

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технології перевантаження насипних  
сільськогосподарських матеріалів з розробкою керуючого механізму  
навантажувача

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГс  
спеціальності \_\_\_\_\_

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Мисик Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20\_\_ р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Мисіку Роману Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології перевантаження насипних сільськогосподарських матеріалів з розробкою керуючого механізму навантажувача

Керівник роботи Бабій Андрій Васильович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» 01 2024 року № 4/7-62

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2024

3. Вихідні дані до роботи Продуктивність за 1 год. основного часу (на зерні пшениці) до 5 т/год; споживана потужність на максимальній продуктивності, не більше 1.5 кВт; маса навантажувача суха (конструкційна) з повним комплектом робочих органів і приладь, не більше 150 кг; повна завантажена маса навантажувача,  $G = 2000$  Н.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технологій і засобів перевантаження зерна.

2. Рекомендації з покращення технології перевантаження зерна.

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

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

Мета і завдання дослідження; Навантажувач зерна НЗ-5.СК; Схеми розрахункові; Корпус основний. СК; Деталі. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз технологій і засобів перевантаження зерна	10.05.24	
2.	Рекомендації з покращення технології перевантаження зерна	30.05.24	
3.	Проектна частина	05.06.24	
4.	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	15.06.24	
5.	Загальні висновки	20.06.24	
6.	Графічна частина	24.06.24	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Мисик Р.В.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бабій А.В.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## Реферат

*Мета і завдання дослідження* – провести удосконалення технології перевантаження насипних сільськогосподарських матеріалів з розробкою керуючого механізму навантажувача.

Мета досягається шляхом модернізації керуючого механізму навантажувача, що підвищує ефективність і продуктивність використання машини цілому.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:  
проведено аналіз технологій і засобів перевантаження зерна;  
визначено граничні положення шнека навантажувача;  
визначено навантаження на ведучий гвинт сервісного механізму;  
розраховано гвинтову пару сервісного механізму;  
розраховано зварні з'єднання.

*Об'єктом дослідження* – технологічний процес перевантаження насипних сільськогосподарських матеріалів.

*Предмет дослідження* – керуючий механізм навантажувача.

*Практичне значення* – проведене удосконалення навантажувача насипних сільськогосподарських матеріалів підвищує ефективність і продуктивність використання машини цілому.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, використаної літератури та додатків.

*Ключові слова.* Навантажувач, керуючий механізм, технології перевантаження насипних сільськогосподарських матеріалів, зерно, шнек.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНА .....	6
1.1 Аналіз конструктивних особливостей різних типів навантажувачів зерна .....	6
1.2 Роль живильника при роботі зернонавантажувача .....	15
1.3 Огляд конструкцій зернонавантажувачів-аналогів .....	23
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНА.....	33
2.1 Будова, принцип роботи базової конструкції навантажувача НЗ-5 .....	33
2.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи .....	38
2.3 Визначення граничних положень шнека навантажувача.....	39
2.4 Визначення навантаження на ведучий гвинт сервісного механізму .....	43
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	46
3.1 Розрахунок гвинтової пари сервісного механізму.....	46
3.2 Розрахунок проєктованої передачі за умовою стійкість проти спрацювання витків .....	48
3.3 Розрахунок гвинта сервісного механізму на міцність.....	49
3.4 Перевірка на стійкість гвинта сервісного механізму .....	50
3.5 Розрахунок зварного з'єднання направляючої до кожуха шнека.....	53
3.6 Уточнення параметрів передачі.....	54
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	57
4.1 Можливі небезпеки при роботі навантажувача зерна.....	57
4.2 Вимоги безпеки праці при зберіганні та переробці зерна.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

## ВСТУП

У сучасних умовах глобалізації питання продовольчої безпеки стає однією з найважливіших і першочергових проблем забезпечення життєдіяльності населення та розвитку суспільства. Особливо це стосується забезпечення надійного зберігання зернових культур, що є основою харчового забезпечення багатьох країн. Протягом останнього десятиліття світова спільнота звертає особливу увагу на необхідність максимальної мобілізації людських, матеріально-технічних та інтелектуальних ресурсів кожної країни для забезпечення ефективної роботи зернових складів.

Зокрема, проблема обладнання зернових складів є критично важливою для забезпечення безперебійного зберігання та збереження якості зерна. Це включає впровадження сучасних технологій зберігання, таких як системи контролю вологості та температури, автоматизовані системи вентиляції, а також засоби для запобігання шкідникам та грибковим захворюванням. Використання високотехнологічного обладнання дозволяє зменшити втрати зерна під час зберігання та забезпечити його високу якість до моменту використання або продажу.

