажів; застосування шарнірних з'єднань між секціями валу, який передає крутний момент, з використанням окремих елементів гвинтових ребер; мінімально допустима матеріаломісткість робочих органів, яка визначається необхідним крутним моментом між секціями, розташованими в зоні приводного валу з врахуванням максимального коефіцієнту заповнення матеріалом еластичного кожуха; забезпечення плавного переходу сипкого матеріалу з однієї секції робочого органу на іншу; зниження енерговитрат на процес транспортування; забезпечення мінімального пошкодження транспортованих сільськогосподарських матеріалів при різних умовах експлуатації.

## 1.2. Галузь застосування та аналіз ефективності роботи гвинтових конвеєрів.

Шнекові транспортні механізми застосовуються в машинах для перевантаження або переміщення продуктів у зв'язку з їх простотою конструкції та можливістю завантаження й повного або часткового розвантаження матеріалу в будь-якому місці технологічної лінії. Застосування гвинтових конвеєрів як окремого технологічного елемента транспортних механізмів є складовою комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів, а їх питома частка в завантажувально-розвантажувальних операціях складає 40 ... 50 %. Гвинтові конвеєри застосовують у конструкціях машин важкої промисловості, будівництві, аграрного сектора тощо. Вони призначені для горизонтального, похилого й вертикального переміщення насипних (вугілля, руда, цемент, пісок, щебінь, ґрунт, зерно, коренеплоди, кормові суміші тощо) вантажів та можуть одночасно виконувати суміжні функції — завантажувально-розвантажувальні, змішування, протруювання й дозування матеріалів та ін.

У сучасних транспортно-технологічних системах зростає використання гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами. Це зумовлено їх так званою «технологічною мобільністю», сутність якої полягає у можливості подачі матеріалів

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

по криволінійних трасах з низькими енерговитратами та можливістю подачі матеріалу без утворення переущільнених ділянок (заторів).

Гвинтові конвеєри використовують при транспортуванні різних типів сипких матеріалів, а їх конструктивне виконання є різноманітним [1-7]. Загальний вигляд одномагістрального горизонтального жорсткого шнекового конвеєра зображено на рис. 1.2.

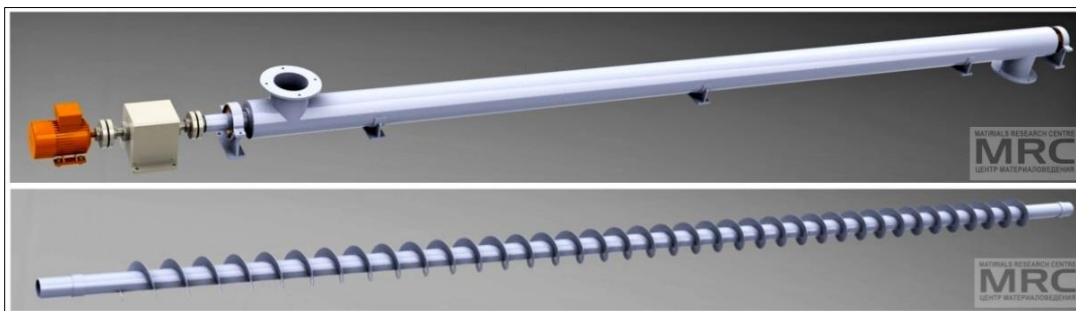


Рис. 1.2. Компонувальна схема горизонтального шнекового конвеєра

Однією з функцій похилих та вертикальних шнекових конвеєрів (рис. 1.3) є переміщення матеріалу з одночасним його підніманням на задану висоту.

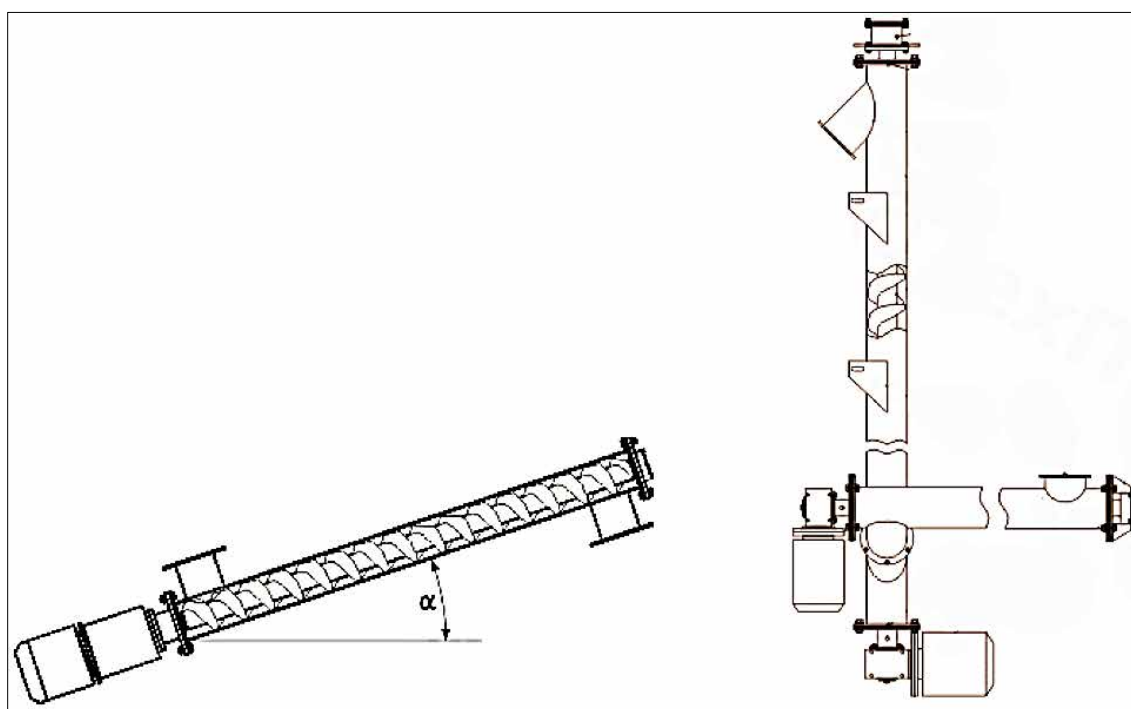


Рис. 1.4. Конструктивно-технологічні схеми похилого (а) та вертикального (б) шнекового конвеєра

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		12

Відома низка робочих органів похилих шнекових конвеєрів, типова конструктивна схема якого зображена на рис. 1.3 а, які застосовуються для забезпечення додаткових технологічних операцій. Це дозволяє зменшити матеріаломісткість та енерговитрати виробничих комплексів при виконанні заданих операцій. Також жорсткі шнекові конвеєри отримали широке використання у компоновальних схемах технологічних комплексів для переміщення матеріалів у різних напрямках транспортування, з переходом із однієї магістралі на іншу.

Такі схеми широко застосовуються у сільськогосподарському виробництві, переважно для транспортування зернових матеріалів.

Збільшення довжини транспортних магістралей та забезпечення їх різної просторової конфігурації забезпечує гвинтовий конвеєр [3], конструктивно-технологічна схема якого зображена на рис. 1.4.

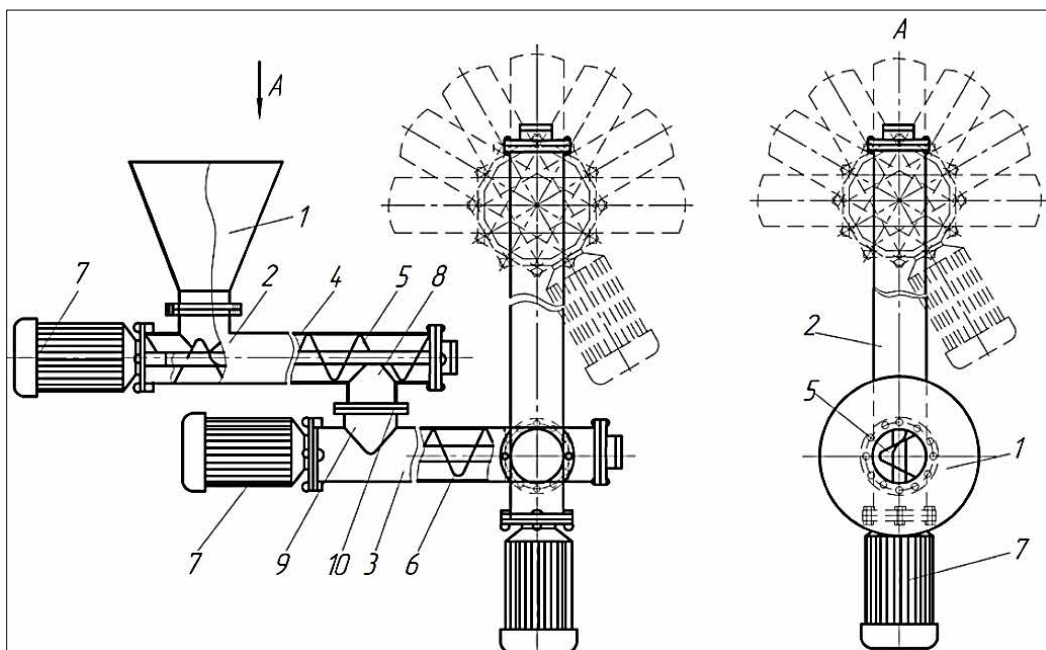


Рис. 1.4. Конструктивно-технологічна схема гвинтового конвеєра з різною просторовою конфігурацією траси

Конвеєр містить бункер 1, завантажувальну 2 та вивантажувальну 3 технологічні магістралі, що виконані у вигляді кожухів, в яких відповідно встановлені шнеки 5 і 6, котрі приводяться в рух електродвигунами 7. Магістралі взаємно з'єднані за допомогою патрубків 8 і 9, які фіксуються між собою

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

поворотними фланцями 10. Сипкий матеріал подається в бункер, де за допомогою шнека 5 переміщається вздовж магістралі 2, а далі через патрубки переводиться на магістраль 3, де шнеком 6 транспортується до наступного автономного конвеєра.

При переміщенні сипких матеріалів по просторових трасах магістралі кріпляться за допомогою фланців в різних площинах каскадом автономних магістралей. Для передачі сипких матеріалів з однієї магістралі на іншу їх патрубки виконані в одній площині, а в інших – у взаємно перпендикулярних. На обмежених площах застосовують жорсткі шнеки із перехресним розташуванням магістралей, таких як навантажувач зерна НЗ-20 (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Навантажувач зерна НЗ-20

Для забору матеріалу використовується поперечний шнек, частково охоплений щитком, і кінематично з'єднаний із повздовжнім завантажувальним шнеком, що розташовується у жорсткому суцільному кожусі. Такий навантажувач характеризується наступними параметрами: продуктивність – 20 т/год, висота вивантаження – 1 – 3 м, потужність – 4,5 кВт. До переваг даного навантажувача можна віднести високий коефіцієнт завантаження технологічної магістралі, який забезпечується його забірною частиною. Недоліком навантажувача є постійна

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		14

присутність оператора. У гнучких гвинтових транспортерах робочий орган вільно (без опор) розташовується в еластичному кожусі та по його внутрішній поверхні переміщає матеріал в зону вивантаження, що є основною їх перевагою. При обертанні робочого органу з частотою понад 550...600 об/хв гнучка гвинтова спіраль рівномірно розподіляє сипкий матеріал по периферії кожуха, що зумовлює її самоцентрування і переміщення продукту в зону вивантаження. Базова конструктивно-технологічна схема гнучкого гвинтового конвеєра зі спрощеним приводом робочих органів в технологічних магістралях шляхом застосування окремих електродвигунів, а також з розширеними функціональними характеристиками зображена на рис. 1.6.

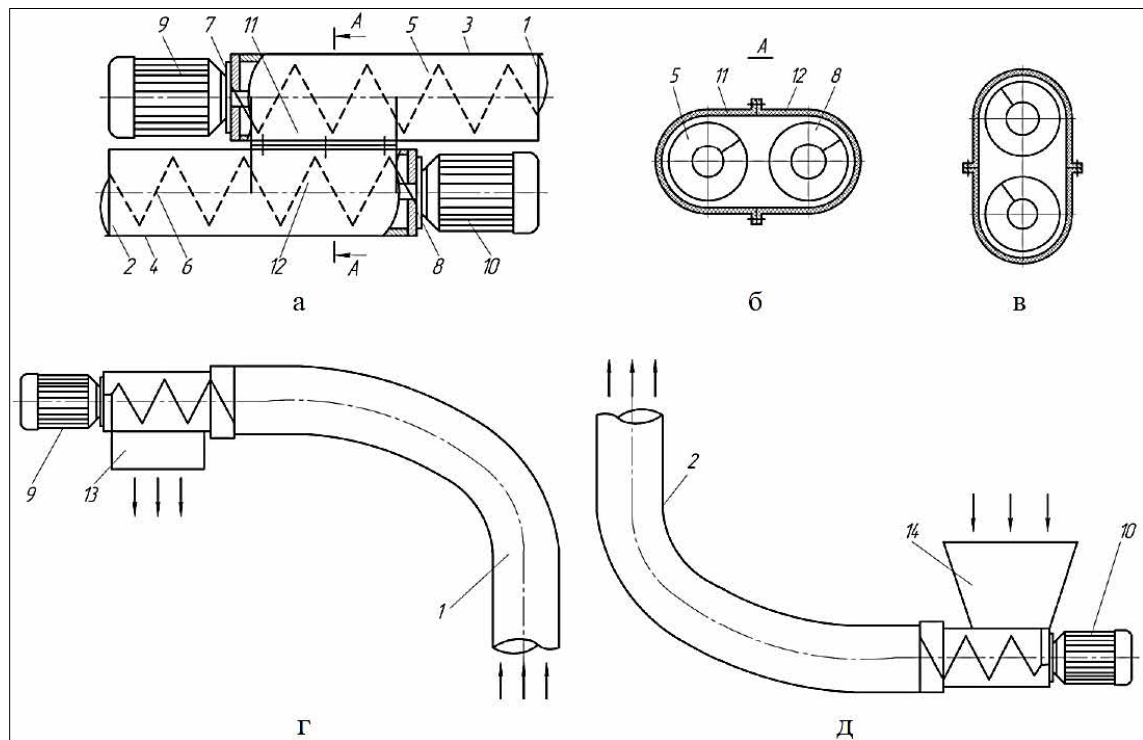


Рис. 1.6. Схема гвинтового конвеєра з приводом робочих органів від окремих електродвигунів: а - загальний вигляд; б - горизонтальне розташування магістралей; в - вертикальне розташування магістралей; г - варіант виконання одномагістрального завантажувального конвеєра; д - варіант виконання одномагістрального вивантажувального конвеєра.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Гвинтовий конвеєр містить завантажувальну 1 та вивантажувальну 2 магістралі, які виконані у вигляді замкнених кожухів 3 і 4 круглого поперечного перерізу, в яких розташовані гвинтові спіралі 5 і 6, що зв'язані з привідними валами 7 і 8 електродвигунів 9 і 10. У зоні привідних валів завантажувальна та вивантажувальна магістралі з'єднані між собою за допомогою двох секцій 11 і 12 перевантажувального патрубка, які з однієї сторони закріплені в отворах замкнених кожухів 3 і 4, а з іншої сторони з'єднані між собою. Гвинтові спіралі встановлені таким чином, що їх центральні осі співпадають з осями привідних валів електродвигунів. Завантажувальна та вивантажувальна технологічні магістралі в зоні з'єднання секціями перевантажувального патрубка можуть розташовуватись як у горизонтальній (рис. 1.6 б), так і у вертикальній (рис. 1.6 в) площинах. Розширення експлуатаційних показників даного гвинтового конвеєра полягає в тому, що його технологічні магістралі можна застосовувати у вигляді одномагістральних конвеєрів. Так, до секцій перевантажувального патрубка, а саме, завантажувальної магістралі може кріпитись вивантажувальне вікно 13, а до вивантажувальної магістралі — бункер 14. В процесі роботи сипкий матеріал подається в зону забору завантажувальної магістралі та спіралю 5 в кожусі транспортується в напрямку перевантажувального патрубка. Далі матеріал по секціях патрубка переводиться на спіраль 6 і транспортується в зону вивантаження. Перевагами даного конвеєра є те, що він може застосовуватись у трьох комбінаціях, як дво-магістральний (з горизонтальним та вертикальним розташуванням перевантажувального патрубка), так і одно-магістральний у тягнучому або завантажувальному (рис. 1.6 г) та подаючому або вивантажувальному режимах (рис. 1.8 д).

В роботі [1] приведені компоновальні схеми універсальних транспортних агрегатів до самохідного шасі та їх експлуатаційні характеристики. Вони призначені для роботи з різними сипкими сільськогосподарськими матеріалами, наприклад, зерном, мінеральними добривами та комбікормами в режимах механізованого само розвантаження, транспортування, вивантаження і перевантаження. Завантажувач

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

складається з заднього борта 1, шнекового конвеєра 2 з гідравлічним приводом 3 (рис. 1.8). Заповнення причепа забезпечується шляхом переведення шнекового конвеєра з транспортного положення на само завантаження (рис. 1.8 а). Далі знімають люк нижнього випускного вікна в приймальній частині конвеєра та вмикають гідропривід останнього. Гвинт конвеєра захоплює матеріал (зерно, добрива) і транспортує його до випускного вікна, звідки через вивантажувальний рукав направляє на платформу причепа. У польових умовах конвеєр розташовується позаду причепа, де попередньо відкривають заслінку та починають повільно піднімати платформу причепа. Матеріал самопливом надходить у завантажувальну горловину конвеєра, а далі в технологічні ємності агрегатів, наприклад, в кузов розкидача мінеральних добрив або завантажувальні бункери сівалки (рис. 1.8 б).

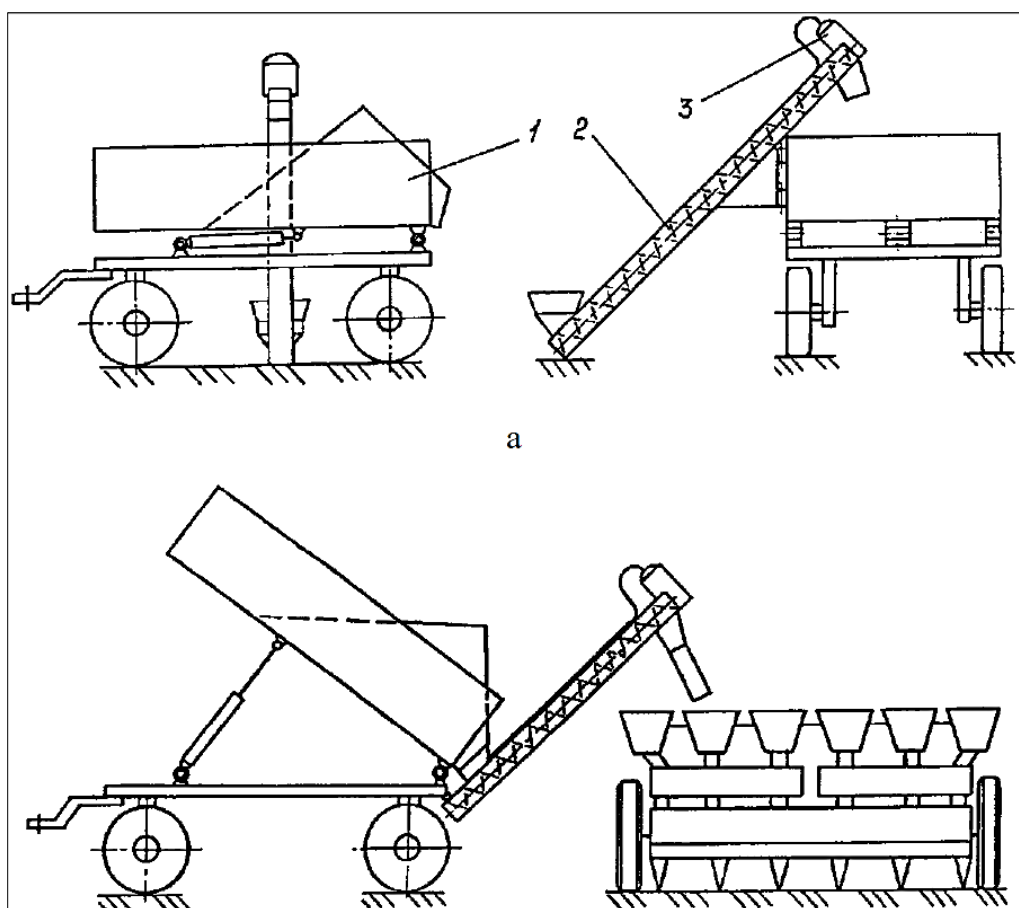


Рис. 1.8. Схема універсального <sup>б</sup> гвинтового завантажувального агрегату: а - само завантаження агрегату; б - агрегат при завантаженні сівалки

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		17

Далі знімають люк нижнього випускного вікна в приймальній частині конвеєра та вмикають гідропривід останнього. Гвинт конвеєра захоплює матеріал (зерно, добрива) і транспортує його до випускного вікна, звідки через вивантажувальний рукав направляє на платформу причепа. У польових умовах конвеєр розташовується позаду причепа, де попередньо відкривають заслінку та починають повільно піднімати платформу причепа. Матеріал самопливом надходить у завантажувальну горловину конвеєра, а далі в технологічні ємності агрегатів, наприклад, в кузов розкидача мінеральних добрив або завантажувальні бункери сівалки (рис. 1.8 б). Встановлені наступні технологічні можливості та показники завантажувача: вантажопідйомність — 3,5 т; пропускна здатність на матеріалі з насипною густиною  $1100 \text{ кг/м}^3$  — 5т/год; пошкодження гранул мінеральних добрив — до 3%, насіння зернових культур — до 1%.

До переваг даного універсального агрегату відносяться розширення функціональних можливостей. До недоліків можна віднести: складність при переведенні жорсткого шнекового конвеєра з транспортного в робоче положення, обмеженість технологічних операцій в процесі завантаження сипким матеріалом тракторного причепа, а також необхідність високоточного маневрування енергетичним засобом при завантаженні технологічних місткостей сільськогосподарських машин.

Для розширення функціональних можливостей при транспортуванні, завантаженні та розвантаженні сипких матеріалів, а також підвищення мобільності технологічних транспортних магістралей розроблено ряд конструктивно-технологічних схем компоновок гнучких гвинтових конвеєрів з транспортними та робочими сільськогосподарськими машинами для виконання відповідних операцій [16], які зображено на рис. 1.9.

Агрегат складається з трактора 1, який за допомогою зчипки 3 з'єднаний з причепом 2, днище котрого обладнане стрічковим транспортером 5. Кузов причепа 6 в задній частині виконано конусоподібним в напрямку зони забору 7 гнучкого гвинтового конвеєра 9.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

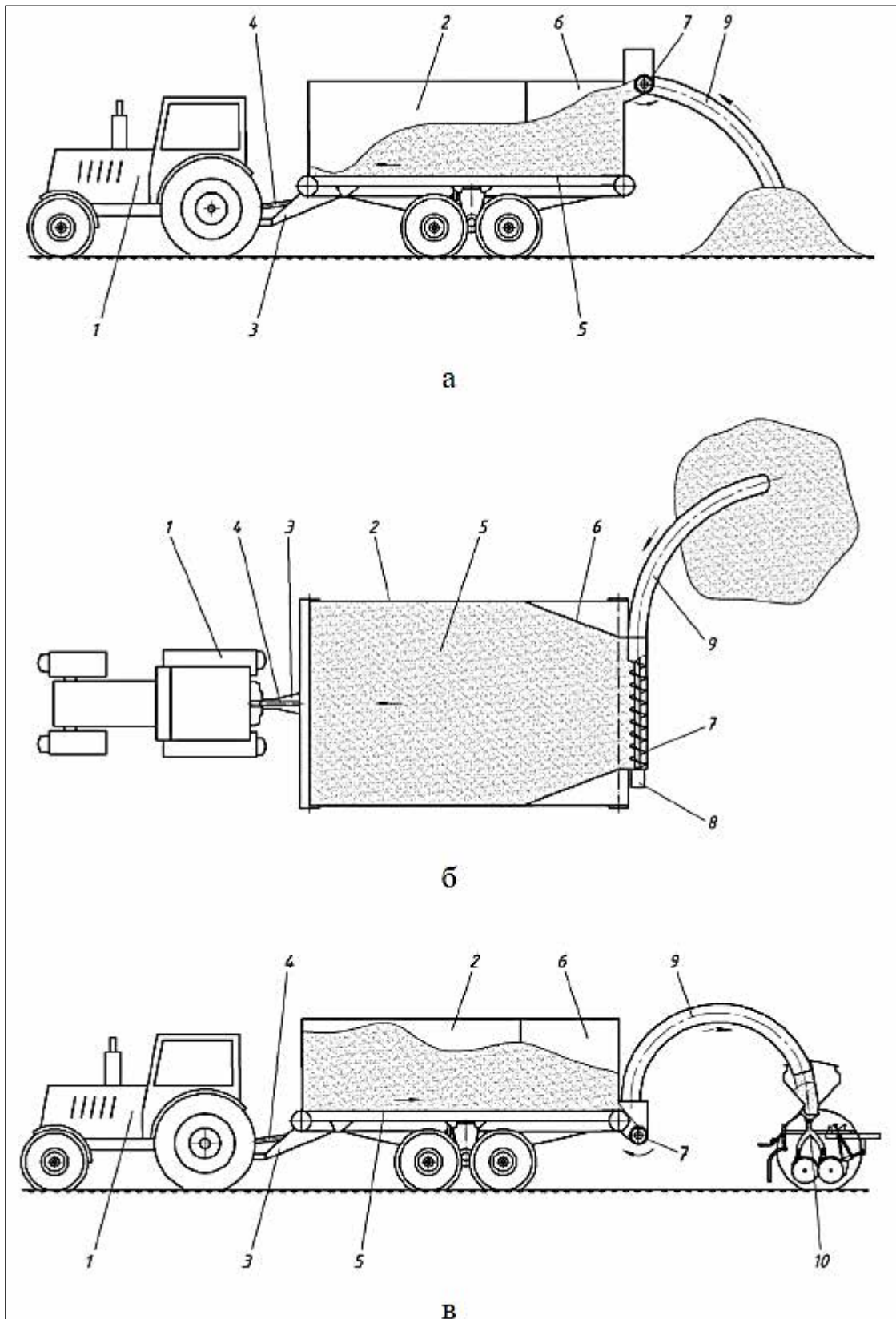


Рис. 1.9. Конструктивно-технологічна схема агрегату в компонуванні з гнучким гвинтовим конвеєром для завантаження та розвантаження сипких матеріалів в польових умовах

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ

Арк.

19

Привод транспортера здійснюється від валу відбору потужності 4 трактора з реверсним механізмом. Привод 8 гнучкого гвинтового конвеєра 9 може бути виконано у вигляді гідродвигуна або механічної передачі з'єднаної з валом барабана стрічкового транспортера. Процес роботи агрегату здійснюється наступним чином. При завантаженні в причеп (рис. 1.12 а, б) наприклад зернового матеріалу в польових умовах завантажувальний патрубок гнучкого гвинтового конвеєра вводять в купу зернового матеріалу, після збирання зернозбиральними комбайнами.

Далі вмикається гнучкий гвинтовий конвеєр, який транспортує зерновий матеріал у верхню частину причепа, який спадає на стрічковий транспортер, котрий переміщує його в протилежну сторону причепа. З причепа матеріал може вивантажуватись як у стаціонарні сховища, так і завантажувати сівалки в польових умовах (рис. 1.8 в). В цьому випадку бункер разом із зоною забору гнучкого гвинтового конвеєра вертикально переміщують в нижню частину причепа. Далі робочому органу надають протилежний напрямок обертання, який захоплює сипкий матеріал з причепа та транспортує його у насінневі бункери зернових сівалок. В протилежному напрямку періодично вмикається і стрічковий транспортер по мірі відбору робочим органом конвеєра зернового матеріалу.

Окреме місце займають трубчасті скребкові (шайбові) конвеєри, які можуть транспортувати сипкі матеріали по складних трасах з вертикальними та горизонтальними ділянками. На рис. 1.10 зображено робочий орган шайбового конвеєра англійської фірми «Spiro flow Ltd», який призначений для транспортування будь-яких сипких матеріалів.



Рис. 1.10. Робочий орган шайбового конвеєра

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Незважаючи на те, що даний тип транспортера переміщає матеріал по криволінійних трасах, сама траса може бути виключно стаціонарною, а довжина робочого органу є у двічі більшою від необхідної відстані транспортування, що знижує функціональні можливості та експлуатаційні показники такого транспортера. Проте розробка кожної окремої модифікації гвинтового конвеєра має свою специфіку особливо при наданні їй можливостей виконання додаткових операцій, що зумовлює потребу в їх подальших дослідженнях і конструюванні.

### 1.3. Огляд конструкцій робочих органів гвинтових конвеєрів, спрямованих на мінімізацію пошкоджень зерна.

Поперечний переріз гвинтової спіралі робочого органу суттєво впливає як на ступінь пошкодження сипкого зернового матеріалу, так і на експлуатаційні показники гвинтових конвеєрів. Для забезпечення надійного виконання технологічного процесу при транспортуванні сипких матеріалів і зменшення ступеня їх пошкодження розроблено цілий ряд гвинтових робочих органів як в Україні, так і за кордоном. Одними з перших розробок і проведених досліджень були конструкції гвинтових конвеєрів з робочими органами круглого поперечного перерізу [13]. Дані робочі органи виготовляються з високо вуглецевих сталей, які підлягають термічній обробці. Однак, такі спіралі можуть виготовлятися лише у некаліброваному стані, з подальшим калібруванням на крок, з довжиною 3...6 м. Тому їх термічна обробка є надто складною. Також до їх недоліків слід віднести низьку продуктивність, оскільки круглий переріз спіралі не забезпечує зосередженої направляючої сили в осьовому напрямку при транспортуванні матеріалу.

Смугові спіралі характеризуються значно вищою продуктивністю, однак їх маневреність є суттєво обмеженою, так як низьковуглецеві сталі, що застосовуються при їх виготовленні, швидко руйнуються при роботі спіралей на малих радіусах кривизни, внаслідок виникнення знакозмінних напружень при обертанні [17].

На рис. 1.11 представлена схема комбінованого робочого органу з прутковою несучою та смуговою технологічною спіралями. Різне направлення при навиванні,

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

та виконання з різними кроками даних типів спіралей, приводить до взаємного їх стискання при крученні та зростанні навантаження в точках контакту, що сприяє підвищенню крутильної здатності такого робочого органу. Даний тип гнучкого робочого органу має ряд недоліків, Не вирішеною є проблема кріплення окремих спіралей між собою. При роботі на криволінійних трасах смугова спіраль з вертикальним ребром швидко руйнується від знакозмінних деформацій. Внутрішня спіраль з протилежним напрямком навівання знижує продуктивність конвеєра. При виході з ладу необхідно повністю замінювати всю секцію спіралі.

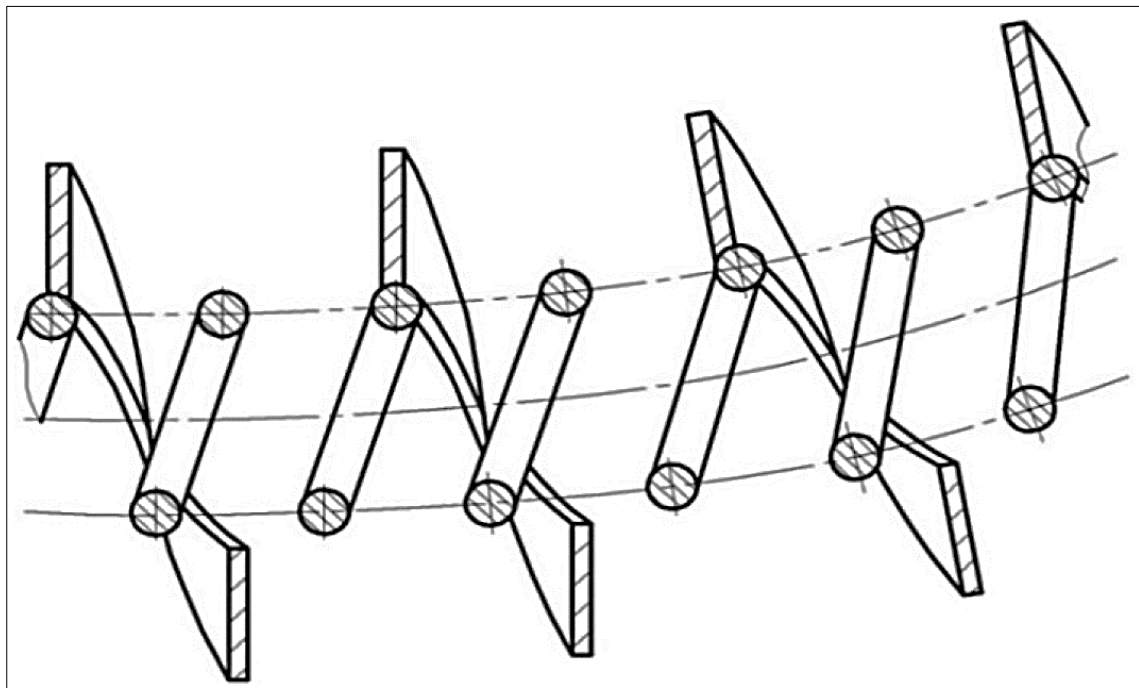


Рис. 1.11. Робочий орган з прутковою несучою та смуговою робочою спіралями

На основі аналізу літературних джерел [5; 6; 11] можна констатувати, що з точки зору пошкодження матеріалу спіралі круглого поперечного перетину суттєво поступаються смуговим, оскільки в перших кут заклинювання матеріалу, який виникає між обертовим робочим органом та внутрішньою нерухомою поверхнею направляючого кожуха, є значно більший ніж у смугових. Проте суттєвий вплив на ступінь травмування сипкого матеріалу має величина зазору між периферійною обертовою поверхнею гвинтової спіралі та внутрішньою поверхнею кожуха.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Для прямолинейних жестких шнеков из сплошной винтовой спиралью известны способы покрытия их металлических ребер разными типами полимерных материалов, жесткость яких є значно меншою ніж несучих спиралей, що сприяє зменшенню ступеня пошкодження сипкого матеріалу. Так, на рис. 1.12 представлено загальний вигляд робочих органів італійської компанії «WAM Group», винтова основа яких покрита полімерними матеріалами. До переваг даних конструкцій також можна віднести невисокий коефіцієнт тертя між поверхнею винтового ребра та сипким матеріалом, що знижує енерговитрати на процес транспортування. Однак дані конструкції мають ряд недоліків, до яких можна віднести підвищену трудомісткість і ресурсозатратність при виготовленні шнеків, а також низьку їх ремонтоздатність. При цьому, як і попередньому випадку, жорсткість периферійної поверхні шнека залишається досить високою у порівнянні з еластичними матеріалами.

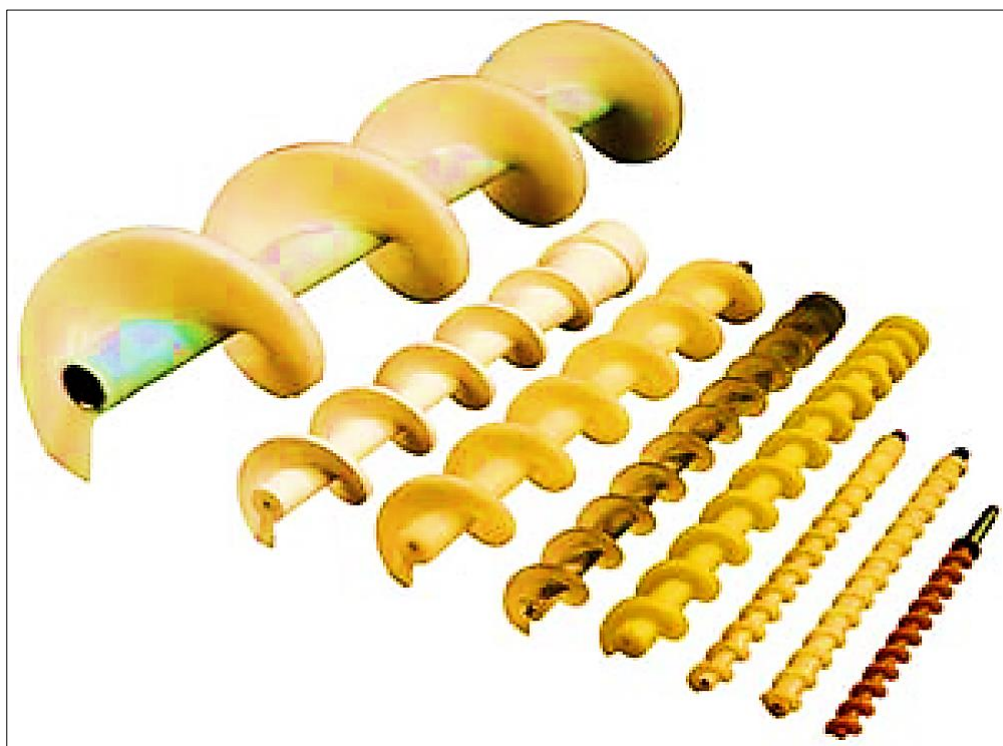


Рис. 1.12. Винтові робочі органи італійської компанії «WAM Group» з полімерним покриттям винтового ребра

Для усунення даних недоліків американська компанія «Lundell Plastics Corp» [21] пропонує використовувати механічно закріплені полімерні спіральні накладки на винтових ребрах (рис. 1.13).

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		23

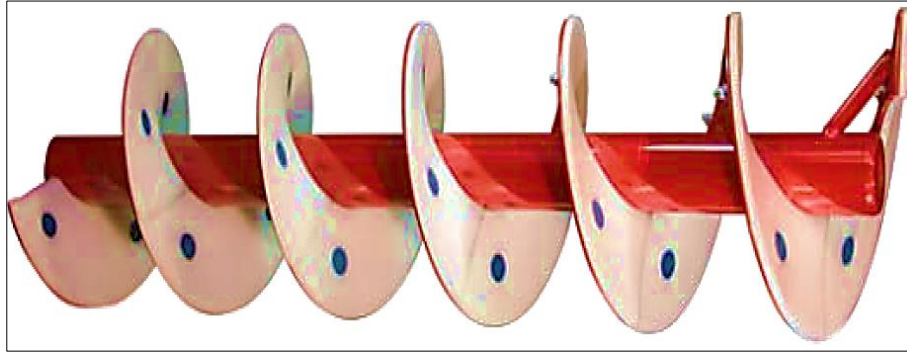


Рис. 1.13. Шнек з еластичною гвинтовою поверхнею американської компанії «Lundell Plastics Corp»

Для зниження ступеня пошкоджень сипких матеріалів можна застосовувати робочі органи, гвинтової поверхні яких виконані у вигляді секторів еластичних пелюсток, що кріпляться до несучого валу. На рис. 1.14 наведено таку конструктивну схему робочого органу [9].

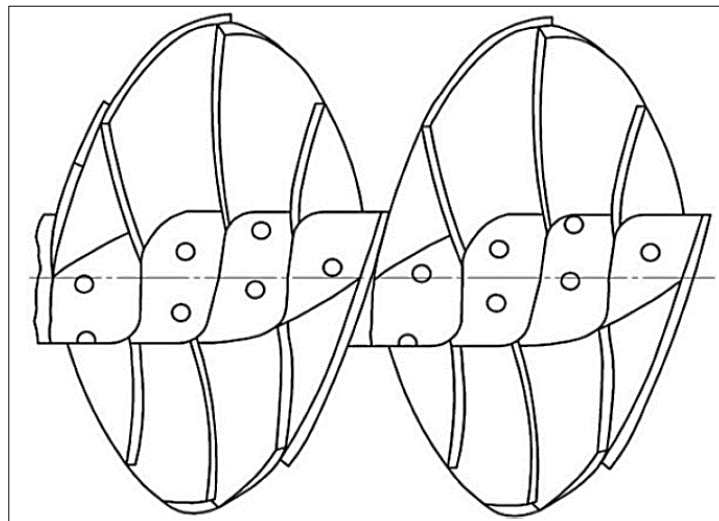


Рис. 1.14. Гвинтовий робочий орган, який виконаний з набору еластичних гвинтових пелюсток

До недоліків даного робочого органу слід віднести ненадійність кріплення гвинтових пелюсток до валу та підвищену металомісткість, оскільки можливе його виконання лише з дво-західною спіраллю. Одним із напрямків вдосконалення гвинтових робочих органів при їх транспортуванні та одночасній мінімізації пошкоджень сипких матеріалів є застосування еластичної щіткоподібної гвинтової периферійної поверхні. Типовим прикладом такого засобу механізації для

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

транспортування сипких зернових матеріалів є виконання несучої поверхні спіралі з радіально закріпленими еластичними щітками (патент Німеччини № 4001121), конструктивна схема якого зображена на рис. 1.15.

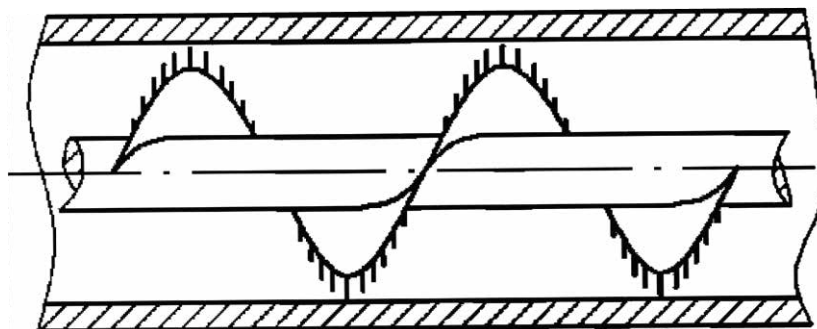


Рис. 1.15. Конструктивна схема шнекового робочого органу із еластичною щітками на периферії гвинтової поверхні

Конструктивне рішення способу кріплення радіальних еластичних щіток до гвинтового ребра шнека запропоноване в А.С. №1652230, яке представлено на рис. 1.16.

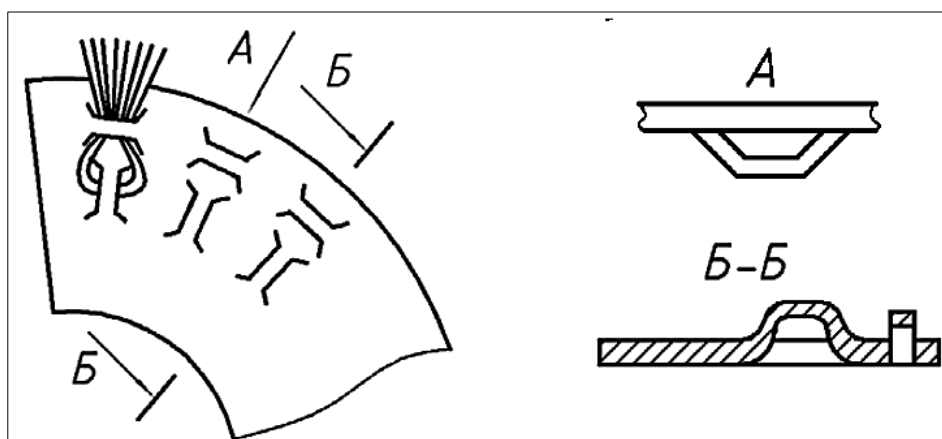


Рис. 1.16. Конструктивне рішення способу кріплення радіальних еластичних щіток до гвинтового ребра

До недоліків такого способу кріплення щіток можна те, що гвинтова поверхня є технологічно складною у виготовленні, а саме фіксації на ній радіальних та поздовжніх скоб. При цьому, значна відстань між сусідніми пучками щіток призводитиме до постійного зриву потоку сипкого матеріалу, що негативно впливатиме на ступінь його пошкодження. Варіанти виконання еластичних

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		25

гвинтових робочих органів (без вальний рис. 1.17 а), (вал виконаний у вигляді пружини рис. 1.17 б), (вал виконаний у вигляді тросу рис. 1.17 в) запропоновано в патенті Франції № 0067725. Особливістю даного технічного рішення є безпосередній контакт обертових еластичних щіток з внутрішньою поверхнею кожуха.

З однієї сторони таке виконання еластичного гвинтового робочого органу сприяє підвищенню продуктивності конвеєра, оскільки не відбувається просипання матеріалу через зазор між периферійною поверхнею шнека та внутрішньою поверхнею направляючого кожуха.

З іншої сторони, внаслідок тертя, яке виникає між еластичними щітками та внутрішньою поверхнею кожуха, підвищуються енерговитрати на процес транспортування матеріалу.

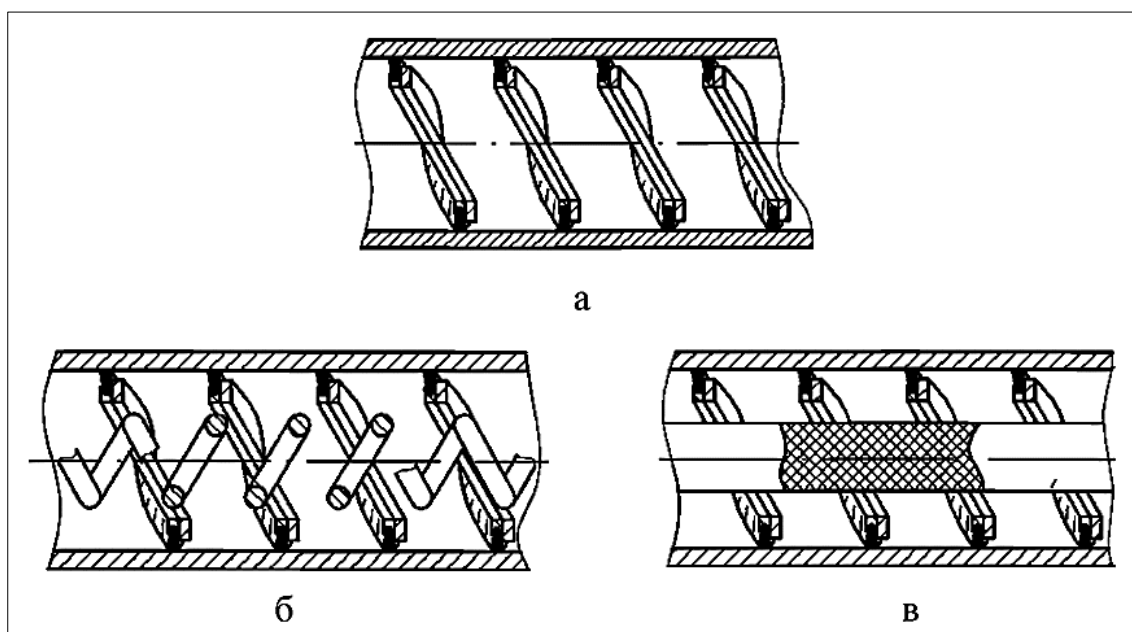


Рис. 1.17. Варіанти виконання еластичних гвинтових робочих органів

Варіант конструктивного рішення подібного способу кріплення еластичних пучків щіток до поверхні ребра шнека, виконаного у вигляді профільного пластмасового матеріалу, наведене в А.С. №1613404 (рис. 1.18).

Особливістю даних винаходів є розташування транспортуючих щіткоподібних елементів у периферійному фігурному пазу гвинтової спіралі.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		26

Значна різноманітність технічних рішень свідчить про те, що проблема зменшення пошкоджень сипких сільськогосподарських матеріалів (зерна, сої, рису, гранульованих мінеральних добрив та ін.) є особливо актуальною.

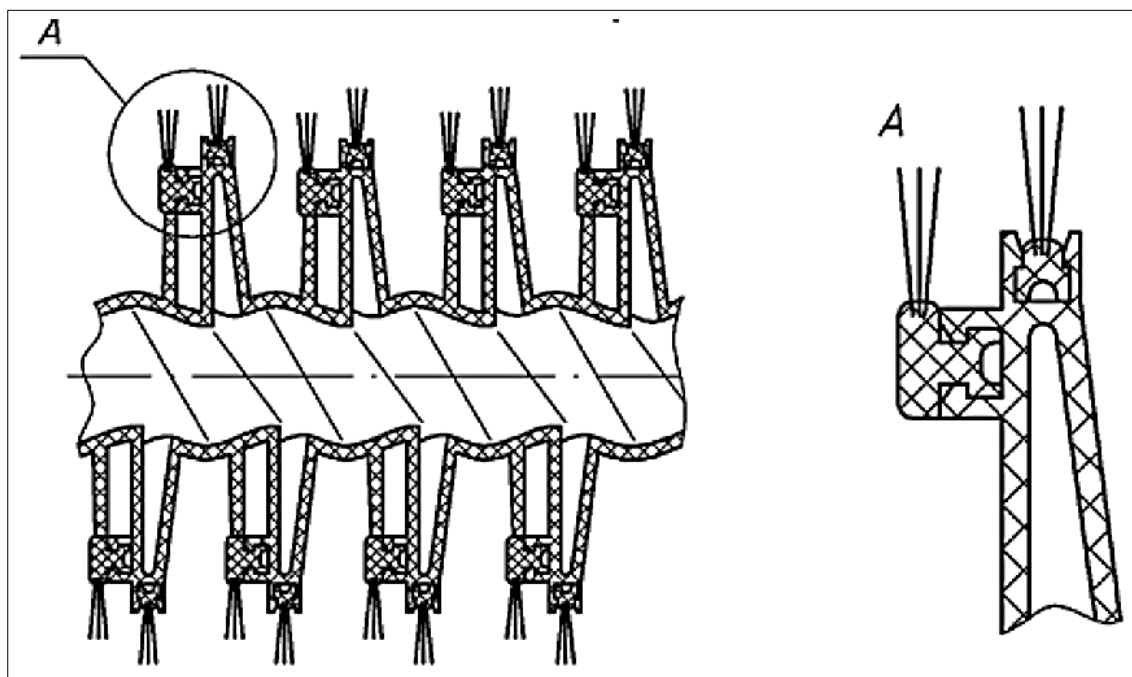


Рис. 1.18. Конструктивне виконання способу кріплення еластичних пучків щіток до поверхні ребра шнека

Загальний вигляд конструкції шнека австралійської компанії «Bulknet», периферійна поверхня якої виконана у вигляді еластичної щітки, зображено на рис. 1.19.