Крім того, важливим аспектом є розвиток інфраструктури зернових складів. Це включає модернізацію існуючих складів, будівництво нових сучасних об'єктів та покращення логістичних шляхів для транспортування зерна. Ефективна логістика дозволяє швидко та безпечно переміщувати великі обсяги зерна, мінімізуючи втрати та забезпечуючи стабільність поставок.

Таким чином, у глобальному контексті забезпечення продовольчої безпеки через ефективне обладнання зернових складів вимагає комплексного підходу, який включає економічні, соціальні, технологічні та екологічні аспекти. Тільки за умов тісної співпраці на національному та міжнародному рівнях можливо забезпечити стійкий розвиток суспільства та гарантувати кожному доступ до якісних та безпечних зернових продуктів.

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНА

## 1.1 Аналіз конструктивних особливостей різних типів навантажувачів зерна

При правильному зберіганні зернового матеріалу не можна обійтися без застосування механізованих засобів. Особливу увагу слід зосередити на зернонавантажувачах. Ці машини відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності та безпеки зберігання зерна, а також у підвищенні продуктивності робіт на зернових складах.

Технологічні процеси, пов'язані з експлуатацією зерноскладів, такі як завантаження, вивантаження, обробка та переміщення зерна, повинні бути повністю механізовані. Це включає застосування як стаціонарних, так і пересувних механізмів, що дозволяють оптимізувати роботу складів і мінімізувати втрати зерна. Зернонавантажувачі забезпечують швидке та ефективне завантаження і вивантаження зерна, знижуючи трудомісткість цих процесів та зменшуючи ризик пошкодження зерна.

Максимальне використання принципу самопливу зерна є важливим аспектом механізації зернових складів. Завдяки цьому принципу можна значно зменшити енерговитрати на переміщення зерна та підвищити ефективність його обробки. Системи самопливу дозволяють зерну вільно рухатися під дією гравітації, що забезпечує його безперебійний потік від одного технологічного етапу до іншого.

Також важливим є використання сучасних технологій контролю та управління процесами на зернових складах. Автоматизовані системи моніторингу дозволяють відстежувати параметри зберігання зерна в режимі реального часу, забезпечуючи оптимальні умови для його зберігання. Це

включає контроль за рівнем вологості, температури та вентиляції, що є критично важливим для збереження якості зерна.

Використання пересувних механізмів, таких як мобільні зернонавантажувачі, додає гнучкості в організацію робіт на складах. Вони дозволяють швидко реагувати на зміни в умовах зберігання та оперативно виконувати необхідні операції з зерном. Це особливо важливо в періоди активного прийому або відвантаження зерна, коли необхідно забезпечити високу пропускну здатність складів.

Таким чином, забезпечення ефективного зберігання зернового матеріалу вимагає комплексного підходу до механізації технологічних процесів, з особливим акцентом на використання зернонавантажувачів і принципу самопливу зерна. Це дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати та забезпечити високу якість зберігання зерна, що є важливим елементом продовольчої безпеки.

Крім того, якщо склади є невеликими, доцільно мати з одного боку прості навантажувачі, які є відносно дешевими, а з іншого боку – багатофункціональні. Це пов'язано з необхідністю виконання різноманітних операцій: завантаження зерна у транспортні засоби, робота в парі з протруювачем, таким як ПНШ-3, який не є самопересувний, завантаження зерна у мішки та інші подібні завдання. Для цього розглянемо деякі особливості будови і призначення таких навантажувачів.

Примітивні навантажувачі, які використовуються на невеликих складах, повинні бути легкими у використанні та обслуговуванні, що дозволяє зменшити витрати на експлуатацію і технічне обслуговування. Незважаючи на простоту конструкції, вони повинні мати достатню потужність для виконання базових функцій. Багатофункціональність таких навантажувачів досягається за рахунок можливості змінювати насадки та адаптувати обладнання під різні види робіт.

Однією з важливих функцій навантажувачів є можливість завантажувати зерно у транспортні засоби. Це забезпечує оперативність у логістичних процесах, знижуючи час на перевантаження зерна та підвищуючи ефективність



роботи складу. Крім того, навантажувачі повинні бути здатні працювати в парі з протруювачами, такими як ПНШ-3, що використовується для обробки зерна перед зберіганням або посівом. Завдяки цьому зменшується кількість необхідного обладнання та спрощуються технологічні процеси.

Завантаження зерна у мішки є ще однією важливою функцією навантажувачів. Це дозволяє зручно фасувати зерно для зберігання або транспортування, забезпечуючи його захист від зовнішніх впливів. Для виконання цієї операції навантажувачі повинні бути обладнані спеціальними насадками, що дозволяють точно та ефективно наповнювати мішки.