До недоліку даної конструкції можна віднести те, що робоча поверхня шнека не є однорідною, а отже при переході від суцільної спіралі до еластичної щітки, за рахунок відцентрових сил, можуть виникати зміни швидкості та напрямку руху сипкого матеріалу, що приводить до його підвищеного пошкодження.

Основними недоліками розглянутих конструкцій робочих органів є технологічна складність їх виготовлення та низька ремонтоздатність. Тому, використовуючи дані перспективні підходи в напрямку зниження пошкодження продуктів транспортування, необхідно розробити більш простіші за конструкцією і надійні в експлуатації гвинтові робочі органи з їх еластичною робочою поверхнею.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

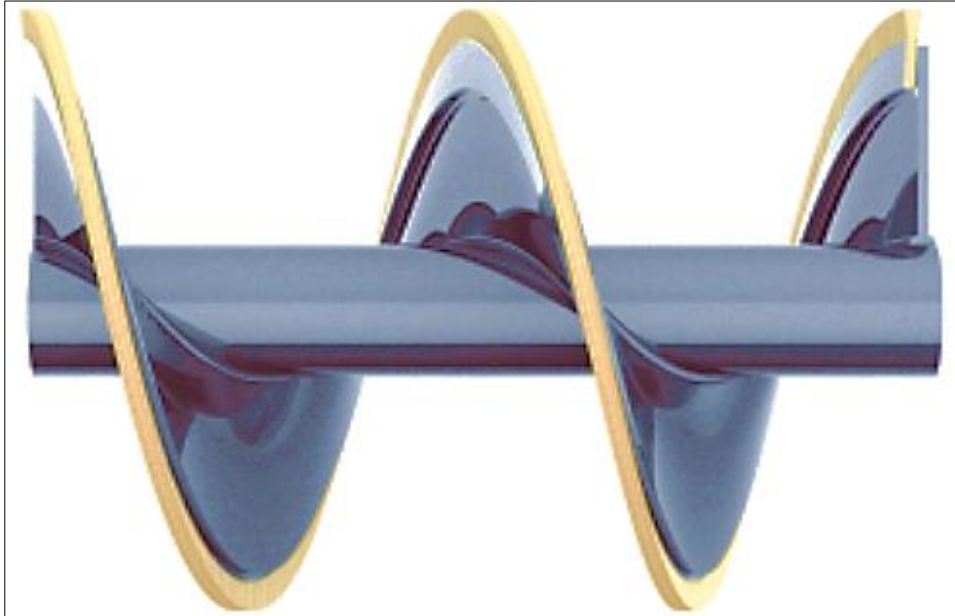


Рис. 1.19. Шнековий гвинтовий робочий орган австралійської компанії «Bulknet» з периферійною поверхнею у вигляді еластичних щіток

### 1.3. Огляд джерел теоретичних та експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів.

З проведеного аналізу наукових праць можна зробити висновок, що розрахунок і вибір оптимальних параметрів гвинтових робочих органів необхідно здійснювати на основі реалізації моделей безпосередньої взаємодії робочих поверхонь із сипким матеріалом, враховуючи при цьому його реологічні властивості. Також встановлено, що існуючі конструкції робочих органів гвинтових конвеєрів не в повній мірі задовольняють функціональні вимоги щодо пошкодження зернових матеріалів при забезпеченні мінімальних енерговитрат на виконання технологічного процесу.

З аналізу літературних джерел [7; 13; 17; 33] виявлено ряд аналітичних залежностей для визначення продуктивності та потужності процесу транспортування сипкого матеріалу гвинтовими конвеєрами. Встановлено, що значення продуктивності для конкретних числових параметрів суттєво

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

відрізняються між собою. Таким чином, можна зробити висновок, що на даний час не існує абсолютно чітких методик розрахунку продуктивності та потужності при роботі гвинтових конвеєрів, які б адекватно відображали параметри технологічного процесу.

Перші дослідження гнучких гвинтових конвеєрів, в якості робочого органу яких була застосована пружина круглого поперечного перетину, викладені в праці Х. Германа [31]. Однак, в даній роботі наведені лише загальні принципи функціонування таких робочих органів і значна увага приділена конструктивним схемам завантажувальних патрубків з метою забезпечення максимального коефіцієнту заповнення технологічної магістралі сипким матеріалом.

Проведені дослідження з визначення продуктивності та енерговитрат на транспортування сипких матеріалів робочими органами з пружною спіраллю круглого поперечного перетину викладено в працях С. М. Михайлова, К. Д. Вацагіна, О. О. Труфанова, П. А. Преображенського [14; 55; 29]. Ними виведені досить громіздкі аналітичні залежності для визначення продуктивності та енерговитрат на виконання технологічного процесу одно спіральним шнеком.

При цьому, дані залежності не в повній мірі відображають реальні процеси, що протікають в процесі функціонування гвинтових конвеєрів, так як не враховують реологічні властивості матеріалів, а також конструктивні та кінематичні параметри робочих органів.

Проведені експериментальні дослідження для визначення корисної потужності при роботі одно спірального гвинтового конвеєра, що проведені С. М. Михайловим [24; 25], показали, що при частоті обертання гвинтової спіралі в межах 400...600 об/хв її частка в загально затраченій потужності складає від 5 до 20 %. Тобто значна частина потужності затрачається на перемішування та подрібнення матеріалу.

Також встановлено, що для частот обертання гвинтової спіралі в межах 350...400 об/хв при транспортуванні зернового матеріалу максимальна продуктивність не перевищувала 1 м<sup>3</sup> за годину. Така низька продуктивність

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

суттєво обмежує можливість застосування пружних спіралей з круглим поперечним перетином.

В роботах Б. М. Гевка [12-14] наведено наукові основи аналізу та синтезу гвинтових механізмів, виведені рівняння геометричних поверхонь робочих органів гнучкого шнекового конвеєра, досліджено нелінійну задачу динаміки руху матеріальної точки з нестационарними зв'язками, а також встановлені кінетичні та динамічні параметри рухомого потоку сипкого вантажу.

Значного підвищення продуктивності гвинтових конвеєрів можна досягнути шляхом застосування смугових спіралей шнеків. Встановлено, що розрахункове значення коефіцієнта заповнення простору між витками шнека з врахуванням зміни швидкості транспортування в діапазоні кутових частот обертання  $\omega = 25,0 \dots 50 \text{ с}^{-1}$  встановлюється в межах  $0,5 \dots 0,7$ .

Досягнути продуктивності гвинтового конвеєра до 20 т/год. при транспортуванні зернових матеріалів можливо при таких конструктивних та кінематичних параметрах робочого органу: крок спіралі  $T = (0,5 \dots 0,7) D$ ; частота обертання  $n = 600 \dots 700 \text{ об/хв}$ ; висота ребра спіралі  $H = 30 \text{ мм}$ ; внутрішній діаметр кожуха  $D_k = 100 \text{ мм}$ .

У працях Р. М. Рогатинського висвітлено механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва. Розв'язана задача руху зв'язаних і сипких зернових матеріалів потоком по гвинтових поверхнях, а також встановлено розподіл навантажень та напружено-деформований стан таких робочих органів. Розроблено уніфікований метод формалізованого опису поверхонь сільськогосподарської продукції та робочих органів на основі алгебраїчних функцій і математичні моделі їх зближення та ударної взаємодії.

Встановлено, що мінімізація енерговитрат та ступеня пошкодження сільськогосподарської продукції досягається при збереженні відповідності між кутовою швидкістю гвинта та продуктивністю технологічної операції у співвідношенні  $\omega = k / Q^{1/5}$ , де  $2 < k < 20$ : для пшениці  $k = 13 \dots 14$ , для

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

кукурудзи  $k \approx 16$ , для ячменю  $k = 13...15$ . Для зернових матеріалів із коефіцієнтом зовнішнього тертя  $\mu$  до 0,5 раціональний крок спіралі становить 0,9...1,0 від діаметра спіралі  $D$ , для матеріалів із коефіцієнтом тертя 0,5...0,8 відповідно  $0,8...0,9 D$  і  $\mu > 0,8$  крок  $T = (0,6 ... 0,8) D$ .

При транспортуванні зернових матеріалів ступінь їх пошкодження та енерговитрати зменшуються при зменшенні кута нахилу стінок гвинтового живильника та зміщення вертикального тиску матеріалу в сторону периферії робочого органу. Так, при без бункерному завантаженні раціональними є кути нахилу стінок живильника  $40^\circ...50^\circ$ , зміщення вектору узагальненого тиску матеріалу на величину  $(0,8 ... 1,5)D$  від осі обертання. Зменшення стовпа завантаження з 0,5 м до 0,3 м зменшує енерговитрати на 12...18 %.

Згідно даних, які викладені у працях [16; 27] при швидкості обертання спіралі більш ніж 450...500 об/хв, весь потік переходить у гвинтовий рух, що сприяє зниженню непродуктивних енерговитрат. Однак, при зростанні частоти обертання гвинтового робочого органу понад 600 об/хв, починається падіння продуктивності гвинтового конвеєра внаслідок незадовільного завантаження простору між витками спіралі.

Збільшення зазору між спіраллю та кожухом із 3 до 5 мм при частоті обертання спіралі шнека близько  $\omega = 37 \text{ с}^{-1}$  призводить до зриву гвинтового руху матеріалу і його транспортування відбувається по нижній поверхні русла кожуха, тобто з підвищенням зазору зростає критичне значення кутової швидкості, при якій здійснюється процес транспортування.

В працях М. І. Пилипця запропоновані методи розрахунку та вибору конструктивних параметрів робочих органів; вирішена нелінійна задача руху матеріальної точки із нестационарними зв'язками; досліджено кінематичні та динамічні параметри рухомого потоку вантажу; розроблені методи оптимізації конструктивних параметрів гвинтових конвеєрів з врахуванням продуктивності, конструктивних, технологічних і економічних обмежень. Для ефективної роботи конвеєрів параметри гвинтових робочих органів доцільно вибирати з погонною

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

висотою 12...17мм і кроком спіралі  $T = (0,5 \dots 0,7)D$  на вході системи і  $T = (0,6 \dots 0,8)D$  на виході системи. Встановлено залежності крутного моменту при транспортуванні муки, зерна, насінневих матеріалів від висоти підйому гнучкого кожуха із поперечним перетином 0,1 м при частоті обертання спіралі  $n = 357$  об/хв. Так, при підніманні вантажу на висоту 1 м значення крутного моменту зростає в 1,1...1,3 рази. Підвищення частоти обертання спіралі шнека від 270 до 550 об/хв при транспортуванні пшениці сприяє зниженню крутного моменту від 13 до 9 Нм.

У працях А. О. Вітрового [10; 11] представлено результати теоретичних і експериментальних досліджень з визначення функціональних та експлуатаційних показників секційного гвинтового робочого органу, а також дослідження з визначення ступеня пошкодження матеріалів зернових культур від частоти обертання робочого органу, коефіцієнту завантаження гнучкого кожуха, висоти підйому та радіуса кривизни вивантажувальної магістралі. Встановлено, що оптимальна частота обертання робочого органу знаходиться в межах 450...650 об/хв, оскільки, як показали дослідження при  $n = 300$  об/хв, пошкодження зростає на 14...16 %, а при  $n = 300$  об/хв — на 4...7 %. При малих коефіцієнтах завантаження гнучкого кожуха матеріалом  $k \leq 0,5$  пошкодження зерна є значним, а при зростанні  $k$  від 0,5 до 0,8 ступінь пошкодження зерна знижується.

Так, при  $k = 0,35$  ступінь пошкодження зерна є більшим на 30...40%, ніж при транспортуванні його з коефіцієнтом завантаження  $k = 0,7$ . Збільшення висоти транспортування матеріалу до 0,6...0,8 м практично не впливає на ступінь його пошкодження, однак при подальшому зростанні висоти траси до 2 м, травмування зерна збільшується на 40...60 %.

Теоретичні та експериментальні дослідження А. І. Піка присвячені підвищенню технічного рівня засобів механізованого переміщення сипких сільськогосподарських матеріалів. Автором запропоновано раціональні форми лопаті, яка виконана у вигляді гвинтової поверхні з кутом нахилу до нормального

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

січення кожуха  $12...20^\circ$  в залежності від кута підйому технологічної траси та реологічних властивостей транспортованого матеріалу. Встановлено, що кутовий параметр лопаті, що визначає довжину гвинтового елемента повинен бути не менше  $2\pi/3$ , а зазор між лопатями сусідніх секцій не повинен перевищувати 25...30 мм. Автором доведено, що при сталому режимі транспортування рівень пошкодження зерна на 7...12 % є менший, ніж для суцільних гнучких спіралей шнеків, а при використанні лопатей покритих еластичним матеріалом величина пошкодження зменшується на 18...20 %.

В наукових роботах А. І. Бойка та В. Л. Куликівського [5; 6] наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень нових конструкцій гвинтових транспортерів з підвищеним ресурсом та зниженим ступенем пошкодження зернового матеріалу для зерноочисних машин. Встановлено, що зусилля тертя залежить від напружень зацемлення та руйнування зернин у зазорі «виток – кожух». Основною дією осьової складової зусилля тертя є створення напружень тиску та руйнування зернин у зазорі. Експериментально підтверджено, що застосування розробленого транспортера зменшує питому енергоємність процесу переміщення на 14...16 %, порівняно із серійним живильником, при цьому травмування зернового матеріалу знижується до 0,29...0,31 %.

У дисертаційній роботі О. Р. Рогатинської встановлені особливості транспортування сипких матеріалів швидкохідними гвинтовими конвеєрами. Так, під час пуску гвинтового конвеєра із завантаженим робочим простором момент зрушення вантажу, особливо для високошвидкісних конвеєрів, суттєво перевищує момент усталеного транспортування, а взаємодія гвинтової поверхні із вантажем має ударний характер, що призводить до його пошкодження.

Згідно даних О. П. Тарасенка, С. М. Герука, Р. С. Трудового кількість травмованих насінин після проходження всієї технологічної лінії по збиранні, післязбиральної та передпосівної обробки становить 80 ... 90 %. На робочі органи транспортувальних машин припадає 28,8 ... 79,4 %. Встановлено що кожні 10 % травмованих насінин знижується врожайність пшениці на 1,0 ... 2,5 ц/га [12; 33].

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Травмування зерна залежить від таких факторів: ймовірності контакту не травмованої зернини з поверхнею тертя; швидкості зернини, з якою вона вдаряється об робочий орган; часу (протяжності) транспортування з наявним ударом чи тертям зернини із витком або кожухом шнекового транспортеру; ймовірності защемлення зернини між витком і кожухом. Ці фактори напряму залежать від конструкційних і технологічних параметрів гвинтових конвеєрів, а також від фізико-механічних характеристик транспортованого матеріалу. Одним із основних чинників, через який відбувається травмування зерна, є спрацювання робочих поверхонь транспортерів зерновим потоком, що супроводжується збільшенням зазору між витком і кожухом, а також шорсткість поверхні [16].

У роботі М. Е. Мерчалової доведено, що при збільшенні зазору від 2 до 3 мм і постійній швидкості транспортування, травмування насіння зростає та досягає максимуму при зазорах, близьких до товщини насіння, а потім зменшується до мінімуму. При зазорах, менших мінімального розміру насіння, защемлення їх в процесі руху по кожуху є мінімальним.

В роботі О. П. Тарасенка [12] встановлено, що з підвищенням частоти обертання шнека збільшується травмування зерна. Це обумовлено тим, що при збільшенні обертів збільшується ймовірність защемлення насінини між витком і кожухом. Травмування зерна шнеком знаходиться в прямій залежності від тривалості його переміщення. Після проходження половини довжини шнека кількість травмованих зерен збільшується приблизно на 55 % від їх загальної кількості.

В статті В. Л. Куликівського, В. К. Палійчука, В. М. Боровського наведено результати дослідження процесу травмування зерна гвинтовим конвеєром. Автори пропонують оцінку травмування зернин при транспортуванні вивчати шляхом аналізу їх фізико-механічних властивостей (модуль пружності, відносна видовженість, щільність оболонки, коефіцієнт Пуассона, форма, розмір, твердість оболонки, коефіцієнт тертя, мікротвердість, шорсткість поверхні), а також параметрами силового впливу (статична сила, динамічна сила, імпульс сили, площа

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

контакту). Також на травмування зернового матеріалу впливають наступні фактори: кінематичні — частота обертання шнекового робочого органу; конструктивні — зазор між витком та кожухом і кут нахилу гвинтового конвеєра. Так, при збільшенні зазору від 2 до 7 мм і постійній швидкості переміщення матеріалу травмування зерен зростає, а потім поступово зменшується. Збільшення частоти обертання гвинтового робочого органу та кута його нахилу до горизонту також призводить до суттєвого травмування зерен. Зміна кута нахилу конвеєра від 0 до 20° спричиняє зростання травмування зернового матеріалу на 20...25%.

У вказану модель входять морфолого-анатомічні та фізико-механічні властивості зернини, параметри силового впливу, а також характеристика контакту зернини та гвинтової поверхні (рис. 1.20).

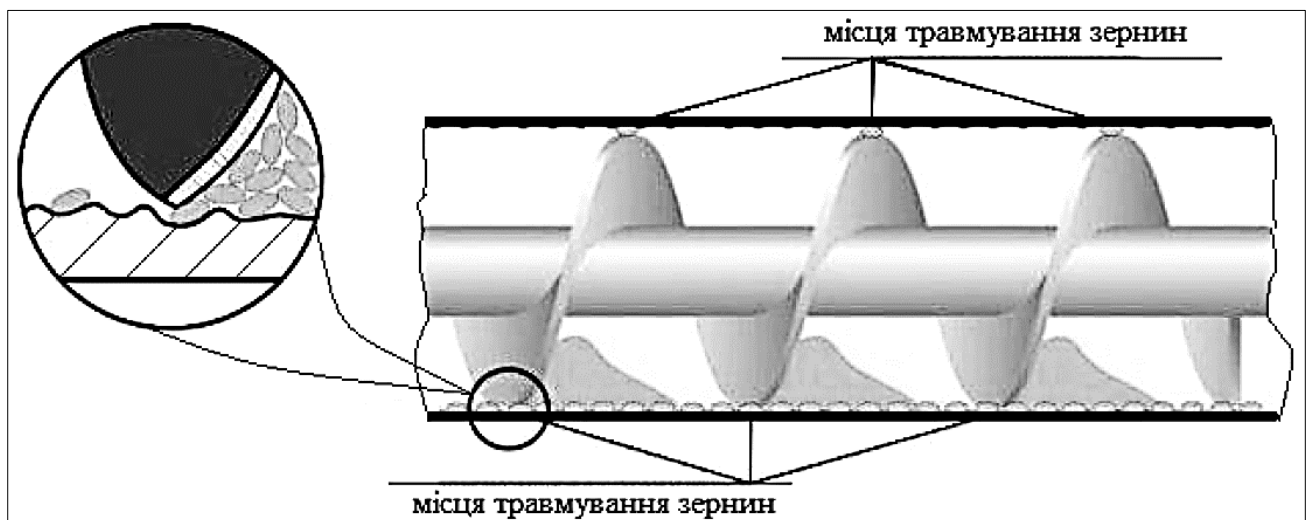


Рис. 1.20. Процес взаємодії гвинтового робочого органу конвеєра з зерном

Автори стверджують, що основний вплив на травмування зернового матеріалу мають такі фактори:

- кінематичний — частота обертання гвинтового робочого органу;
- конструктивні — зазор між гвинтовим ребром шнека та кожухом, а також кут нахилу гвинтового робочого органу до горизонту.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		35

При збільшенні зазору від 2 до 7 мм пошкодження зернового матеріалу зростає, досягаючи максимуму при зазорах, близьких до товщини зернини, а потім поступово зменшується.

За результатами фото та відео зйомки встановлено, що при зазорі меншому мінімальних розмірів зернин, їх защемлення в процесі переміщення по кожуху практично не спостерігається.

При зазорі, більшому ніж три середніх розміри зернин (12 мм і більше), на дні кожуха утворюється ледь рухомий пасивний шар матеріалу.

Як показав аналіз, збільшення частоти обертання гвинтового робочого органу призводить до зростання травмування за рахунок інтенсивнішого тертя зерен об поверхні, що контактують та повторних взаємодій з витком (рис. 1.21).

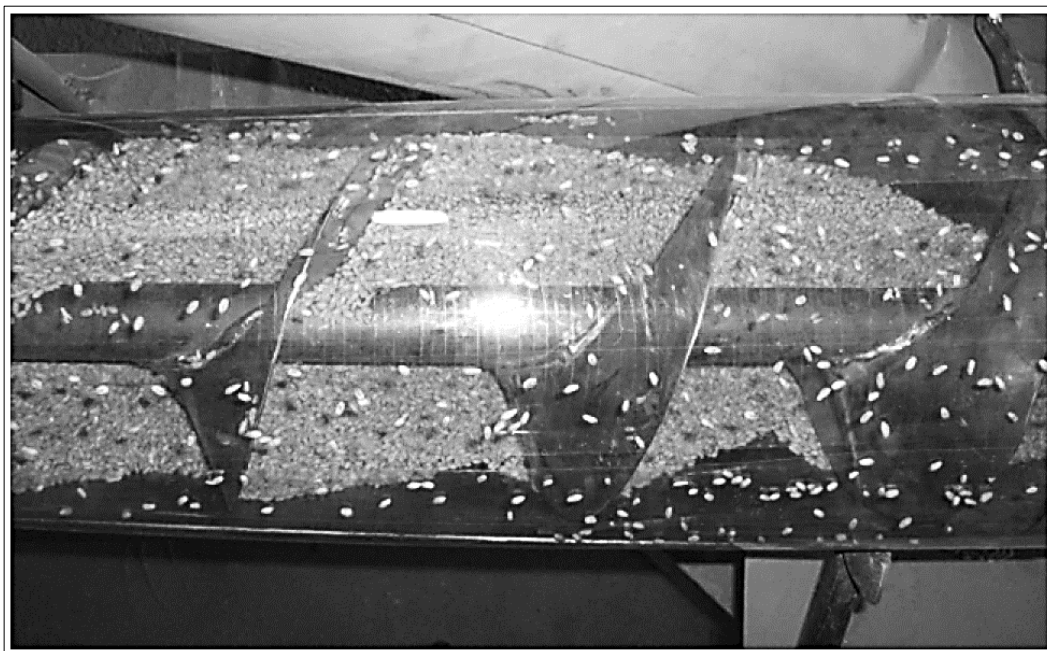
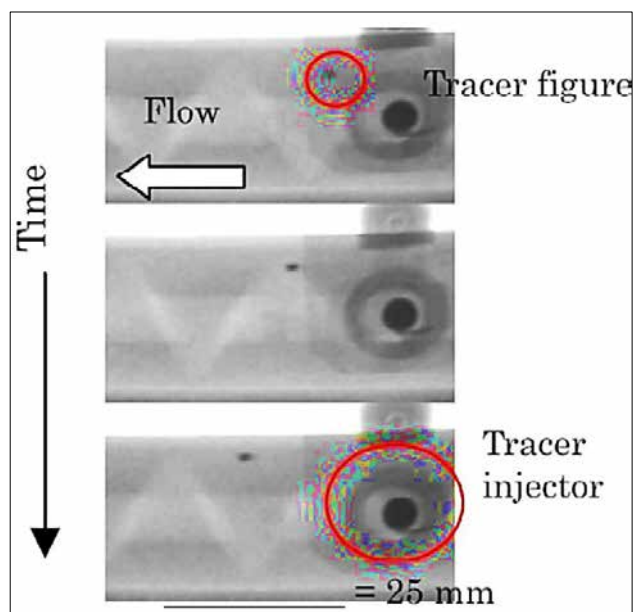


Рис. 1.21. Рух зернового матеріалу в гвинтовому конвеєрі

Кут нахилу робочого органу гвинтового конвеєра до горизонту також суттєво впливає на травмування. Аналіз показав, що при збільшенні кута нахилу конвеєра до 20° травмування зерна підвищується на 20...25 %, що обумовлено зростанням тиску матеріалу на робочі поверхні кожуха та витки шнека особливо в нижній завантажувальній частині шнека. За рахунок використання рентгенівського апарату продемонстровано техніку візуалізації потоку сипкого матеріалу у гвинтовому

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

живильнику [16]. Для отримання тривимірного зображення потоку використовувались дві рентгенівські установки з горизонтальним і вертикальним напрямками променів. Експериментальна установка складається з дозувального та вивантажувального бункерів, з'єднаних гвинтовим живильником та інжектора маркера. Після виходу матеріалу на стаціонарний режим у гвинтовий простір через інжектор добавляють маркер — речовину, яка відрізняється по щільності від транспортованого матеріалу (рис. 1.22).



### 1.22. Схема розташування інжектора та маркера

Рентгенограми отримують через однакові, малі проміжки часу. Набір зображень об'єднують в панораму на фоні спіралі живильника. За рахунок використання кольорового спектру на зведеному зображенні відображена траєкторія транспортування в часі (рис. 1.23). З траєкторії руху маркера можна зробити висновок про те, що частинки вантажу у гвинтовому конвеєрі рухаються по спіралеподібній орбіті.

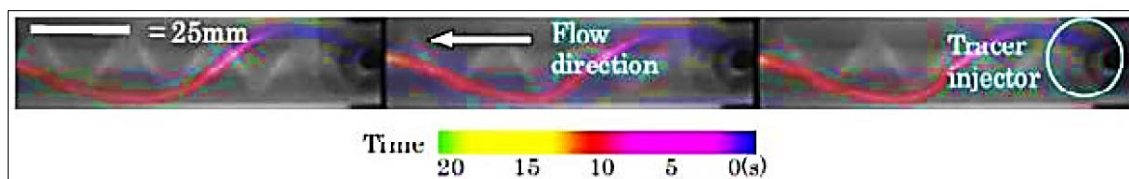


Рис. 1.23. Траєкторія руху маркера

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

На рис. 1.24 показано траєкторію руху маркера в часі при різному кроці шнека.

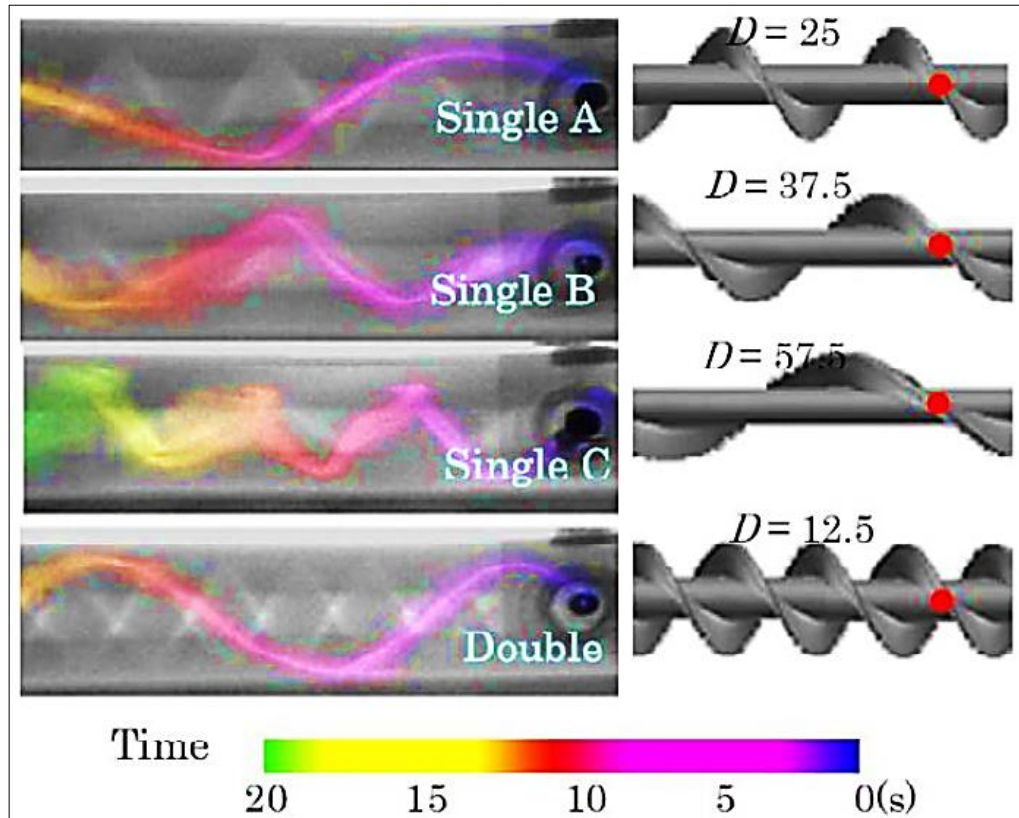


Рис. 1.24. Траєкторія руху маркера в часі при різному кроці спіралі

**Висновки до першого розділу.** Наведено характеристику способів транспортування сипких матеріалів у замкнутих технологічних магістратах та основних технологічних вимог до них.

Приведено аналіз конструктивних схем робочих органів гвинтових конвеєрів, які спрямовані на зниження пошкодження сипких матеріалів. Також наведено результати аналізу відомих теоретичних і експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів.

З аналізу теоретичних досліджень гвинтових конвеєрів можна зробити висновок, що в переважній більшості автори приділяли увагу виведенню аналітичних залежностей для визначення конструктивних і кінематичних параметрів гвинтових робочих органів.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖУВАЧА СІВАЛОК

#### 2.1. Універсальні завантажувачі сівалок ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30 60 Зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5

Універсальні завантажувачі сівалок по-перше: заощаджують робочий час посівних комплексів. По-друге: значно зменшують трудомісткість технологічного процесу та підвищують його ефективність. По-третє: мають не складну конструкцію, що забезпечує простий монтаж і демонтаж обладнання на кузов автомобіля чи тракторного причепа та легке управління. Це універсальне обладнання — працює з різними видами зернових і зернобобових культур. Вони дешеві в обслуговуванні, не вимагають дорогих витратних матеріалів. В силу зазначеного, універсальні завантажувачі випускаються багатьма машинобудівними підприємствами України. І тому відносно не дорогі та доступні для невеликих за розмірами господарств. До них відносяться завантажувачі сівалок ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30 60 Зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5 та інше подібне обладнання.

Завантажувач насіння і добрив ЗС-30М-1 призначений для завантаження насіння і сипучих неорганічних добрив в сівалки вітчизняного та імпортного виробництва і розкидачі добрив. Завантажувач насіння і добрив навішується на місце заднього борту автомашини (самоскида) і являє собою змінний задній борт в комплекті з завантажувальним шнеком. Завантажувальний шнек завантажувача знаходиться в 2-х положеннях: транспортне та робоче. У транспортному положенні шнек складається вздовж лівого борту кузова, практично не змінюючи штатних габаритів автомобіля. Довжина шнека від 2140 мм до 3570 мм. Висота точки розвантаження від 2700 мм до 3700 мм від землі (рис 2.1).


					<b>01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖУВАЧА</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25		у	39	27
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25		НУБіП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Перевіри								
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25				
Консульт.								



Рис. 2.1. Універсальний завантажувач ЗС-30М

Завантажувач сівалок ЗСП-30 (рис.2.2.) являє собою спеціальний змінний задній борт з шиберною заслінкою. У конструкції завантажувача використаний гідропривід завантажувального шнекового транспортера. Шнек завантажувача має два положення — робоче і транспортне. У комплект поставки завантажувача входять: спеціальний задній борт з шиберною заслінкою; вивантажним шнеком; гідромотором ДМШ 50; повний комплект гідро-магістралей і кріплення; гідро-розподільник; бак для робочої рідини; форсунки; насос 12 В; ящик управління.

Завантажувач ЗСП-30 призначений для внутрішньогосподарського транспортування насінневих матеріалів і вивантаження їх в зовнішні бункери, а також для перевезення зерна (табл. 2.2). Він агрегується з тракторами класу 9 – 14 кН. Привід вивантажувальних шнеків від вала відбору потужності трактора через карданний вал, підйом і опускання вивантажувального шнека здійснюється за допомогою гідронасоса і поворотного пристрою. Має підвішений на опорному підшипнику вал із суцільними гвинтовими витками і горизонтальний короткий гвинт — живильник, обидва гвинта обертаються в трубі за допомогою приводного пристрою. Подача матеріалу здійснюється в нижній ділянці вертикального гвинта. Розвантаження конвеєра проводиться через патрубок угорі труби. Використовують для підйому зернистих і порошкоподібних матеріалів на висоту до 5 м.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Вертикальний шнек має невеликі габарити, розвантаження проводиться в будь-яку сторону.



Рис. 2.2. Завантажувач ЗСП-30

Завантаження насінневих матеріалів здійснюється в завантажувальні люки, які розміщені на даху завантажувача. Вивантаження насінневих матеріалів відбувається шнековим конвеєром. З'єднання горизонтального, вертикального і вивантажувального шнеків відбувається за допомогою кутових редукторів. Кожухи вертикального і вивантажувального шнеків виконані зі сталеві труби.

Завантажувач насіння і добрив ГРШ-300/4,5 (рис. 2.3.) складається з:

- кронштейна кріплення шнека (закріплений на лівому борту автомашини);
- завантажувального шнека;
- приймального бункера з вивантажним шнеком, оснащеного гідромотором (МГП-100, МГП-125, МГП-160);
- комплект гідро-обладнання;
- гідро-крани ЗВКНЛ16ЛК, німецького виробництва (Hansa Flex).

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		41



Рис. 2.2. Завантажувач ГРШ-300/4,5

Завантаження насіння і добрив в сівалку здійснюється за допомогою обертання шнека, що приводиться в рух гідромотором. Напрямок зсипання завантаженої маси регулюється рукавом, закріпленому на випускній трубі завантажувального шнека.



Рис. 2.3. Завантажувач ПЗС-30 ТПГ Агропром

Переваги гвинтових конвеєрів: простота пристрою; герметичність; простота технологічного обслуговування; невеликі габарити пристрою; зручність розвантаження. Недоліки гвинтових конвеєрів: висока енергоємність; пошкодження і подрібнення матеріалу; підвищений знос гвинта і жолоби; невелика довжина транспортування; чутливість до перевантажень, що призводить до утворення скупчення матеріалу всередині жолоба.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		42

## 2.2. Обґрунтування необхідності удосконалення конструкції універсального завантажувача.

Однією з причин низьких показників проростання насіння є високий рівень їх травмування за умов виконання навантажувально-розвантажувальних операцій гвинтовими транспортерами. Сумарний показник травмування зерна при збиранні, післязбиральній та передпосівній обробці може досягати 70 ... 90 %. Встановлено, що 10 % травмованих насінин знижують врожайність на 1 ... 2 ц/га [25].

Зернове виробництво поряд з основними технологічними процесами вимагає виконання великих обсягів транспортних і навантажувальних операцій. На одну тону виробленого і закупленого зерна припадає 7 ... 9 т вантажно-транспортних робіт. Підвищення якості насіння можливе за рахунок усунення механічних пошкоджень, що виникають під впливом транспортуючих робочих органів технологічних машин, які за своїми конструктивними особливостями і технологічними режимами робіт не відповідають повною мірою вимогам всієї сукупності фізико-механічних властивостей зерна [13; 16: 25: 27].

Універсальні завантажувачі насінневих матеріалів призначені для транспортування насінневих матеріалів і вивантаження їх у технологічне обладнання. Проте їх широке застосування у галузі рослинництва стримується саме застосуванням в конструкції машини шнекових робочих органів. Процес подачі насінневого матеріалу до сівалок повинен забезпечувати в необхідній кількості рівномірне безперервне надходження насіння за часом і рівномірне заповнення ширини технологічних бункерів. У універсального завантажувача насінневих матеріалів ПЗС-30 ТПГ Агропромяк і у його аналогів, ГРШ-300/4,5, таким робочим органом є вивантажувальний пристрій шнекового типу. Недоліком шнекових пристроїв є те, що вони значно травмують зерно [13; 16: 25: 27]. Однак причини травмування зерна істотно відрізняються, огляд та аналіз наукових джерел вказують на суттєві конструктивні та режимні фактори, що не враховувалися. Травмування насіння при транспортуванні є основним фактором,

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

що регламентується агротехнічними вимогами, та запобігає неякісному протіканню процесу переміщення у шнеках будь-якого типу [32].

В результаті огляду та аналізу теоретичних досліджень і пошукових дослідів, викладених у першому розділі дипломного проекту бакалавра, встановлено, що основний вплив на травмування зернового матеріалу здійснюють наступні фактори: матеріал із якого виготовлений виток гвинта шнека; частота обертання гвинтового робочого органу; величина зазору між витком та кожухом та кут нахилу вивантажувального пристрою [2; 6; 7; 32].

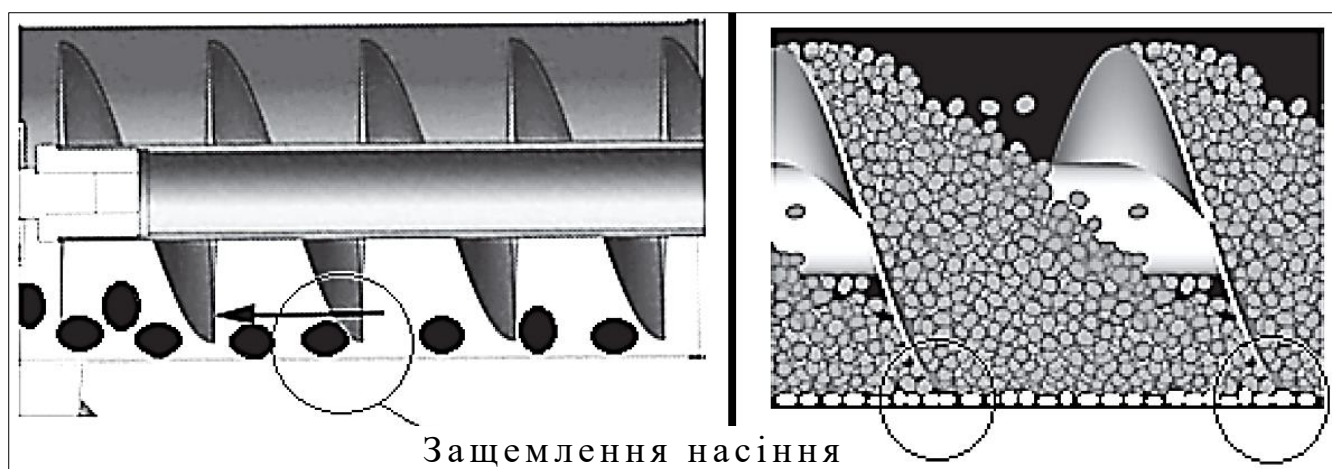


Рис. 2.4. Умови руйнування насінини в зазорі між гвинтовим робочим органом і кожухом шнекового транспортера

Вибір оптимальних режимів роботи гвинтових конвеєрів, раціональних конструктивних, кінематичних, технологічних і динамічних параметрів робочих органів, зміни величини зазорів між периферією шнека та поверхнею направляючого кожуха в залежності геометричних та реологічних параметрів сипкого матеріалу, застосування різних профілів зовнішніх кромek гвинтових поверхонь не у всіх випадках може в повній мірі вирішити дану проблему.

**Метою удосконалення універсального завантажувача насіннєвих матеріалів ЗС-30М як і його аналогів, ГРШ-300/4,5, ПЗС-30 ТПГ Агропроме розробка нової конструкції гвинтового робочого органу із секційною еластичною поверхнею для уникнення пошкодження насіннєвого матеріалу сільськогосподарських культур.**

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Для вирішення даної задачі запропоновано конструкцію еластичного шнекового робочого органу [14], який зображено на рис. 2.5.

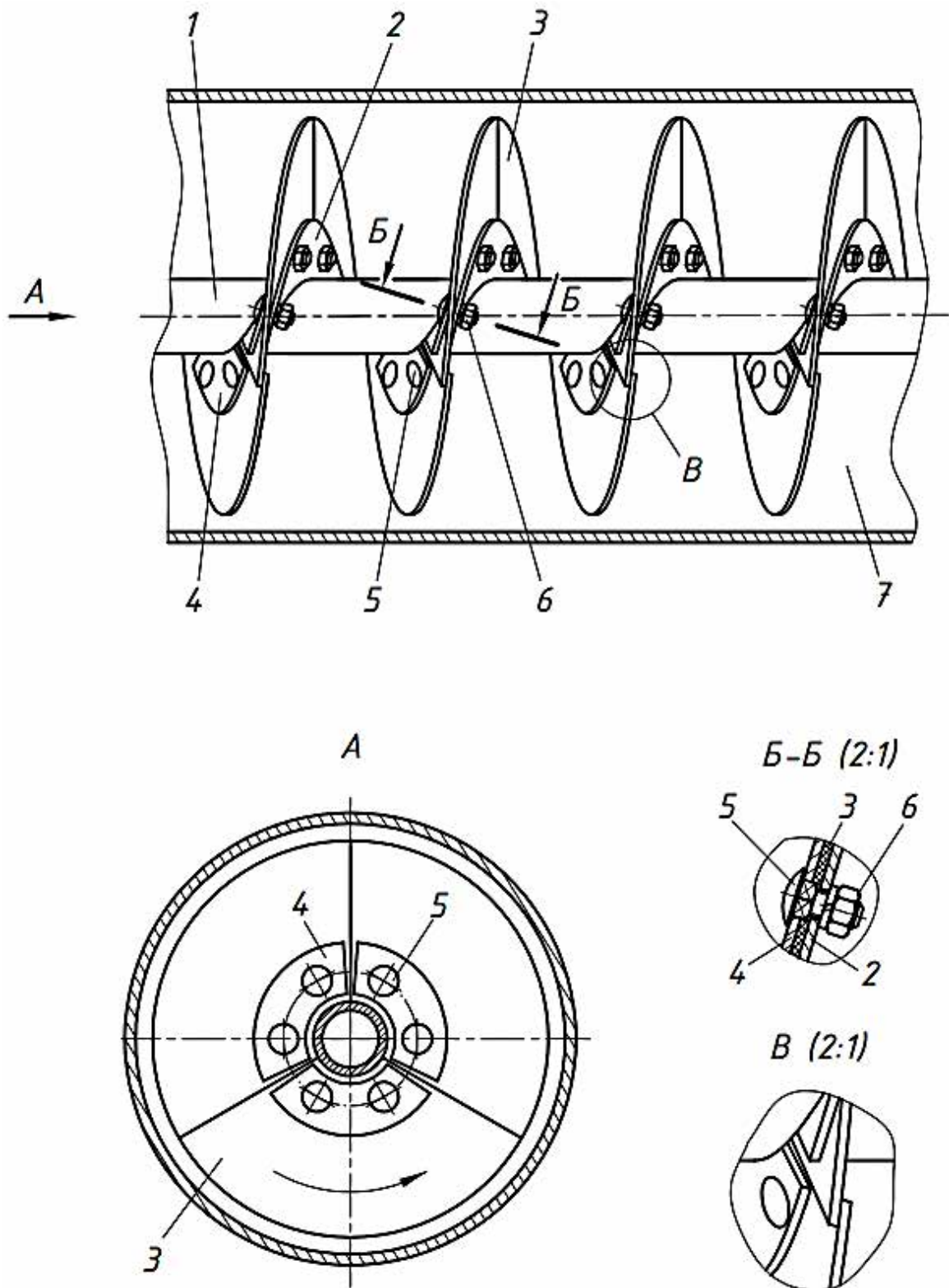


Рис. 2.5. Конструктивна схема шнекового робочого органу з еластичними пелюстками

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Він містить вал 1, на якому встановлена смугова гвинтова спіраль 2, до якої за допомогою секційних пластин 4, а також болтових з'єднань з напівкруглими головками 5 та гайок 6 закріплені окремі еластичні пелюстки (пластин) 3.

Суміжні пелюстки розташовані між собою з перекриттям (вид В). При транспортуванні, матеріал плавно сходить з одного пелюстка на інший, а у випадку попадання більших частинок між внутрішньою нерухомою поверхнею направляючого кожуха та поверхнею еластичного шнека, пелюстки прогинаються, що забезпечує уникнення пошкодження насіннєвого матеріалу.

Необхідною умовою процесу заклинювання є наявність величини щілини між лопаттю та внутрішньою поверхнею кожуха більшої за половину характерного розміру насінини (її меншої осі еліпсоїда). У цьому випадку одна із складових зусилля від ребра лопаті діятиме на зернину у напрямку внутрішньої поверхні кожуха. Пошкодження насінини під час заклинювання в основному визначається зусиллям, що діє на неї та контактними напруженнями, які впливають на руйнування поверхневого шару. Для посівного матеріалу з різним значенням співвідношення осей еліпсоїда ймовірність заклинювання буде більшою для відносно довгих зернин, а для зернин сферичної форми ймовірність заклинювання буде меншою. В процесі транспортування насіннєвих матеріалів в направляючому кожуху 7 вони взаємодіють з робочою еластичною гвинтовою поверхнею. У випадку попадання та защемлення насінини між нерухомою поверхнею кожуха та обертовою еластичною гвинтовою поверхнею розрізні пелюстки прогинаються, що забезпечує уникнення пошкодження насіння.

За результатами проведеного аналізу джерел науково-технічної інформації (список використаних джерел сторінки 73-75) стосовно проблем означених у дипломному проекті бакалавра можна зробити висновок, що зусилля, які діють зернину достатньо помірні, при використанні у якості лопаті відносно м'яких матеріалів з малим модулем пружності, що зменшує ймовірність пошкодження насіннєвого матеріалу робочими органами завантажувачів сівалок.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

### 2.3. Розрахунок експлуатаційних параметрів шнекових робочих органів із еластичною поверхнею

Завантаження посівного матеріалу у ЗС-30М-1 як і у його аналогів, ЗСП-30, ГРШ-300/4,5, ПЗС-30 ТПГ Агропром здійснюється в завантажувальні люки, що розміщені на даху бункера завантажувача. В подальшому, для переміщення насіння у горизонтальному, вертикальному та похилому напрямках (див. рисунок 2.3 на сторінці 39 дипломного проекту бакалавра), із наступним переміщенням у бункери для насіння посівних машин, використовуються шнеки.

Вивантаження зернового насінневого матеріалу відбувається шнековим конвеєром, привід якого здійснюється від коробки відбору потужності автомобіля чи трактора. Шнековий конвеєр складається із горизонтального, вертикального і вивантажувального шнеків, з'єднаних між собою кутовими редукторами.

Переваги шнекових робочих органів, простота конструкції; наявність герметичного кожуха, який виключає втрати насінневого матеріалу.

Вертикальні і круто-похилі гвинтові транспортери призначені для переміщення знизу вгору в основному сипких вантажів. Вони відносяться до групи швидкохідних гвинтових транспортерів. Їх недолік, перш за все — великі питомі витрати енергії на одиницю продукту, який транспортується (на 50 ... 100% більші, ніж у транспортерів інших типів), внаслідок підвищеного тертя продукту до стінок жолоба та поверхні гвинта, а також опору матеріалу, який переміщується.

Конструктивне оформлення шнекових насінне-вивантажувальних пристроїв може бути різним, розташування шнеків — горизонтальне, похиле та вертикальне.

Вивантажувальний механізм універсального завантажувача насінневих матеріалів ЗСП-30 та їх аналоги на автомобільних шасі ще має поворотні шнеки, а також кілька взаємно пов'язаних шнеків, наприклад вертикальний і поворотний

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

зі змінним кутом нахилу. Вивантажувальні пристрої останнього типу піднімають зерновий матеріал на висоту до 6,5 м (рис. 2.6).

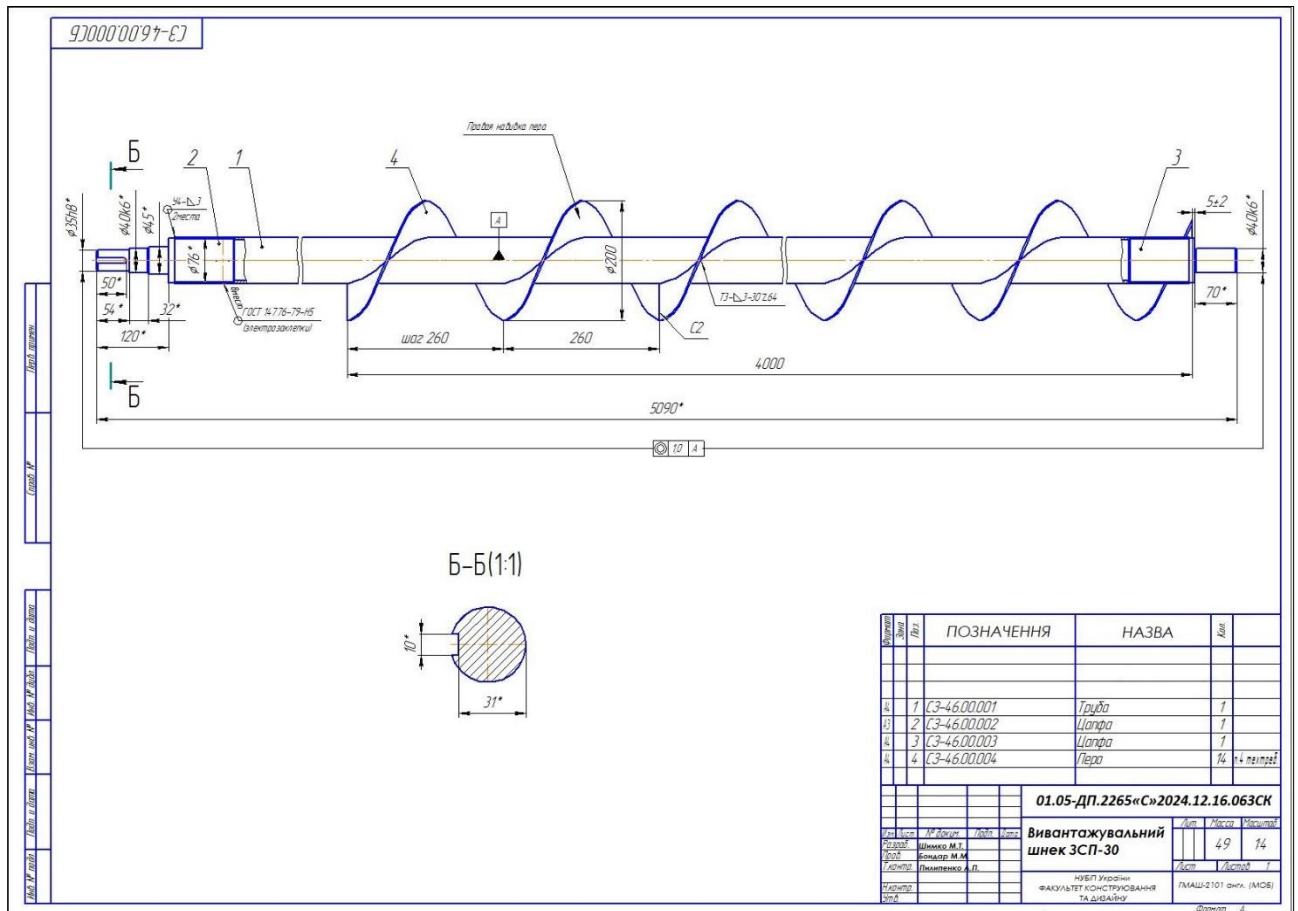


Рис. 2.6. Вивантажувальний шнек ЗСП-30

Розглянемо вертикальний гвинтовий транспортер. Принцип його дії полягає у наступному: вантаж, що поступив на гвинтову поверхню шнека, що знаходиться в кожусі, притискується (під дією відцентрової сили) до внутрішньої поверхні кожуха і, пригальмовуючи, ковзає по шнеку і кожуху, переміщуючись вгору.

Зовнішня поверхня шару насінневого матеріалу, що знаходиться в кожусі шнека з еластичними накладками, рухається з швидкістю  $v_a$  по гвинтовій лінії, що має кут підйому  $\varepsilon$  (рис.2.7 і рис.2.8).

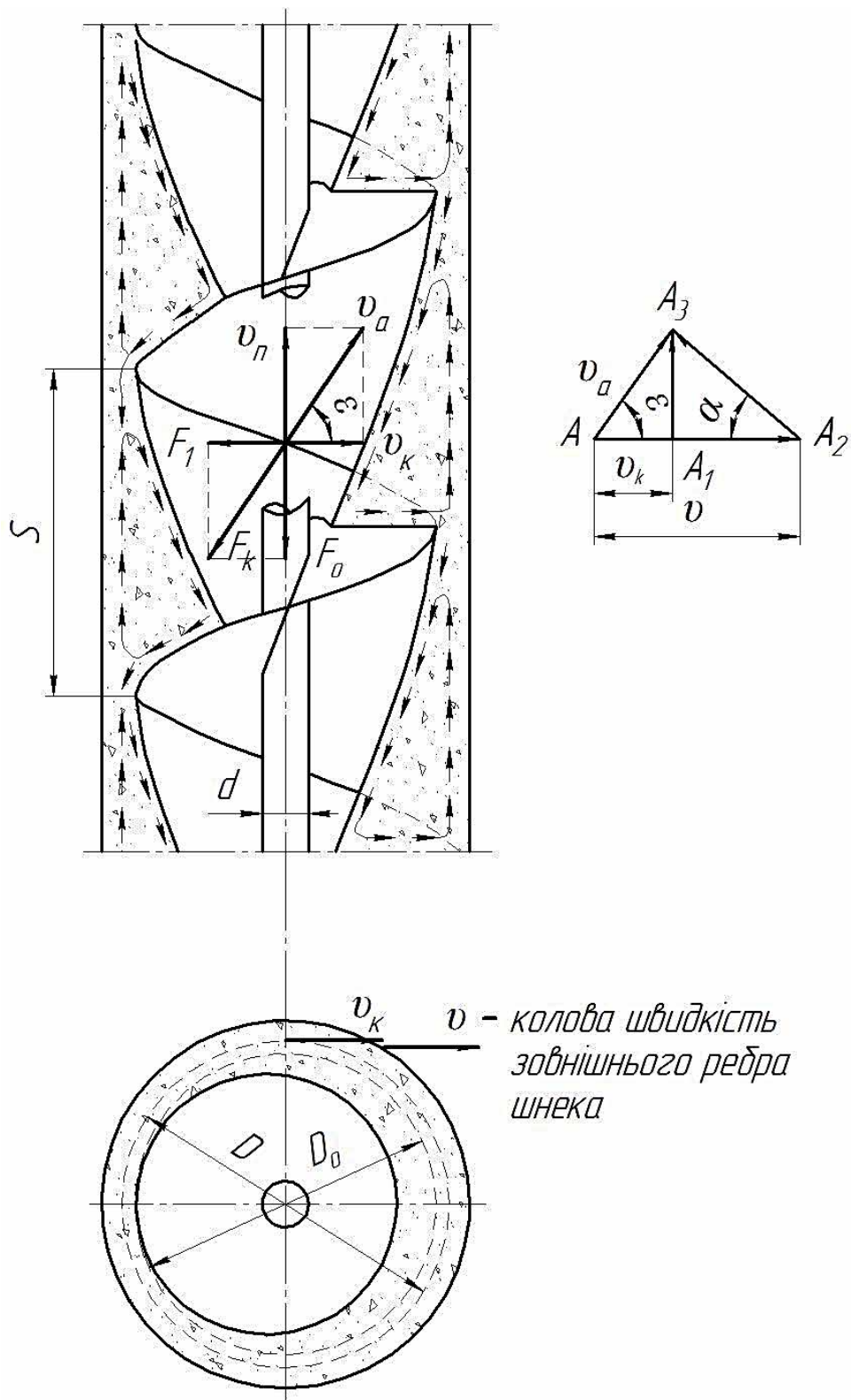


Рис. 2.7. Схема сил, що діють на насіннєвий матеріал, що рухається вертикальною частиною гвинтового конвеєра ЗС-30М

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		49

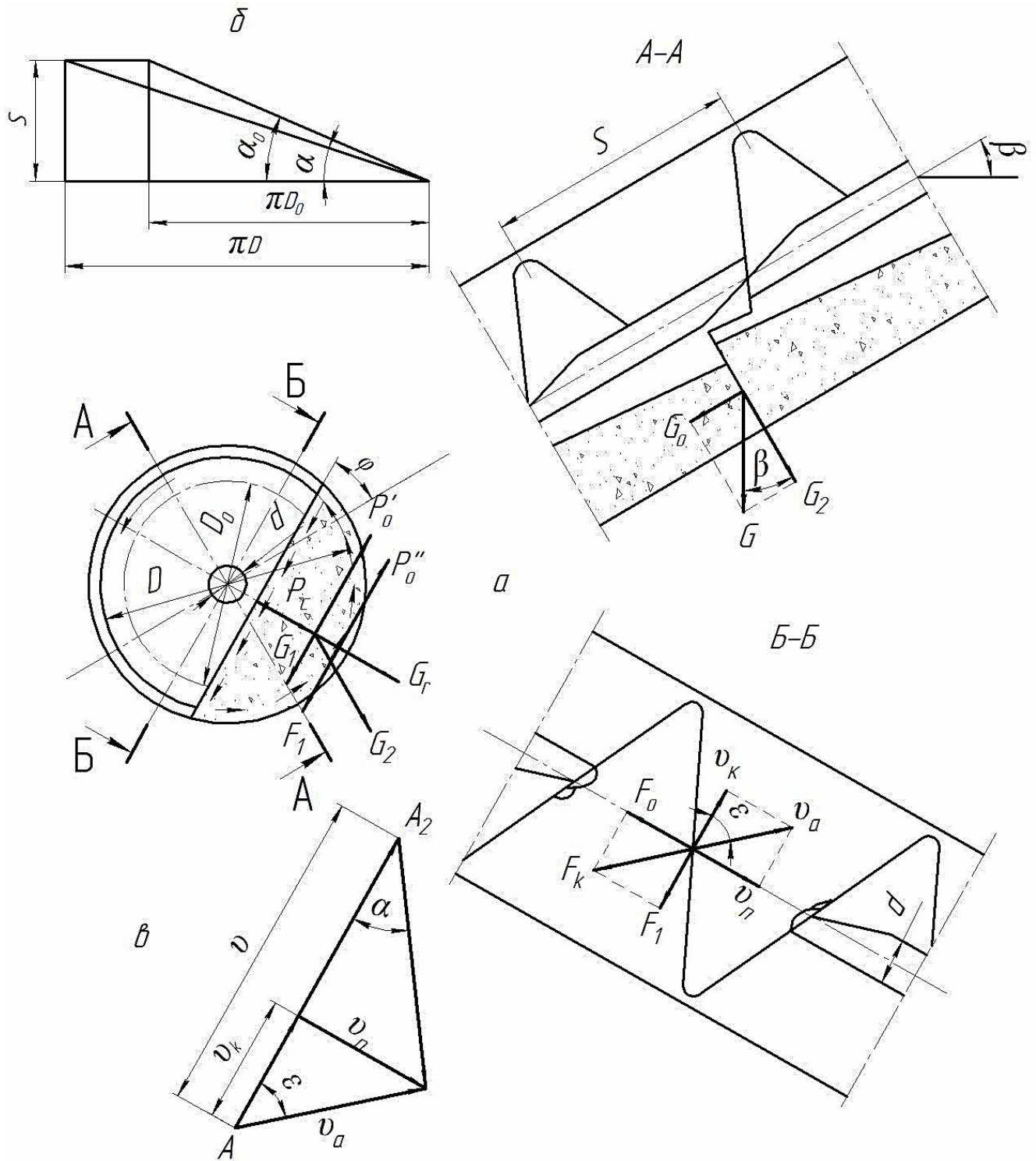


Рисунок 2.8. Схема сил, що діють на насінний матеріал, що рухається круто-похилою частиною гвинтового конвеєра ЗС-30М

Залежність між швидкостями  $v_k$ ,  $v_a$ , і  $v_{\Pi}$  виявлятиметься наступними рівняннями (див. рис. 2.7 і рис.2.8).

$$v_k = v_{\Pi} \cot \varepsilon \quad (2.1)$$

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

$$v_a = \frac{v_{\Pi}}{\cos \varepsilon} ; \quad (2.2)$$

де  $\varepsilon$  — кут нахилу траєкторії абсолютного переміщення насінневого матеріалу до твірної циліндричного кожуха шнека з еластичними накладками.

У вертикальних гвинтових конвеєрах насінневий матеріал, що потрапив у кожух шнека з еластичними накладками, утворює шар з кільцевим перерізом і лійкоподібним вільним простором всередині, який обертаючись, рухається вгору до розвантажувального патрубку: деяка частина насінневого матеріалу сповзає вниз по вільній поверхні шару.

У похилих гвинтових конвеєрах насінневий матеріал розміщується шаром із сегментним поперечним перерізом, який повертається в бік обертання шнека з еластичними накладками на кут  $\varphi$ ; при куті  $\varphi$ , що дорівнює куту природного ухилу насінневого матеріалу (в русі), частинки, що лежать на вільній поверхні шару, почнуть сповзати (обвалюватись) впоперек вільної поверхні шару, а тому буде неповний безперервний коловий рух шару насінневого матеріалу; крім цього, шар насінневого матеріалу (в цілому) буде рухатися вдовж кожуха шнека з еластичними накладками до розвантажувального патрубка.

Швидкість і траєкторія руху шару насінневого матеріалу, що знаходиться в кожусі шнека з еластичними накладками, залежить: від розмірів шнека і кута нахилу його до горизонту; від сили тяжіння насінневого матеріалу і відцентрових сил; від коефіцієнтів зовнішнього і внутрішнього тертя насінневого матеріалу і кута його природного укоосу; від діаметра шнека з еластичними накладками і кутів підйому гвинтової поверхні шнека.

Рух шару насінневого матеріалу, що знаходиться в кожусі шнека з еластичними накладками, будемо вважати рівномірним і таким, що підлягає закономірностям руху матеріальної точки. Це можна припустити при умові, що коефіцієнт зовнішнього тертя маси насінневого матеріалу об кожух шнека менший від коефіцієнта внутрішнього тертя.

Для визначення швидкості обертання шнека з еластичними накладками треба побудувати графік швидкостей (рис. 2.7 і 2.8).

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Розглядаючи на графіку трикутники  $\Delta A_1 A_2 A_3$  та  $\Delta A_1 A_2 A_3$ , одержимо:

$$v = v_n (\cot \alpha + \cot \varepsilon), \text{ м/с}; \quad (2.3)$$

де  $v$  — колова швидкість зовнішньої кромки шнека з еластичними накладками.

Кутові швидкості шнека і шару насіннєвого матеріалу визначаються за формулами:

$$\omega = \frac{2v}{D}, \text{ рад./с}; \quad (2.4)$$

$$\omega_B = \frac{2v_k}{D}, \text{ рад./с}. \quad (2.5)$$

Кутова швидкість шару насіннєвого матеріалу —  $\omega_B$  звичайно менша від кутової швидкості вала конвеєра —  $\omega$ , і тому насіннєвий матеріал пересувається вздовж кожуха шнека з еластичними накладками.

Число обертів шнека з еластичними накладками, необхідне для забезпечення обраної раніше продуктивності, буде:

$$n = \frac{60v}{\pi D}, \text{ рад./с}. \quad (2.5)$$

Початкові дані для розрахунків:

- 1) продуктивність  $Q = 4,67 \text{ кг/с}$ ; (табл.2.1)
- 2) висота підйому вантажу  $H = 6,5 \text{ м}$ . (табл.2.1)

Приймаємо:

- 3) об'ємна вага вантажу [27]  $\gamma = 0,75 \text{ т/м}^3$ ;
- 4) коефіцієнт тертя вантажу по сталі  $f = 0,36$ ;
- 5) коефіцієнт заповнення  $\psi = 0,45$ ;
- 6) зовнішній діаметр шнека  $D = 200 \text{ мм}$ ;
- 7) діаметр валу шнека  $d = 50 \text{ мм}$ ;
- 8) кут природного ухилу (в спокої)  $\varphi = 35^\circ$ ;
- 9) кут тертя вантажу по сталі  $f = \tan \rho$ , звідки  $\rho = 19^\circ 50'$ ;
- 10) крок шнека  $S = 1,1 \cdot D = 1,1 \cdot 200 = 220 \text{ мм}$ ;

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

11) коефіцієнт який враховує висипання вантажу через зазори між зовнішнім ребром шнека і кожухом  $C_0 = 0,9$ .

1. Знаходимо швидкість підйому вантажу за обраною продуктивністю:

$$v_{\Pi} = \frac{4Q}{\pi(D^2 + d^2)\psi\gamma C_0} =$$

$$= \frac{4 \cdot 4,67}{3,14 \cdot (0,2^2 + 0,05^2) \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot 750} = 0,464 \text{ м/с}.$$

2. Кути підйому гвинтової поверхні шнека за зовнішньою кромкою, за внутрішньою кромкою (по валу) і за середнім діаметром:

$$\tan \alpha = \frac{S}{\pi D} = \frac{220}{3,14 \cdot 200} = 0,35; \rightarrow \alpha = 19^\circ 20';$$

$$\tan \alpha = \frac{S}{\pi D} = \frac{220}{3,14 \cdot (200 \cdot 0,75)} = 0,467; \rightarrow \alpha = 25^\circ 03'.$$

3. Визначаємо наближено кут нахилу траєкторії абсолютного переміщення вантажу до твірної циліндричного кожуха шнека по формулі [27]:

$$\cot \varepsilon \approx \sqrt{\frac{Dg}{2f_2 v_{\Pi}^2} \left[ \frac{\sin \beta \cdot \tan(\alpha_0 + \rho_1) - \cos \beta \cdot \sin \varphi}{\tan(\alpha + \rho_1)} - \frac{f_2 \cdot \cos \beta \cdot \cos \varphi}{c} \right]} =$$

$$\sqrt{\frac{0,2 \cdot 9,8}{2 \cdot 0,36 \cdot (1,67)^2} \left[ \frac{1 \cdot \tan(25,03 + 19,5)}{\tan(19,2 + 19,5)} \right]} = \sqrt{0,98 \cdot 1,22} = 1,09.$$

Отже,  $\varepsilon \approx 42^\circ 5'$ ;

4. Фактична колова швидкість зовнішньої кромки шнека:

$$v = v_{\Pi} (\cot \alpha + \cot \varepsilon) = 0,464 \cdot (2,9 + 1,09) = 1,851 \text{ м/с}.$$

5. Фактичне число обертів і кутова швидкість шнека:

$$n = \frac{60v}{\pi D} = \frac{60 \cdot 1,851}{3,14 \cdot 0,2} = 176,839 \text{ об/хв};$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 176,839}{30} = 18,51 \text{ с}^{-1}.$$

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

6. Швидкість обертання і кутова швидкість вантажу:

$$v_k = v_{\Pi} \cot \varepsilon = 0,464 \cdot 1,09 = 0,506 \text{ м/с ;}$$

$$\omega_B = \frac{2v_k}{D} = \frac{2 \cdot 0,506}{0,2} = 5,06 \text{ с}^{-1} .$$

7. Швидкість абсолютного переміщення вантажу:

$$v_a = \frac{v_{\Pi}}{\cos \varepsilon} = \frac{0,464}{0,737} = 0,63 \text{ м/с .}$$

8. Визначаємо погонну масу вантажу на довжині переміщення:

$$q_B = \frac{Q}{v_{\Pi}} = \frac{4,67}{0,464} = 10,065 \text{ кг/м .}$$

9. Визначаємо величину маси, припускаючи, що пуск транспортера відбувається під навантаженням, тобто при заповнених вантажем міжвиткових проміжках шнека, що може бути після раптової зупинки шнека в період переміщення вантажу:

$$m = q_B \cdot L = 10,065 \cdot 6 = 60,4 \text{ кг .}$$

10. Визначаємо силу інерції  $P_i$ , що виникає в період пуску конвеєра:

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{n \cdot Q \cdot L \cdot v_a}{60v_{\Pi}} = \\ &= \frac{176,839 \cdot 4,67 \cdot 6 \cdot 0,63}{60 \cdot 0,464} = \frac{64887,49}{100,2} = 112,13 \text{ Н.} \end{aligned}$$

11. Визначаємо потужність, необхідну для переборювання сил інерції, що виникають в період пуску:

$$N_1 = P_i \cdot v_a = 112,13 \cdot 0,63 = 70,65 \text{ Вт.}$$

12. Визначаємо потужність, необхідну для переборювання тертя шару вантажу по внутрішній поверхні кожуха шнека. Для цього знаходимо силу тертя  $F_k$ . Коефіцієнт тертя шару вантажу об внутрішню поверхню кожуха шнека (в стані руху),  $f_2$  обираємо з довідкової літератури і приймаємо  $f_2 = 0,31$ .

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

$$F_k = f_2 \cdot m \left( \frac{2C \cdot v_{\Pi} \cdot (\cot \varepsilon)^2}{D} + g \cos \beta \cdot \cos \varphi \right) =$$

$$= 0,31 \cdot 60,4 \left( \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 0,464 \cdot 1,19}{0,2} \right) = 93,05 \text{ Н.}$$

Отже,  $N_2 = F_k \cdot v_a = 93,05 \cdot 0,63 = 58,62 \text{ Вт.}$

13. Визначаємо потужність на підйом вантажу і на переборювання тертя його по гвинтовій поверхні:

$$N_3 = \frac{P'_0 \cdot (\omega - \omega_B) \cdot D_0 + P''_0 \cdot (\omega - \omega_B) \cdot D}{2}, \text{ Вт;}$$

$$P'_0 = G \sin \beta \tan(\alpha_0 + \rho_1) =$$

$$= 60,4 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot \tan(25,03 + 19,5) = 582,287 \text{ Н;}$$

$$P''_0 = F_k \sin \varepsilon \tan(\alpha_0 + \rho_1) =$$

$$= 93,05 \cdot 0,675 \cdot \tan(25,03 + 19,5) = 61,78 \text{ Н;}$$

$$\omega = 18,51 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_B = 5,06 \text{ с}^{-1};$$

$$N_3 = \frac{582,287 \cdot (18,51 - 5,06) \cdot 0,15 + 61,78 \cdot (18,51 - 5,06) \cdot 0,2}{2} = 670,476 \text{ Вт;}$$

14. Визначаємо потужність на валу шнека:

$$N_0 = \frac{(N_1 + N_2 + N_3)k_0}{\eta_{\Pi}} =$$

$$= \frac{(70,65 + 58,62 + 670,476) \cdot 1,2}{0,99^3} = 989,071 \text{ Вт.}$$

(два радіальні кулькові підшипники і один кульковий упорний).

15. Визначаємо необхідну потужність приводу:

$$(\eta_T = 0,85; \quad k = 1,25)$$

$$N = k \frac{N_0}{\eta_T} = 1,25 \frac{989,071}{0,85} = 1454,517 \text{ Вт.}$$

Приймаємо потужність приводу 2 кВт.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

## 2.5. Розрахунок на міцність удосконалених деталей.

Відповідно до завдання дипломного проекту бакалавра для розрахунку на міцність обираємо вивантажувальний конвеєр універсального завантажувача насінневих матеріалів ЗС-30М з удосконаленим гвинтовим конвеєром обладнаним шнеками з еластичною поверхнею (рис. 2.9). Вивантажувальний конвеєр представляє собою трубу — кожух гвинтового конвеєра довжиною 4,5 м із зовнішнім діаметром 0,20 м і внутрішнім 0,19 м. В середині кожуха знаходиться шнек з еластичною поверхнею та відповідно насінневий матеріал, що вивантажується у посівні машини через вивантажувальну направляючу.



Рис. 2.9. Загальний вигляд кожуха універсального завантажувача насінневих матеріалів ЗС-30М

Вивантажувальний гвинтовий конвеєр (ВГК) закріплений через проміжний редуктор до вертикального гвинтового конвеєра та корпусу бункера, крім того з бункером ВГК має кріплення із підйомним механізмом через важіль та гідроциліндр.

Для спрощення розрахунку обираємо складніші умови роботи завантажувача та вважаємо, що ВГК представляє собою консольну балку із розподіленим навантаженням. В поняття — розподілене навантаження входить три складові, це — вага насінневого матеріалу, ще вага шнека

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

із підшипниковими вузлами, кріпленням та вивантажувальною направляючою а також сам кожух ВГК. Все це представляємо схемою відображеною на рисунку 2.10 а).

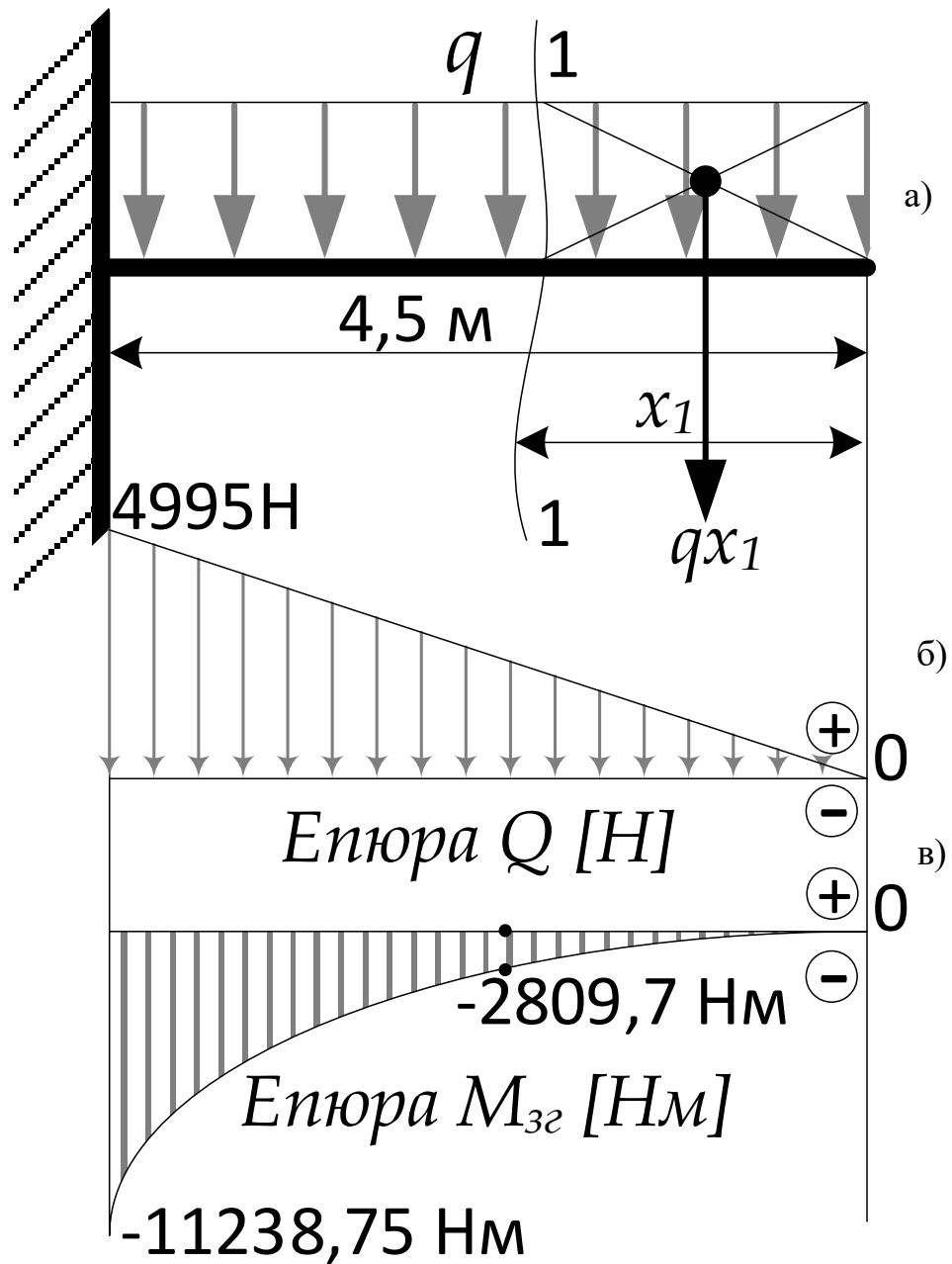


Рис. 2.10. Епюри поперечних сил та згинаючих моментів при розрахунку на міцність вивантажувального гвинтового конвеєра універсального завантажувача насінневих матеріалів 3С-30М на автомобільних шасі

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		57

Початкові дані для розрахунків:

$q_1$  — вага насіннєвого матеріалу, що знаходиться у ВГК;

$$q_1 = 604 \text{ Н};$$

$q_2$  — вага шнека з еластичною поверхнею ВГК;

$$q_2 = 202 \text{ Н};$$

$q_3$  — вага кожуху ВГК;

$$q_3 = 304 \text{ Н};$$

$q$  — вага ВГК;

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = 604 + 202 + 304 = 1110 \text{ Н};$$

$l$  — довжина ВГК;

$$l = 4,5 \text{ м};$$

Розподілене завантаження заміняємо зосередженою силою  $Q$ ;

$$Q = q \cdot l = 1110 \cdot 4,5 = 4995 \text{ Нм};$$

Проводимо переріз 1-1 та визначаємо внутрішні поперечні сили та згинаючий момент:

ділянка 1-1,  $0 \leq x_1 \leq 4,5$ ;

$$Q_1 = qx_1;$$

$$Q'_1 = 0;$$

$$Q''_1 = 1110 \cdot 4,5 = 4995 \text{ Нм}.$$

$$M_{зг1} = -q \cdot x_1 \frac{x_x}{2};$$

$$M_{зг1'(x_1=0)} = 0;$$

$$M_{зг1''(x_2=2,25)} = -1110 \cdot 2,25 \frac{2,25}{2} = -2809,7 \text{ Нм};$$

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		58

$$M_{зг}'''_{1(x_3=4,5)} = -1110 \cdot 4,5 \frac{4,5}{2} = -11238,75 \text{ Нм};$$

Будуємо епюри поперечних сил та згинаючих моментів (рис. 2.10 б) і в).

Поперечний переріз кожуха ВГК — кільце (рис. 2.11).

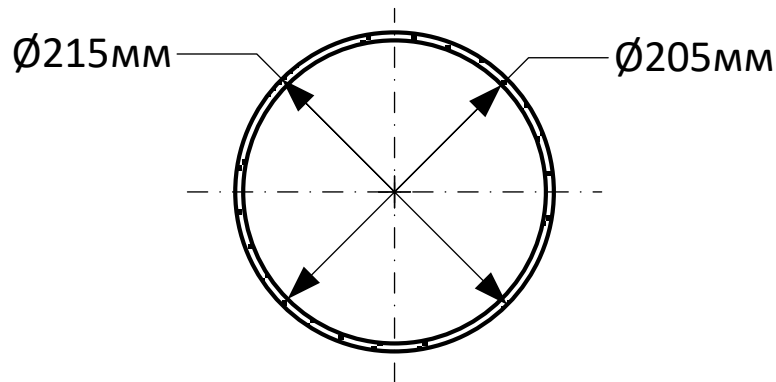


Рис. 2.11. Схема поперечного перерізу кожуха ВГК

$D$  — зовнішній діаметр кожуха ВГК,  $D = 215 \text{ мм}$ .

$d$  — внутрішній діаметр кожуха ВГК,  $d = 205 \text{ мм}$ .

Розраховуємо міцність кожуха ВГК за формулою:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг. max}}{W_x} \leq [\sigma];$$

де  $[\sigma]$  — допустиме значення напруження, для сталі 3,  $[\sigma_{зг}] = 160 \text{ МПа}$ ;

$W_x$  — момент опору при згині.

Для трубчастого перерізу момент опору при згині:

$$W_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{3,14(215^4 - 205^4)}{32 \cdot 215} = 1,47 \cdot 10^5 \text{ мм}^3.$$

$M_{зг. max}$  — максимальний згинаючий момент, беремо значення із епюри згинаючих моментів (рис. 2.10 в):

$$M_{зг. max} = 11238,75 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

$$\sigma_{зг} = \frac{11238,75 \cdot 10^3}{1,47 \cdot 10^5} = 76,45 \text{ МПа} \leq [\sigma_{зг}] = 160 \text{ МПа}.$$

Умова міцності витримана.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		59

## 2.5. Спосіб виготовлення шнекового робочого органу адаптованого для його кріплення з еластичними накладками.

Відомі конструкції шнеків з еластичною навивкою, у яких після навивання та калібрування спіралей здійснюється кріплення периферійних еластичних накладок [12].

Недоліком таких конструкцій шнеків з еластичною навивкою є складність його виготовлення та сам процес кріплення еластичних пластин до периферійної поверхні гвинтового ребра.

Також, відомий спосіб виготовлення шнека, який полягає у тому, що спочатку відбувається навивання спіралі на ребро з подальшим калібруванням та кріпленням до вала [33].

Недоліком такого способу є складність подальшого виготовлення шнека з еластичною навивкою та сам процес кріплення еластичних пластин до периферійної поверхні гвинтового ребра.

В основу пропонованого у дипломному проекті бакалавра рішення взято варіант захищений патентом на корисну модель [29] де поставлена задача вдосконалення способу виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею вирішується шляхом стискання спіралі із смуги відомими способами та одночасного свердління отворів для кріплення еластичних накладок, що дозволяє значно спростити процес виготовлення шнека та кріплення еластичних накладок.

Означена вище, технологія реалізована тим, що спосіб виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею, що включає процес навивання, калібрування смугової спіралі та кріплення її до валу, згідно з корисною моделлю, спочатку спіраль навивається зі смуги на ребро, витки котрої контактують одні з одними, яка далі встановлюється на оправку і стискається за допомогою втулок, на поверхнях яких виконано один виток з кроком, рівним товщині спіралі, та гвинтового з'єднання, після чого відбувається свердління отворів по периферії витків спіралі, а далі після калібрування спіралі на заданий крок та закріплення

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

Її до вала за допомогою виготовлених отворів здійснюють кріплення еластичних накладок, робоча поверхня яких виступає над периферійною кромкою смугової спіралі.

Основною вимогою, яка висувається до еластичних накладок, є забезпечення мінімального коефіцієнта тертя робочої поверхні та гарантованого транспортування матеріалу. Однак якщо частинка матеріалу (наприклад насінина) попадає і заклинюється в зазорі між периферійною поверхнею еластичної накладки і напрямною трубою, то еластична накладка, прогинаючись, повинна вивільнити частину матеріалу із зазору без її пошкодження.

Послідовність технологічних операцій для виготовлення шнека із зовнішньою еластичною гвинтовою поверхнею є наступною (рис. 2.12).

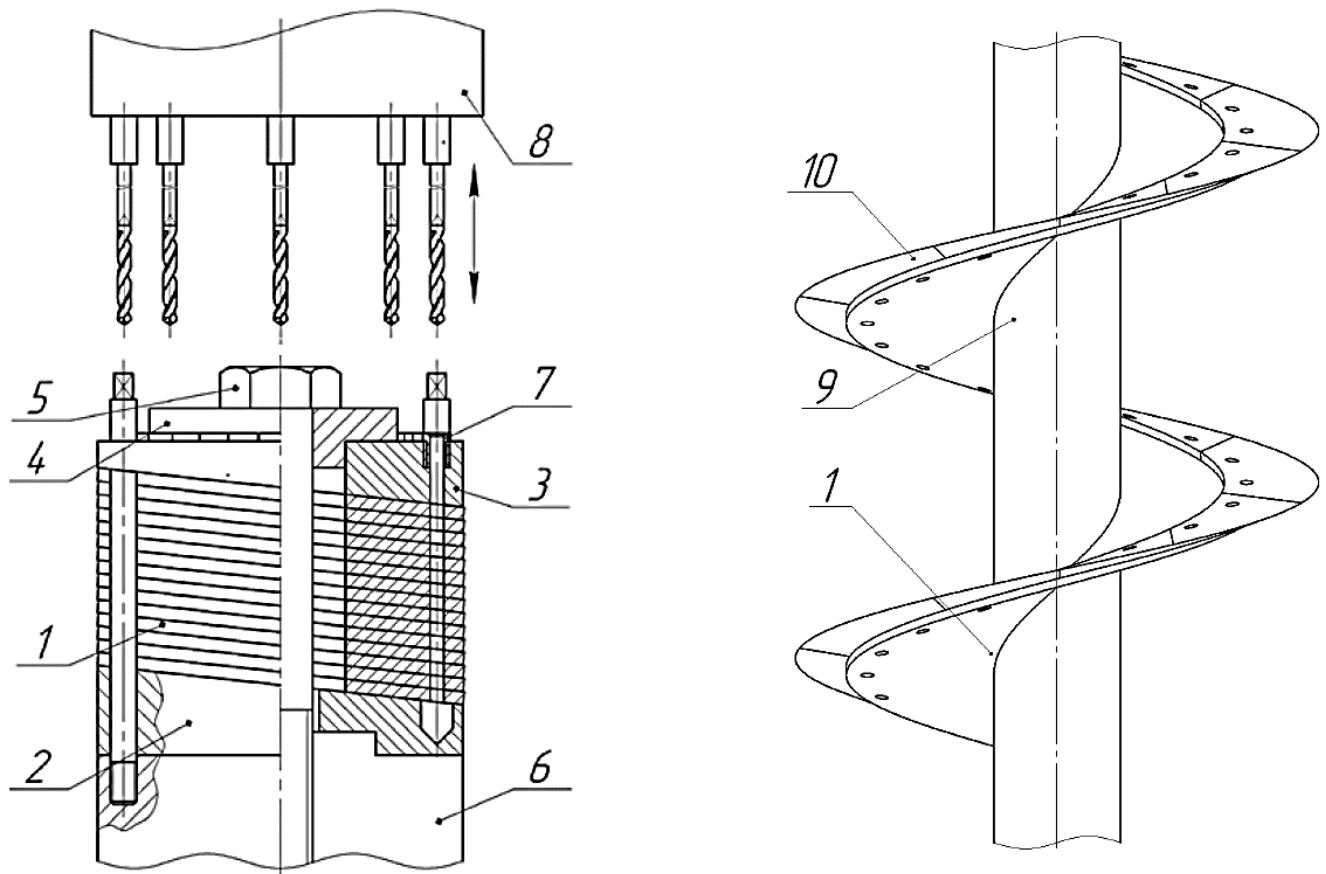


Рис. 2.12. Послідовність технологічних операцій та для виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		61

Попередньо навивали металеву смугову спіраль 1, витки котрої контактують одні з одними [14; 17; 18]. Далі навіта на ребро спіраль 1, встановлювалась в кондуктор 2 (рис.2.13), на якій виконано один виток з кроком рівним товщині спіралі.



Рис. 2.13. Кондуктор для свердління спіралі шнека, що навіта на ребро

Аналогічна втулка 3 розташовується у верхній частині спіралі. Після цього витки спіралі за допомогою ступінчатої втулки 4 і центрального гвинта 5, який вкручується в основу оправки 6, максимально стискаються між собою. На зовнішній поверхні втулки 3 рівномірно в коловому напрямку по периферії витків спіралі виконано наскрізні отвори, в яких встановлені кондукторні втулки 7. Далі, за допомогою свердлильної головки 8 відбувається одночасне свердління декількох (або всіх) отворів по периферії витків спіралі [14].

Наступною технологічною операцією виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею є калібрування смугової спіралі на заданий крок, яка в подальшому жорстко кріпиться на валу 9. До пари отворів на спіралі кріпляться (наприклад за допомогою болтових з'єднань із заокругленими

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

головками) еластичні накладки, які можуть мати різну конструкцію периферійної поверхні (заокруглену, клиноподібну).

Загальний вигляд навитої на ребро спіралі з виконаними отворами зображено на рис.2.14.



Рис. 2.14. Загальний вигляд навитої на ребро спіралі з виконаними отворами

Основною вимогою, яка висувається до еластичних накладок є забезпечення мінімального коефіцієнту тертя робочої поверхні та гарантованого транспортування насінневого матеріалу, який виключатиме різкий перехід матеріалу з суцільної металевої спіралі на еластичні накладки.

Далі здійснюється калібрування спіралі шнека на вал (рис.2.15).

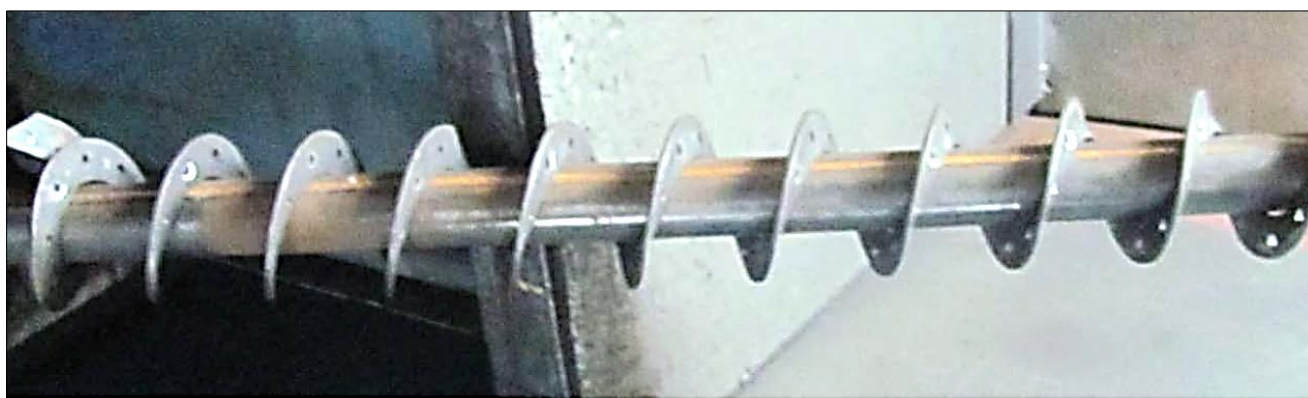


Рис.2.15. Калібрування спіралі на вал

В подальшому до отворів жорсткої несучої спіралі механічно кріпиться робоча еластична спіраль (рис.2.16) або її секції (рис.2.17) в залежності

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		63

від геометричних та реологічних параметрів транспортованого насінневого матеріалу, згідно опису різних варіантів виконання еластичних секцій, які наведені в розділі 1.

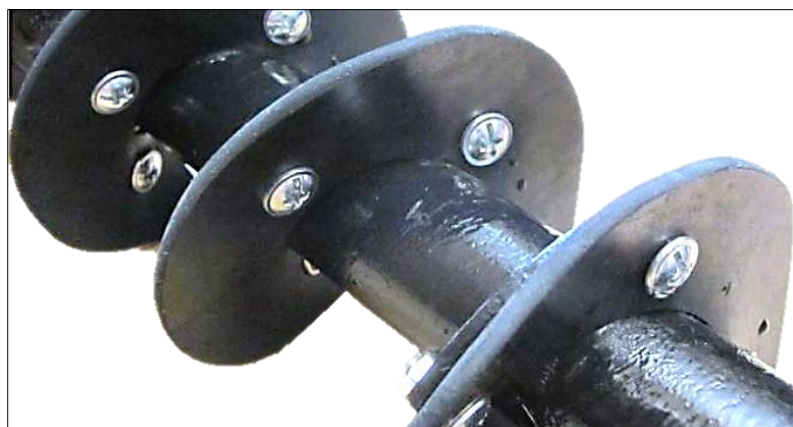


Рис. 2.16. Суцільна гумова еластична спіраль, що закріплена на жорсткому гвинтовому ребрі



Рис. 2.17. Секційна еластична спіраль (матеріал «поліуретан PU-60»), що закріплена на жорсткому гвинтовому ребрі

Таким чином запропоноване технічне рішення дозволяє значно спростити та покращити процес виготовлення шнеків з еластичною гвинтовою поверхнею. Разом з тим конструкція шнека з еластичними гвинтовими поверхнями дозволяє зменшити пошкодження насінневого матеріалу при транспортуванні та завантаженні сівалок у технологічних процесах рослинництва.


					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		64

### РОЗДІЛ 3

## ОХОРОНА ПРАЦІ

У сільському господарстві, як ні у жодній іншій галузі економіки України, проблеми охорони праці найбільш дотичні до сфери забезпечення життя і здоров'я працівників села. Сучасні механізовані виробничі процеси із застосуванням високоенергетичної сільськогосподарської техніки потрібно розглядати як виконання робіт за небезпечних умов, адже дуже часто механізатор залишається наодинці з машино-тракторним агрегатом, що є джерелом багатьох небезпек, що можуть у будь-який момент спровокувати працівника на виконання дій, які не відповідають нормативам безпеки праці. Навіть робота на сучасній вітчизняній або іноземній сільськогосподарській техніці може призвести до аварійних ситуацій та травмування працівників через можливі конструкційні (щодо безпеки персоналу та надійності обладнання) недоліки, організаційні прорахунки керівників господарств у виконанні технологічних процесів, низький рівень навчання та засвоєння працівниками безпечних методів роботи. Серед професій сільськогосподарського виробництва найнебезпечнішою залишається професія механізатора (тракториста-машиніста), адже ресурс наявного в Україні машинно-тракторного парку, здебільшого сформованого ще за часів колгоспів і радгоспів, за багатьма оцінками технічного стану майже вичерпаний.

Ця оцінка стосується не стільки великих сільськогосподарських підприємств, що інколи мають можливість залучати нову, наприклад придбану за умов лізингу, іноземну техніку, а більшості орендних чи фермерських господарств, що продовжують експлуатувати сільськогосподарські машини, виготовлені 15-20 років тому і більше.

					<b>01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ</b>					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	<b>РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ</b>					
Розробив	Шимко М. Т.			23.05.25				Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Бондар М. М.			23.05.25				У	65	4
Перевіри								НУБіП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Н. контр.	Пилипенко А. П.			23.05.25						
Консульт.										

Парк сільськогосподарської техніки України фізично і морально застарів; ступінь зношення машин і механізмів, що пояснюється їх роботою за високих рівнів перевантаження протягом тривалого періоду; техніку, як правило, не ремонтують у спеціалізованих майстернях, а тому під час ремонту не відновлюють елементи, що визначають безпеку сільськогосподарського агрегату. Зокрема, середній період експлуатації тракторів в Україні вже перевищив 20 рік (згідно з ТУ ресурс тракторів – 8-10 років), що становить реальну загрозу травмування механізаторів. І якщо наявні у деталях мобільних сільськогосподарських машин пошкодження часто не є причинами нещасних випадків з важкими наслідками, то необхідність виконання ремонтних робіт у польових умовах часто призводить до травмування, адже техніку в полі ремонтують у стислі терміни ненавчені працівники, як правило, з порушенням норм охорони праці.

Нині відсутні показники ризику для основних технологічних процесів сільського господарства, зокрема під час виконання механізованих робіт, не розроблено класифікатори сільськогосподарських професій за критеріями ризику травмування та професійної захворюваності. У роботах, присвячених аналізу небезпечних ситуацій на виробничих процесах сільського господарства із застосуванням машин і механізмів, не враховано технічний стан агрегатів та його зміни протягом терміну експлуатації. Здебільшого у розроблених моделях нещасних випадків в АПК використовують імовірності помилкових дій працівників, які важко коректно визначити.

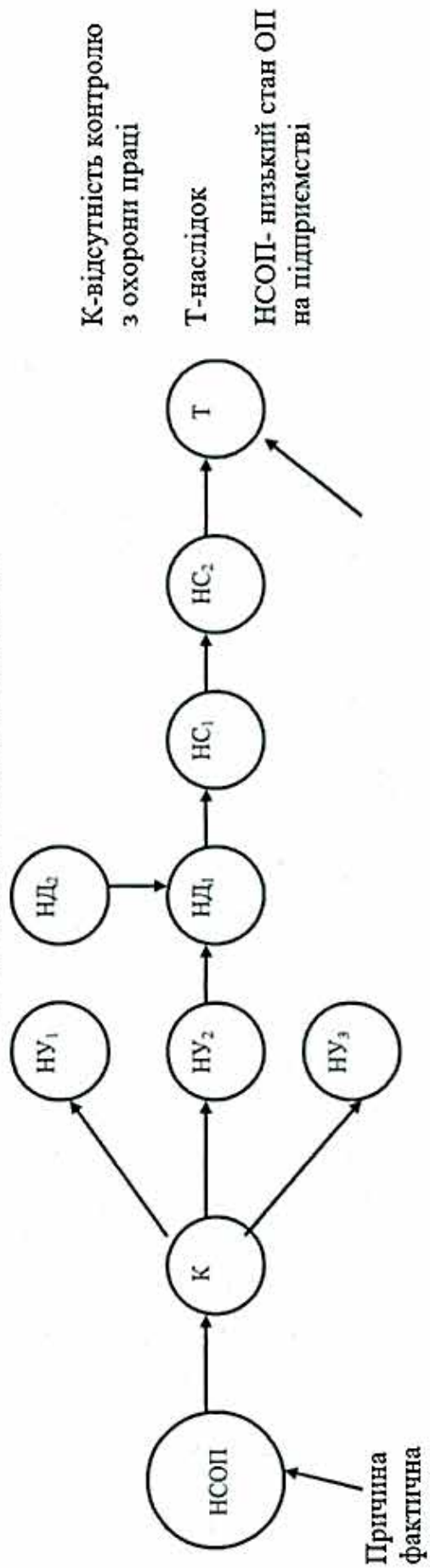
Шляхом дослідження небезпечних ситуацій, які можуть бути при експлуатації МТА в сільському господарстві описані і побудовані логічні моделі різні за формою та характером дії (для конкретної ситуації про це вказано в таблиці 3.1). Це дає змогу перейти до побудови більш складних людських аварій, травмувань і катастроф, які потрібні для встановлення причин виникнення потенційних небезпек, без чого неможливо провести обґрунтованих технологічних мір. Логічні моделі можна застосовувати під час аналізу рішень щодо відповідальності осіб, які винні у виникненні пригод, а також ступінь провини самого потерпілого.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

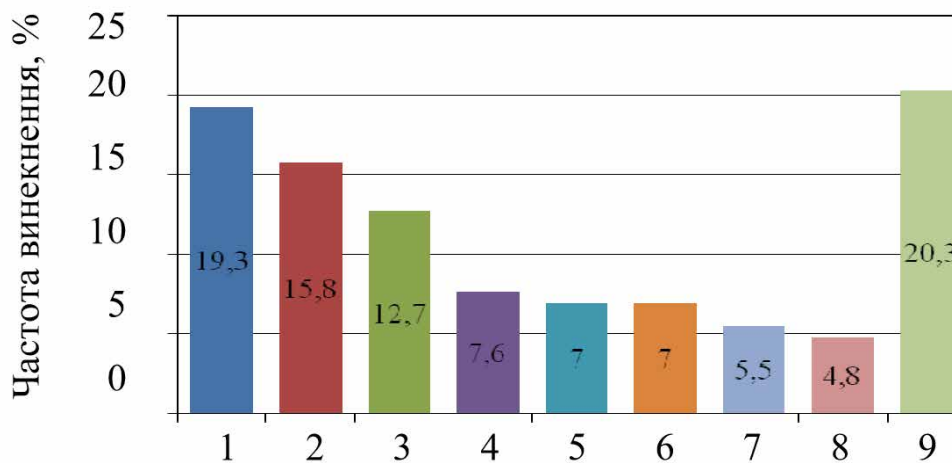
Таблиця 3.1

Вироби, процес марка машини, склад МТА	Вид виробничої небезпеки		Можливі небезпечна ситуація (НС)	Можливі наслідки (А,Т)	Заходи, щодо запобігання виникненню небезпек та їх наслідків
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)			
Сівба зернових культур (МТЗ+СЗ-3,6)	<p>1. Агрегат для сівби не обладнаний двосторонньою сигналізацією (НУ<sub>1</sub>)</p> <p>2. Трактористи-машиністи не пройшли необхідного навчання з охорони праці (НУ<sub>2</sub>)</p> <p>3. Перед сівбою не проведений інструктаж і не призначений старшим на агрегаті сівач. (НУ<sub>3</sub>)</p>	<p>1. Можливі рух МА у заганці без команди сівача (НД<sub>1</sub>)</p> <p>2. Сівач у момент рушання трактора може займати незручне або небезпечне положення (сходити з сівалки, переходити на іншу, оглядати чи обмацувати механізми, деталі (НД<sub>2</sub>))</p>	<p>Падіння сівача (НС<sub>1</sub>)</p> <p>Удар сівача об конструкцію сівалки. (НС<sub>2</sub>)</p>	Травма.	Усі агрегати для сівби на яких працюють сівачі необхідно обладнати двосторонньою сигналізацією.

Логічна модель небезпечної ситуації:



Досвід експлуатації сільськогосподарської техніки показав, що безпосередньо при обслуговуванні певних машин (МТА) з різних причин виникає значна кількість небезпечних – (аварійних і травмонебезпечних) ситуацій з наслідками у вигляді аварій і травм працюючих (рис. 3.1.).



1. від удару інструментами об елементи конструкції;
2. падіння з гусениць, підніжок (посадка у кабіну, заправка, пуск двигуна);
3. падіння при вході чи виході з кабіни;
4. опіки від передчасного відкривання кришки радіатора;
5. притиснення людей трактором, що сталися при неправильному встановленні домкратів;
6. пошкодження зламаним інструментом;
7. удар обірваним тросом при буксируванні;
8. перекидання трактора;
9. в інших її ситуаціях.


Рис. 3.1. Причини виникнення аварій і травм при обслуговуванні тракторів у рослинництві

До потенційних небезпек при обслуговуванні тракторів у рослинництві відносять: падіння з гусениць, підніжок (посадка у кабіну, заправка, пуск двигуна); падіння при вході чи виході з кабіни; опіки від передчасного відкривання кришки радіатора; продавлювання людей трактором, що сталися при неправильному встановленні домкратів; пошкодження зламаним інструментом; удар обірваним тросом при буксируванні; перекидання трактора.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ

Практична цінність результатів удосконалення конструкції універсального завантажувача ЗС-30М зернових насінневих матеріалів до виконання технологічних операцій в рослинництві визначалася за критеріями економічної ефективності відповідно до ДСТУ 4397:2005. При цьому використана методика розрахунку економічної ефективності результатів упровадження нової техніки, винаходів та раціоналізаторських пропозицій [24]. Джерелами вихідних даних для обґрунтування економічної ефективності слугували як матеріали виробничо-технічних періодичних видань, власні виробничі спостереження за роботою універсального завантажувача ЗС-30М зернових насінневих матеріалів так і дані пошуку в наукових джерелах. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення частки пошкодженого зерна в загальному обсязі посівного матеріалу [5; 13; 16; 24; 27; 29] та відповідного збільшення потенційної біологічної урожайності зернової культури, що у свою чергу уможлиблює: по-перше — підвищення валового збору зерна; по-друге — зменшити витрати на високовартісні засоби хімічного захисту рослин від шкідників та хвороб адже, як свідчать наукові дослідження Д.А. Дерев'янка [24], що якщо навіть враховувати загальні міркування, що 1 % травмованості зародку зернівки знижує схожість на 1 %, то стає зрозумілим, чому від сівби до сходів не проростає біля 25 %, а інколи і більше насіння. А якщо це порівняти в межах країни то щорічно не отримуємо сходів від сотень тонн насіння, що в грошовому виразі виливається в сотні мільйонів гривень витрат тільки вартості насіння, не враховуючи про безліч інших організаційно-технічних негараздів і витрат, пов'язаних із підготовкою насіння зернових і проведенням сівби, або пересівів чи підсівів, що особливо спостерігаються за останні роки.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25		у	69	5
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25		НУБІП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Перевіри								
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25				
Консульт.								

У загальному вигляді розрахунки здійснені за виразом:

$$E_{\text{кеф}} = [(P_{\text{ВАН}} - P_{\text{ВЕК}}) + (E_{\text{кеф}}^2 + E_{\text{кеф}}^3 + E_{\text{кеф}}^4)]P_{\text{СН}}; \quad (4.1)$$

де  $E_{\text{кеф}}$  – річний економічний ефект від впровадження результатів удосконалення конструкції універсального завантажувача ЗС-30М за сезон (грн.);

$P_{\text{ВАН}}$  – приведені прямі експлуатаційні витрати універсального завантажувача аналога ЗС-30М (грн./га);

$P_{\text{ВЕК}}$  – приведені прямі експлуатаційні витрати удосконаленого універсального завантажувача ЗС-30М (грн./га);

$E_{\text{кеф}}^2$  – додатковий економічний ефект пов'язаний із зменшенням частки пошкодженого насіння у загальному обсязі посівного матеріалу та відповідного недопущення пересівів чи підсівів (грн./га);

$E_{\text{кеф}}^3$  – додатковий економічний ефект пов'язаний із зменшенням витрат на засоби хімічної боротьби з шкідниками і хворобами рослин (грн./га);

$E_{\text{кеф}}^4$  – додатковий економічний ефект пов'язаний із збільшенням валового збору зерна (грн./га).

Як показали розрахунки [31], за умови, коли процес завантаження сівалок посівним матеріалом здійснюється серійним автомобільним завантажувачем ЗС-30М — продуктивність посівного комплексу складає 19,56 га/зм, а тоді як, продуктивність удосконаленого універсального завантажувача ЗС-30М обладнаного шнеком з еластичною гвинтовою поверхнею складе 18,88 га/зм, (96,5% від серійного).

За зазначених умов, значення узагальнюючого показника  $P_{\text{ВАН}}$  – приведені прямі експлуатаційні витрати на виконання технологічного процесу завантажувачем аналогом та  $P_{\text{ВЕК}}$  – приведені прямі експлуатаційні витрати удосконаленого завантажувача, що відповідно до розрахунків склали 450 і 528 грн./га, тобто, затрати на виконання процесу удосконаленим завантажувачем більші на 78 грн./га ніж у серійного аналога.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

У вихідних даних щодо розрахунків додаткового економічного ефекту пов'язаного із зменшенням частки пошкодженого насіння в загальному обсязі насіннєвого матеріалу, використані матеріали досліджень Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України та дані досліджень авторів [5; 13; 16; 24; 27; 29].

Визначення економічної ефективності за рахунок зменшення частки пошкодженого насіння в загальному обсязі насіннєвого матеріалу виходив із міркувань, що отримання прямого економічного ефекту можливе за рахунок підвищення частки якісного насіння (проявляється підвищенням процентної схожості насіння, що є характеристикою придатності даного посівного матеріалу) в загальному обсязі посівного матеріалу відповідної зернової культури. Порівняння проведене з врахуванням ринкової вартості насіння озимої пшениці. Таким чином, це дозволило оцінити економічний ефект від зменшення частки пошкодженого зерна (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Показники економічної ефективності від зменшення частки пошкодженого насіння

Показник	Значення
Норма висіву озимої пшениці т/га	0,319
Відпускна ціна насіння пшениці грн./т ( дані <a href="https://agroexp.com.ua/uk/semena-pshenitsyi">https://agroexp.com.ua/uk/semena-pshenitsyi</a> )	22000
Відсоток пошкодження насіння (дані досліджень), %	18
Приведений економічний ефект грн./га	860
Приведений економічний ефект грн./т	1720

Розрахунок додаткового економічного ефекту пов'язаного зі зменшенням витрат на засоби хімічної боротьби з шкідниками і хворобами рослин проводився з використанням узагальнених показників вартості та норм внесення

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		71

розповсюджених на ринку засобів захисту рослин. Це дозволило отримати дані табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Показники додаткового економічного ефекту пов'язаного зі зменшенням витрат на засоби хімічної боротьби з шкідниками і хворобами рослин

Показник	Значення
Норма внесення засобу захисту рослин т/га	1,8
Ціна 1кг засобу захисту, грн.	450
Відсоток пошкодження насіння (дані досліджень), %	18
Приведений економічний ефект грн./га	730
Приведений економічний ефект грн./кг	450

Результати досліджень [24], в тому числі проведених науковцями НУБіП України, підтверджують негативний вплив пошкодження насіннєвого матеріалу внаслідок механічної дії шнеків на майбутню урожайність культур. Вчені відмічають суттєве зменшення урожайності пов'язане із надмірним пошкодженням зернового насіннєвого матеріалу. Розроблені ряд математичних моделей, що мають враховувати зазначені негативні чинники [16; 24; 27; 29].

В розглядуваному випадку, механічна дія на зерновий матеріал шнеком призводить до втрати частини майбутнього врожаю. У відповідності до [24] між біологічною – Б і фактичною – Ф урожайністю існує залежність:

$$\Phi = B - \Delta Y; \quad (5.2)$$

де  $\Delta Y$  – питомі втрати врожаю від пошкодження насіннєвого матеріалу т/га.

За даними [157] наслідком цього є зниження врожайності зернових і просапних культур на 15...30% (контроль – ділянки з якісним насіннєвим матеріалом табл. 5.3)

Отже, відповідно до (5.1), річний економічний ефект від впровадження результатів удосконалення завантажувача за сезон (грн.), визначаємо з двох

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		72

основних умов (допущень) здійснення процесу сівби сільськогосподарської культури.

Таблиця 5.3

Показники додаткового економічного ефекту пов'язаного зі збільшенням валового збору зерна

Показник	значення
Прийнята урожайність озимої пшениці т/га	5
Коефіцієнт зменшення урожайності (дані досліджень)	0,18
Питомі втрати урожаю від пошкодження насіннєвого матеріалу, т/га	0,9
Відпускна ціна пшениці 2 класу грн./т	11200
Оцінка економічного ефекту грн./га	7500

В підсумку, використавши (5.1) отримаємо:

$$E_{\text{еф}} = [(450 - 528) + (860 + 730 + 7500)] = 9012 \text{ грн/га.}$$

Враховуючи прямі та опосередковані позитивні наслідки впровадження, можна оцінити можливий економічний ефект не менш як 134 ... 200 тис. грн. на посівний комплекс за сезон.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		73

## ВИСНОВКИ


У дипломному проекті бакалавра пропонується адаптувати конструкцію вивантажувального гвинтового конвеєра універсального завантажувача насінневих матеріалів ЗС-30М та їх аналогів шляхом впровадження нових конструкцій шнеків із секційною робочою еластичною поверхнею та обґрунтуванні їх конструктивні, силові і технологічні параметри;

Приведено аналіз конструктивних схем робочих органів гвинтових конвеєрів, які спрямовані на зниження пошкодження сипких матеріалів. Також наведено результати аналізу відомих теоретичних і експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів. В той же час встановлено, що не повністю вирішеною залишається проблема, яка полягає у зменшенні ступеня пошкодження насіння сільськогосподарських культур при їх транспортуванні та навантаженні у посівні машини.

За результатами огляду та аналізу наукових джерел встановлено, що при застосуванні еластичних секцій у порівнянні з жорстким шнеком травмування насінневого матеріалу зменшується в 1,63...4,0 рази.


Виявлені небезпеки, які можуть виникати при виконанні технологічних процесів розроблено заходи по їх усуненню.

Встановлена економічна ефективність пропонованої конструкції гвинтового робочого органу з секційною еластичною поверхнею. Враховуючи прямі та опосередковані позитивні наслідки впровадження, можна оцінити можливий економічний ефект не менш як 134 ... 200 тис.грн. на посівний комплекс за сезон.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25		у	74	2
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25		НУБіП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Перевіри								
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25				
Консульт.								

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bulgakov V., Trokhniak O., Adamchuck V., Chernovol M., Korenko M., Dukulis I., Ivanovs S. A study of dynamic loads of a flexible sectional screw conveyor. Acta Technol. Agric. 2022. 25(3). 131–136. DOI:<https://doi.org/10.2478/ata20220020>.
2. Pankiv V. Experimental studies of consumer specific costs capacity of the screw conveyor. Innovative Solutions In Modern Science. 2023. No 1(56). P. 119.
3. Адамчук В., Ратушний В., Онищенко В. Завантажувальний пристрій до причепів // Техніка АПК. -1997. -N2. - С. 19-20.
4. Бойко А. І., Куликівський В. Л. Дослідження контактної взаємодії зерна в зазорі “виток-кожух” шнекових живильників зерноочисних машин // Науковий вісник НУБіПУ, - К.: Ред-вид. Відділ НУБіПУ, 2011, - Вип.166: Техніка та енергетика АПК, - ч.1 - С. 267-274.
5. Бойко А. І., Савченко В. М., Куликівський В. Л. Визначення зусиль, що діють на периферійну частину витка шнека // Сільськогосподарські машини: Зб-ник Статей,- Луцьк: Ред-вид. відділ ЛНТУ, 2011,- Випуск 21,- Т.1.- С.15-26.
6. Васильків В.В, Гевко М.Р. Класифікація робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів// Збірник наукових статей Вінницького національного аграрного університету "Сільськогосподарські машини",- Вінниця: ВНАУ. - 2012. - Випуск 11 т.2.(66) - С. 117-121.
7. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: Дис. д-ра. тех. наук: 05.02.02,- Національний університет “Львівська політехніка”, 2013,- 322 с.
8. Гевко І. Б., Довбуш Т. А., Цьонь О. П., Довбуш А. Д., Станько А. І. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх дослідження. Сільськогосподарські машини. Луцьк, 2021. Вип. 47. С. 6372.

					<b>01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ</b>					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>					
Розробив		Шимко М. Т.		23.05.25				Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник		Бондар М. М.		23.05.25				у	75	10
Перевіри								НУБіП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		
Н. контр.		Пилипенко А. П.		23.05.25						
Консульт.										

9. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Цьонь О. П., Станько А. І. Технологія виготовлення еластичних шнеків. Збірник наукових праць X Міжнародної науковотехнічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні ОТМЕ2022» (ІваноФранківськ – Яремче, 15 лютого 2022 р.). ІваноФранківськ, 2022. С. 6971.
10. Гевко І., Станько А., Пік А., Лещук Р., Гурик О. Обґрунтування технікоекономічної ефективності використання гвинтових робочих органів зі щіткоподібною еластичною робочою поверхнею. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія “Агроінженерні дослідження”. Львів, 2022. № 26. С. 1321.
11. Гевко М. Р. Обґрунтування параметрів секційних гвинтових конвеєрів для транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів: Дис. канд...техн. наук: 05.05.11,- Тернопіль, ТНТУ.- 2013,- 151 с.
12. Гевко Р. Б. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах: монографія / Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинський, Р.І. Розум, М.Б. Клендій та ін. - Тернопіль: 2018,- 180 с.
13. Гевко Р. Напрямки зниження пошкодження сипких матеріалів при їх транспортуванні гвинтовими робочими органами / Р. Гевко, С. Залуцький // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій,- Тернопіль 19-20 грудня 2012,- С.67-68.
14. Гевко Р.Б. Гвинтовий конвеєр. Патент України на корисну модель №68113 МПК В 65 0 33/14 / Р.Б. Гевко, М.І. Шинкарик, С.В. Вознюк. Заявка № и201111551. Заявл. 29.09.2011. Опубл. 12.03.2012. Бюл.№5.
15. Гевко Р.Б. Напрямки зниження пошкодження сипких матеріалів при їх транспортуванні гвинтовими робочими органами конвеєра / Р.Б. Гевко, С.З. Залуцький // Сільськогосподарські машини: 36. наук, статей,- Луцьк: Ред- вид. відділ ЛНТУ, 2014,- Випуск 24,- С. 75-81.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		


16. Гевко Р.Б. Розробка конструкції та технологія виготовлення шнекового робочого органу з еластичною поверхнею / Р.Б. Гевко, С.З. Залуцький, М.Р. Гевко // Вісник інженерної академії України,- Київ, 2014.- № 1.-С. 152-159.
17. Гевко Р.Б. Розробка конструкції шнека з еластичною гвинтовою поверхнею та результати її експериментальних досліджень / Р.Б. Гевко, С.З. Залуцький // Вісник інженерної академії України,- Київ, 2015,- № 1- С. 241-246.
18. Гевко Р.Б. Спосіб виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею. Патент № 80414 Україна, МПК В21D 11/06 // Р.Б. Гевко, М.І. Пилипець, С.З. Залуцький; заявник і власник Тернопільський національний економічний університет.– заявка № u 201214308; заявл. 14.12.2012; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.
19. Гевко Р.Б. Шнек з секційною еластичною гвинтовою поверхнею. Патент,- № 119856 Україна, МПК В650 33/26, В650 33/16. // Р.Б. Гевко Р.Б., ГГ. Ткаченко І.Г., С.З. Залуцький, В.В. Градовий В.В.; заявники і власники Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Залуцький С.З., Градовий В.В.- заявка № и 201704151; заявл. 26.04.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.
20. Гудь В. З. Механікотехнологічні основи розробки багатофункціональних секційних шнеків для зернового матеріалу: дис. ... докт. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2021. 410 с.
21. Данильченко М. Г, Гладич Б. Б., Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників с./г. техніки:[навчально-методичний посібник для студентів економічних спеціальностей] / М.Г. Данильченко, Б.Б. Гладич, Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко – Тернопіль: Економічна думка, 2001. – 61с.
22. Дерев'янку Д. А. Вплив технологічних процесів на травмування і якість насіння / Д. А. Дерев'янку, О. М. Сукманюк // Практика і теорія ефективного використання земельних ресурсів Полісся : зб. ст. Всеукр. наук.-практ. конф., 22–23 лют. 2017 р. – Житомир : Укрекобіокон, 2017. – С. 36–39..

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

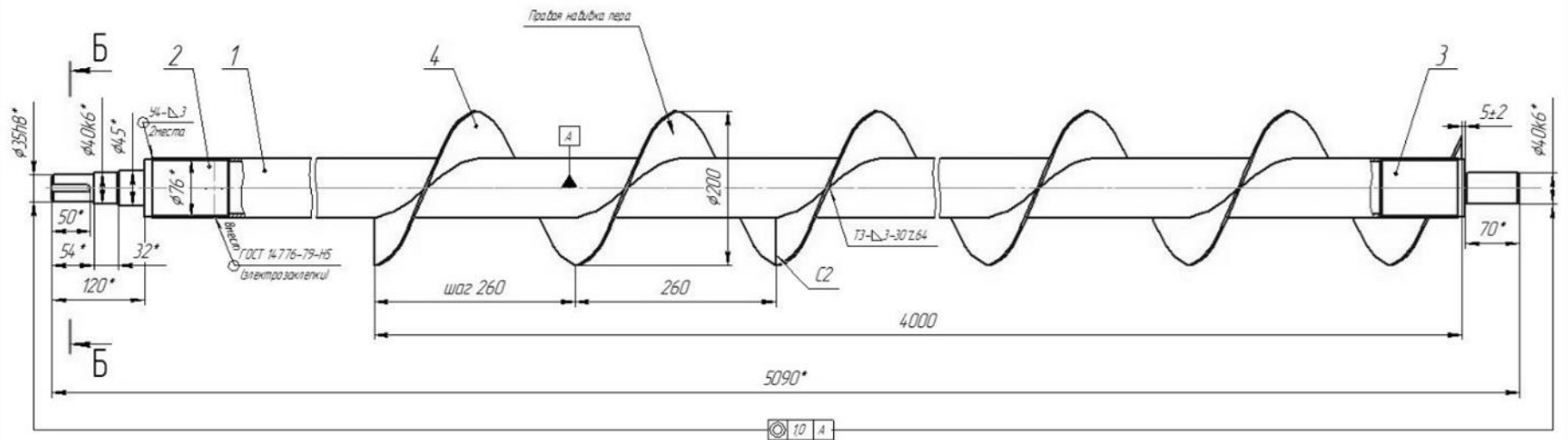
23. Дідух В.Ф., Тарасюк В.В. Дослідження руху частинки органо-мінеральних добрив по формуючій поверхні // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип.10,- Т.2.(59).- Вінниця: Видавничий центр ВНАУ, 2012,- С.84-88.
24. Залуцький С. З. Результати експериментальних досліджень шнекових робочих органів з еластичною гвинтовою поверхнею // С.З. Залуцький /. Актуальні задачі сучасних технологій.- Тернопіль 17-18 листопада 2016.- С.203-204.
25. Залуцький С. З. Розробка та обґрунтування параметрів гвинтових робочих органів з еластичною поверхнею // С.З. Залуцький / Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій,- Тернопіль 25-26 листопада 2015,- С. 144-145.
26. Ловейкін В. С., Коробко М. М., Шимко Л. С. Машина неперервного транспорту /. – К.: ЦП «КОМПРІНТ», 2012. – 362 с.
27. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості [Текст] : ДСТУ 4138-2002. - К.: Ред.-вид. відділ УкрНДІССІ, 2003. - 172 с.
28. Станько А.І. Дослідження еластичних щіткоподібних гвинтових робочих органів та розроблення технології їх виготовлення. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». Луцьк, 2022. Вип. 21. С. 125131.
29. Сьогодні в Україні висівається 80% травмованого насіння зернових — Леонід Фадєєв <https://superagronom.com/news/1617-sogodni-v-ukrayini-visivayetsya-80-travmovanogo-nasinnya-zernovih--leonid-fadyeyev>
30. Трудовий Р.С. Обґрунтування конструкцій і параметрів робочих органів шнекових транспортерів зерна: Дис...канд. тех. наук: 05.05.11,- Вінниця: ВНАУ,- 2013,- 157 с.
31. Шнековий змішувач: пат. 150443 Україна: МПК В65G 33/26 (2006.01). № u202105718; заявл. 11.10.21; опубл. 11.02.22, Бюл. №7. 4 с.

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.		

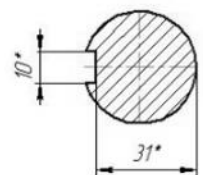
## ДОДАТКИ

					01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	ДОДАТКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Шимко М. Т.			23.0		у	79	46
Керівник	Бондар М. М.			23.0				
Перевіри								
Н. контр.	Пилипенко А. П.			23.0				
Консулт.								
						НУБіП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ ГМАШ-2101 англ. (МОБ)		

СЗ-46.00.0001

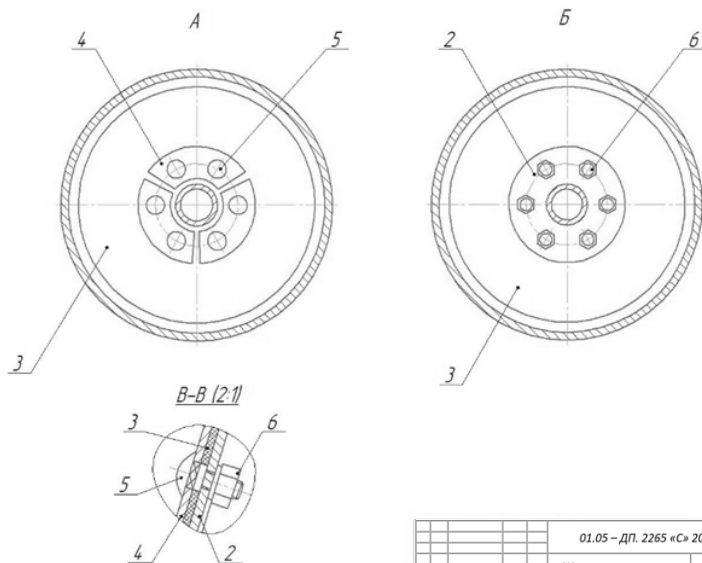
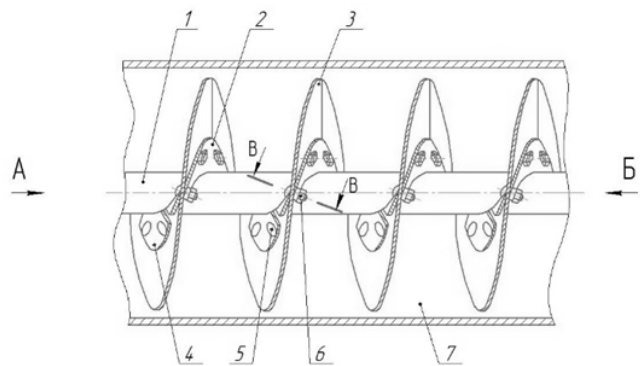


Б-Б(1:1)

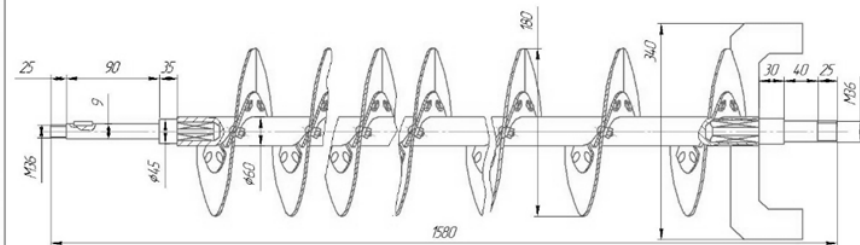


Формат	Зона	Лист	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЗВА	Кол
№		1	СЗ-46.00.001	Труба	1
№		2	СЗ-46.00.002	Цапфа	1
№		3	СЗ-46.00.003	Цапфа	1
№		4	СЗ-46.00.004	Перо	14 м 4 метра
<b>01.05-ДП.2265«С»2024.12.16.063СК</b>					
Мен	Лист	№ докум.	Лист	Дата	Лист
Розроб	Шимко М.І.				49
Проєк	Бондар М.М.				14
Лист	Пампенко А.П.				Лист
Лист					Листів
<b>Вивантажувальний шнек ЗСП-30</b> НУБП України ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ					Г/МАШ-2101 смт. (МОБ)
Формат А					

Лист 1 з 1  
 Вивантажувальний шнек ЗСП-30  
 Проект на будівлю пера

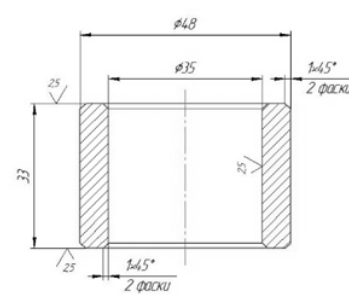


				01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063.СК			
№	Лист	Наименование	Шкала	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разработчик	СВЯТЫХ И.С.	<b>ШНЕК З ЕЛАСТИЧНЫМІ ПЛЮСТКАМІ</b> (СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ)			18	1:4	
Перевірив	БОНДАРЬ М.М.		Архив 2	Архив 2			
Н.зам.	ПІВМІСЬКО А.П.	ІНСТІТУТ Укроборонпром		Фабричне виготовлення та дизайн			
Замов.		ГМАШ-2101 онга. (МОВ)					



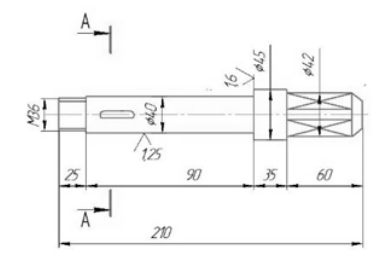
Невказані граничні відхилення розмірів по ОСТ 2314.209-82

				01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063.СК			
№	Лист	Наименование	Шкала	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разработчик	СВЯТЫХ И.С.	<b>ВЕРТИКАЛЬНИЙ ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР</b> (СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ)			27	1:4	
Перевірив	БОНДАРЬ М.М.		Архив 3	Архив 3			
Н.зам.	ПІВМІСЬКО А.П.	ІНСТІТУТ Укроборонпром		Фабричне виготовлення та дизайн			
Замов.		ГМАШ-2101 онга. (МОВ)					



1. Гострі країшки притупити.  
2. Невказані граничні відхилення виконати за 7 класом точності

				01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063.008			
№	Лист	Наименование	Шкала	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разработчик	СВЯТЫХ И.С.	<b>ВТУЛКА</b>			8,5	1:1	
Перевірив	БОНДАРЬ М.М.		Архив 4	Архив 3			
Н.зам.	ПІВМІСЬКО А.П.	ІНСТІТУТ Укроборонпром		Фабричне виготовлення та дизайн			
Замов.		Труба 40 × 8 × 1250 по ДСТУ 8332 б20 ДСТУ 8733		ГМАШ-2101 онга. (МОВ)			



				01.05 – ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063.004			
№	Лист	Наименование	Шкала	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разработчик	СВЯТЫХ И.С.	<b>ЦАПРА НИЖНЯ</b>			8,5	1:1	
Перевірив	БОНДАРЬ М.М.		Архив 4	Архив 3			
Н.зам.	ПІВМІСЬКО А.П.	ІНСТІТУТ Укроборонпром		Фабричне виготовлення та дизайн			
Замов.		КРУГ 45 ДСТУ 2590 Ст40Х ДСТУ 1050		ГМАШ-2101 онга. (МОВ)			



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

# Дипломний проект бакалавра

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ШНЕКУ  
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА  
ГВИНТОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

1

Виконала

М.Т. Шимко

Керівник к.пед.н., доц.

М.М. Бондар

КИЇВ - 2025

2

## Актуальність теми та мета дипломного проекту

Аналіз показує, що при застосуванні технічних засобів завантаження зерна, висівається до 80% травмованого насіння. Цей фактор є причиною зниження майбутнього урожаю. При висіві травмованого зерна гине приблизно 30...40кг. насіння при середній нормі висіву 2 ц/га. Тому, **актуальним є впровадження у конструкції універсальних завантажувачів — шнекових робочих органів із еластичною поверхнею, які забезпечать мінімізацію пошкодження насінневого матеріалу**

**метою дипломного проекту бакалавра є мінімізація пошкодження насінневого матеріалу при завантаженні сівалок у виробничих процесах вирощування зернових культур шляхом удосконалення конструкції універсальних завантажувачів сівалок типу: ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30-60 Зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5**

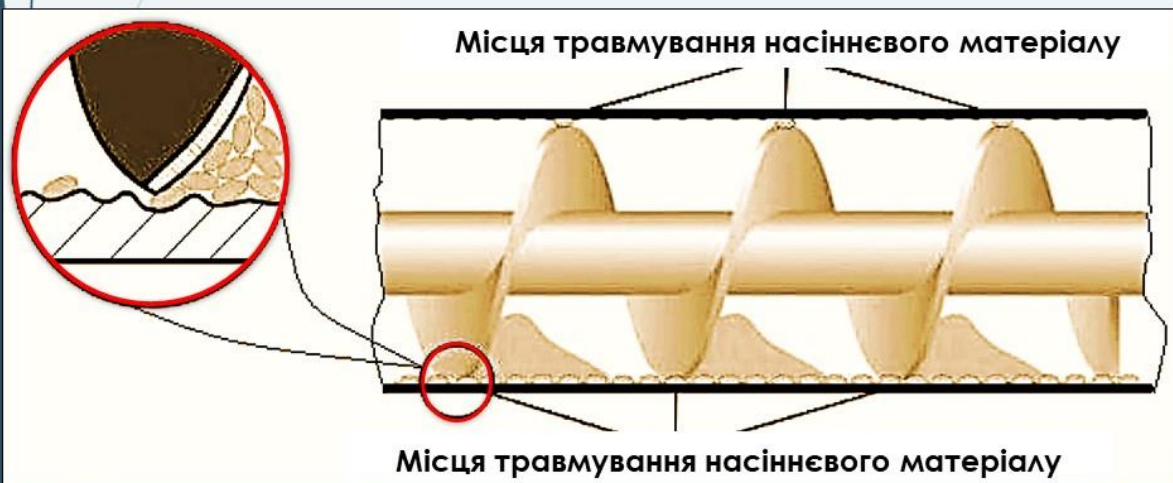
## Завдання дипломного проекту бакалавра:

3

- здійснити огляд конструкцій гвинтових конвеєрів обладнаних шнековими робочими органами із еластичною поверхнею;
- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему гвинтового транспортера для застосування у виробничих процесах насінництва
- розробити удосконалення конструкції універсальних завантажувачів сівалок типу ЗС-30М, ЗСП-30, ЗС30-60 зерномет, ПЗС-30 ТПГ Агропром, ГРШ-300/4,5;
- здійснити розрахунки експлуатаційних параметрів та запропонувати технологію виготовлення шнекових робочих органів із еластичною поверхнею;
- виконати розрахунки на міцність удосконалених деталей;
- розробити заходи з охорони праці;
- обґрунтувати економічну ефективність пропонованих конструктивних рішень;
- сформулювати висновки.

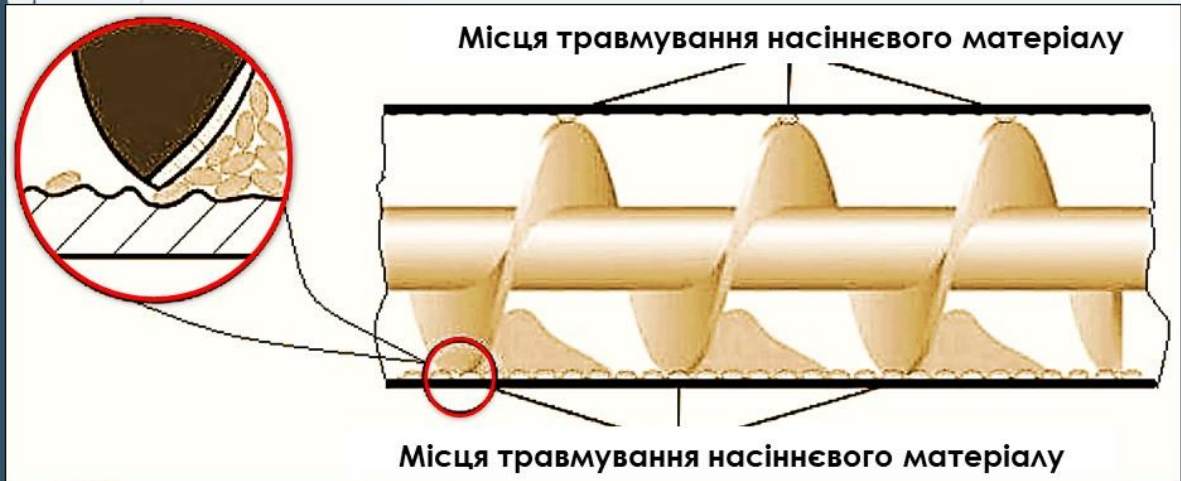
4

## Взаємодія робочого органу гвинтового конвеєра універсального завантажувача сівалок з насіннєвим матеріалом



4

## Взаємодія робочого органу гвинтового конвеєра універсального завантажувача сівалок з насіннєвим матеріалом

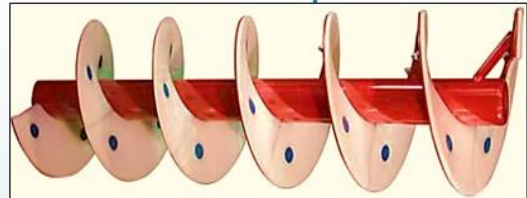


5

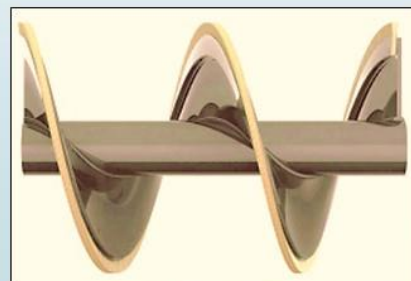
## Огляд конструкцій робочих органів гвинтових конвеєрів



Гвинтові робочі органи  
італійської компанії «WAM  
Group» з полімерним  
покриттям гвинтового ребра



Шнек з еластичною гвинтовою  
поверхнею американської  
компанії «Lundell Plastics Corp»



Шнековий гвинтовий робочий орган  
австралійської компанії «Vulknet» з периферійною  
поверхнею у вигляді еластичних щіток

## Універсальні завантажувачі сівалок

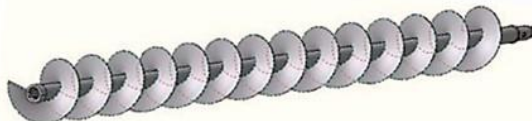
6



Гвинтові робочі органи є спільним конструктивним елементом в будові механізмів універсальних завантажувачів сівалок

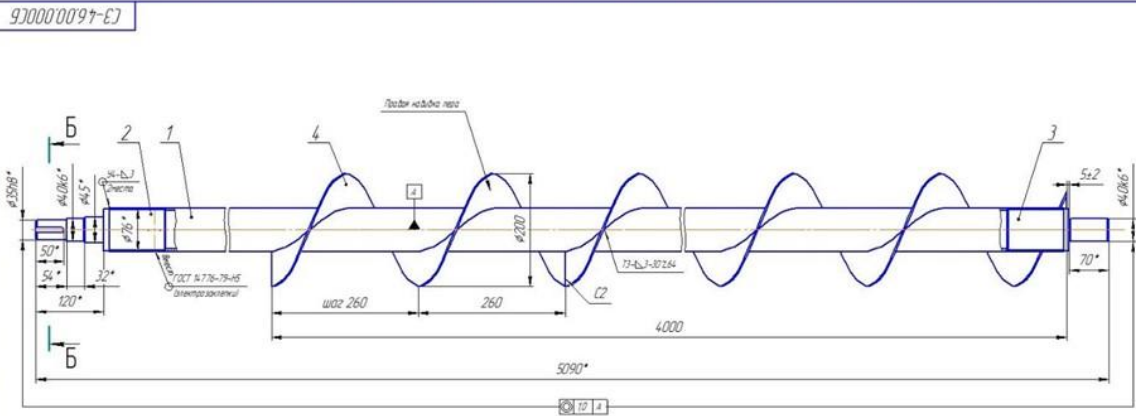
7

## Вивантажувальний шнек ЗС-30М; ЗС-30М1; ЗСП-30; ПЗС-30 ТПГ Агропром



З метою мінімізації пошкодження насінневого матеріалу гвинтовими конвеєрами універсальних завантажувачів сівалок, в дипломному проекті бакалавра, розроблене удосконалення конструкцій шнеків із еластичною робочою поверхнею та обґрунтування технологічних і силових параметрів конструкції.

8



Початкові дані для розрахунків:

- 1) об'ємна вага вантажу [27]  $\gamma = 0,75 \text{ т/м}^3$ ;
- 2) коефіцієнт тертя вантажу по сталі  $f = 0,36$ ;
- 3) коефіцієнт заповнення  $\psi = 0,45$ ;
- 4) зовнішній діаметр шнека  $D = 200 \text{ мм}$ ;
- 5) діаметр валу шнека  $d = 50 \text{ мм}$ ;
- 6) кут природного ухилу (в спокої)  $\varphi = 35^\circ$ ;
- 7) кут тертя вантажу по сталі  $f = \tan \rho$ , звідки  $\rho = 19^\circ 50'$ ;
- 8) крок шнека  $S = 1,1 \cdot D = 1,1 \cdot 200 = 220 \text{ мм}$ ;

Код	Діаг.	Позначення	Назва	Діаг.
1	СЗ-46.00.001	Труба	f	
2	СЗ-46.00.002	Ціпа	f	
3	СЗ-46.00.003	Ціпа	f	
4	СЗ-46.00.004	Гвіз	f	4 шт/метр

01.05 - ДП. 2265 «С» 2024.12.16. 063 СК

№	Пос.	Відом.	Дата	Лист	Маса	Місце
1	1	1	1	48	1,4	

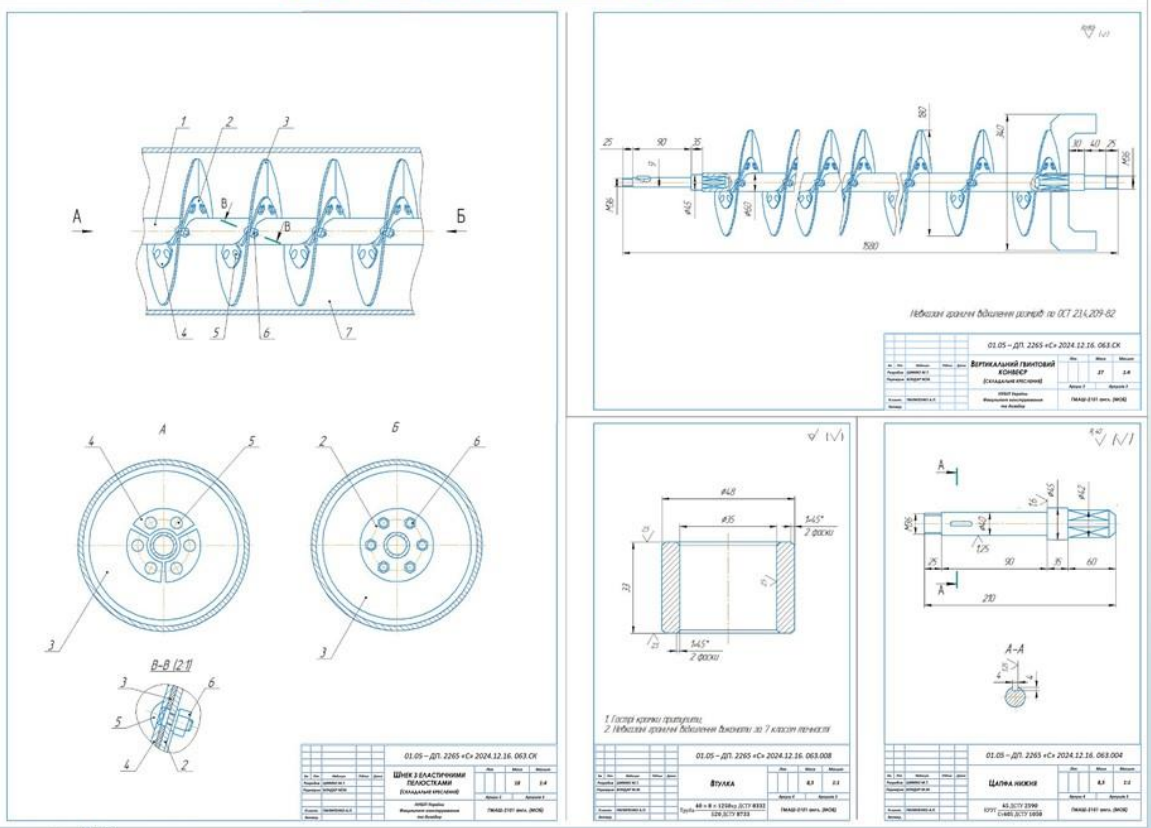
**Вивантажувальний шнек ЗСП-30**

ІНБІТ Україна  
Фабричне конструкторське  
та Аудит

ГМАШ-2101 ФІСА (МОН)

9

## Деталювання креслень

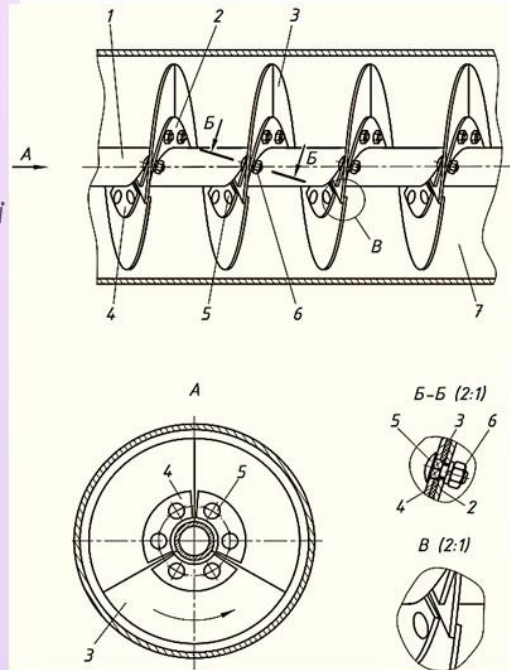


## Конструктивна схема шнекового робочого органу з еластичними пелюстками

10

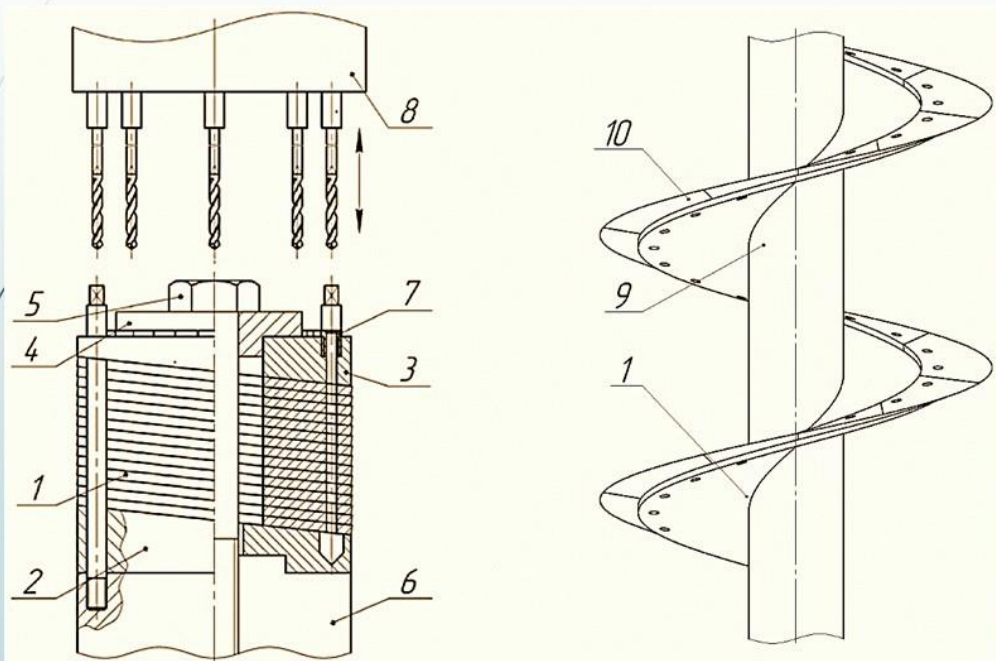
Вал **1**, на якому встановлена смугова гвинтова спіраль **2**, до якої за допомогою секційних пластин **4**, а також болтових з'єднань з напівкруглими головками **5** та гайок **6** закріплені окремі еластичні пелюстки (пластин) **3**.

При транспортуванні, насінневий матеріал плавно сходить з одного пелюстка на інший, а у випадку попадання більших частинок між внутрішньою нерухомою поверхнею направляючого кожуха та поверхнею еластичного шнека, пелюстки прогинаються, що забезпечує уникнення пошкодження насінневого матеріалу.



## Спосіб виготовлення шнекового робочого органу з еластичними накладками

11



## Виготовлення шнекового робочого органу

12



Загальний вигляд навитої на ребро спіралі з виконаними отворами



## Виготовлення шнекового робочого органу

13

Суцільна гумова еластична спіраль, що закріплена на жорсткому гвинтовому ребрі

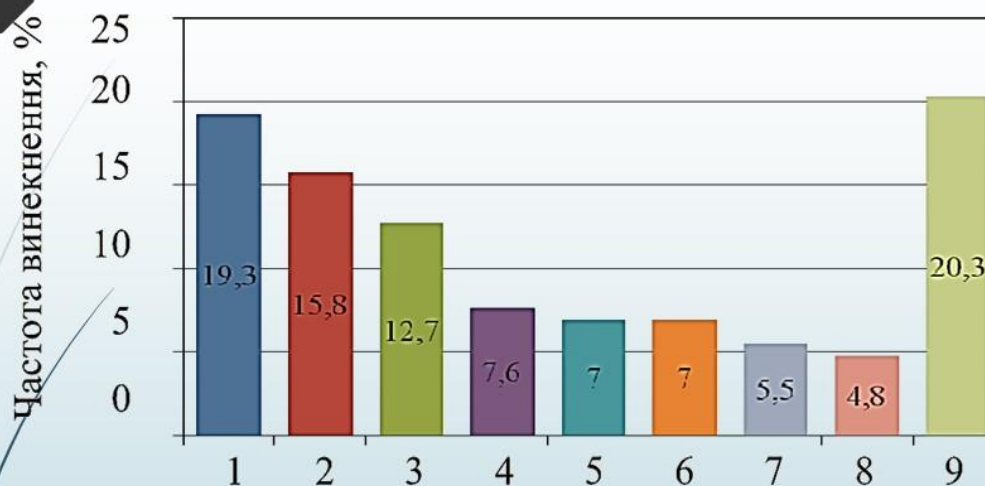


Секційна еластична спіраль (матеріал «поліуретан PU-60»), що закріплена на жорсткому гвинтовому ребрі



# Охорона праці

14



1. від удару інструментами об елементи конструкції; 2. падіння з гусениць, підніжок (посадка у кабінку, заправка, пуск двигуна); 3. падіння при вході чи виході з кабіни; 4. опіки від передчасного відкриття кришки радіатора; 5. притиснення людей трактором, що сталися при неправильному встановленні домкратів; 6. пошкодження зламанним інструментом; 7. удар обірваним тросом при буксируванні; 8. перекидання трактора; 9. в інших її ситуаціях.

## РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

15

У загальному вигляді розрахунки здійснені за виразом:

$$E_{кеф} = [(P_{вАн} - P_{вЕк}) + (E_{кеф}^2 + E_{кеф}^3 + E_{кеф}^4)] P_{сн}$$

- де  $E_{кеф}$  – річний економічний ефект від впровадження результатів удосконалення конструкції універсального завантажувача сівалок за сезон (грн.);
- $P_{вАн}$  – приведені прямі експлуатаційні витрати універсального завантажувача сівалок аналога ЗС-30М-1 (грн./га);
- $P_{вЕк}$  – приведені прямі експлуатаційні витрати удосконаленого універсального завантажувача сівалок (грн./га);
- $E_{кеф}^2$  – додатковий економічний ефект пов'язаний із зменшенням частки пошкодженого насіння у загальному обсязі посівного матеріалу та відповідного недопущення пересівів чи підсівів (грн./га);
- $E_{кеф}^3$  – додатковий економічний ефект пов'язаний із зменшенням витрат на засоби хімічної боротьби з шкідниками і хворобами рослин (грн./га);
- $E_{кеф}^4$  – додатковий економічний ефект пов'язаний із збільшенням валового збору зерна (грн./га).

## РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ

В підсумку, використавши попередній вираз отримаємо:

$$E_{\text{кеф}} = [(450 - 528) + (860 + 730 + 7500)] = 9012 \text{ грн/га}$$

Враховуючи прямі та опосередковані позитивні наслідки впровадження, можна оцінити можливий економічний ефект не менш як 134 ... 200 тис. грн. на посівний комплекс за сезон.

## Основні висновки

1. У дипломному проекті бакалавра пропонується адаптувати конструкцію вивантажувального гвинтового конвеєра універсального завантажувача насінневих матеріалів ЗС-30М та їх аналогів шляхом впровадження нових конструкцій шнеків із секційною робочою еластичною поверхнею та обґрунтуванні їх конструктивні, силові і технологічні параметри;
2. Приведено аналіз конструктивних схем робочих органів гвинтових конвеєрів, які спрямовані на зниження пошкодження сипких матеріалів. Також наведено результати аналізу відомих теоретичних і експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів. В той же час встановлено, що не повністю вирішеною залишається проблема, яка полягає у зменшенні ступеня пошкодження насіння сільськогосподарських культур при їх транспортуванні та навантаженні у посівні машини.
3. За результатами огляду та аналізу наукових джерел встановлено, що при застосуванні еластичних секцій у порівнянні з жорстким шнеком травмування насінневого матеріалу зменшується в 1,63...4,0 рази.
4. Виявлені небезпеки, які можуть виникати при виконанні технологічних процесів розроблено заходи по їх усуненню.
5. Встановлена економічна ефективність пропонованої конструкції гвинтового робочого органу з секційною еластичною поверхнею. Враховуючи прямі та опосередковані позитивні наслідки впровадження, можна оцінити можливий економічний ефект не менш як 134...200 тис.грн. на посівний комплекс за сезон.

Дякую за увагу