Важливо зазначити, що при виборі навантажувачів для невеликих складів слід враховувати їх мобільність та компактність. Пересувні моделі можуть легко переміщатися по території складу, забезпечуючи доступ до будь-якої ділянки без необхідності додаткового обладнання. Це значно спрощує організацію робіт та підвищує загальну ефективність.

Таким чином, для невеликих складів важливо мати прості та багатофункціональні навантажувачі, які забезпечують виконання різноманітних операцій. Це дозволяє оптимізувати процеси зберігання та обробки зерна, знижуючи витрати та підвищуючи продуктивність роботи складів.

Зернонавантажувачі призначені для виконання різноманітних операцій, таких як завантаження зерна в транспортні засоби, формування та перелопачування кагатів, завантаження зерном очисних машин, сушарок і зерносклоповищ. Ці машини є невід'ємною частиною технологічного процесу на зернових складах, забезпечуючи безперервний потік зерна та оптимізацію його обробки і зберігання.

Зернонавантажувачі відносяться до машин безперервної дії, що дозволяє їм працювати ефективно та без зупинок протягом тривалого часу. Основними транспортуючими органами зернонавантажувачів є живильник і транспортер. Живильник захоплює зерно з кагату та подає його до транспортера, який, у свою чергу, переміщує зерно в заданому напрямку на необхідну висоту.

Однією з ключових функцій зернонавантажувачів є завантаження зерна у транспортні засоби. Це дозволяє швидко та ефективно здійснювати відвантаження зерна для подальшого транспортування на інші об'єкти або безпосередньо до споживачів. Завдяки цьому процесу знижується час простою транспорту та підвищується загальна продуктивність роботи складу.

Формування та перелопачування кагатів є ще однією важливою функцією зернонавантажувачів. Це дозволяє рівномірно розподіляти зерно по території складу та забезпечувати його належне зберігання. Перелопачування зерна сприяє його аерації та запобігає утворенню конденсату, що може призвести до псування зерна.

Завантаження зерном очисних машин і сушарок є критично важливим етапом у підготовці зерна до зберігання або подальшого використання. Очисні машини видаляють домішки та сторонні частинки, забезпечуючи високу якість зерна, а сушарки знижують його вологість до оптимального рівня, запобігаючи розвитку плісняви та інших шкідливих мікроорганізмів.

Зернонавантажувачі також використовуються для завантаження зерносховищ, де зерно зберігається протягом тривалого часу. Надійне та рівномірне завантаження забезпечує ефективне використання простору сховища та збереження якості зерна.

Таким чином, зернонавантажувачі є незамінними машинами на зернових складах, забезпечуючи безперервний і ефективний процес обробки та зберігання зерна. Їхні основні транспортуючі органи, живильник і транспортер, працюють у тандемі для забезпечення високої продуктивності та якості виконуваних операцій.

Зернонавантажувачі повинні задовольняти наступним вимогам:

1. **Мінімальні пошкодження зерна:** Пошкодження зерна під час навантаження не повинне перевищувати 0,5%. Це забезпечує збереження якості зерна та мінімізацію втрат під час його транспортування та зберігання.

2. **Зручність вантаження:** Висота завантаження, виліт та розташування транспортера повинні забезпечувати зручне навантаження зерна в різні види транспортних засобів, такі як автомобілі, тракторні та автомобільні причепа. Це має відбуватися без використання праці допоміжних робітників для розрівнювання зерна в кузові, що підвищує ефективність процесу та знижує витрати на робочу силу.
3. **Укладання зерна в кагат:** Зернонавантажувачі повинні забезпечувати можливість укладання зерна в один кагат при розвантаженні транспортних засобів на майданчику або поряд з ним. Це важливо при роботі з зерноочисними машинами та під час перелопачування зерна у кілька проходів. Рівномірне укладання зерна в кагат сприяє його збереженню та запобігає утворенню конденсату.
4. **Просушування зерна:** Зернонавантажувачі повинні мати можливість розкидати зерно з кагату на велику площу тонким шаром для просушування. Це забезпечує рівномірне висихання зерна та знижує ризик розвитку плісняви та інших шкідливих мікроорганізмів.

Для досягнення цих вимог зернонавантажувачі повинні бути обладнані сучасними механізмами та технологіями, які забезпечують точність і надійність виконання всіх операцій. Використання високоякісних матеріалів та передових технологій дозволяє підвищити ефективність роботи та знизити витрати на обслуговування та ремонт обладнання.

Таким чином, зернонавантажувачі, що задовольняють вищезазначеним вимогам, є незамінними інструментами для забезпечення якісного та ефективного зберігання і обробки зерна на складах та інших об'єктах. Вони сприяють зниженню витрат, підвищенню продуктивності та збереженню якості зерна протягом усього циклу його обробки та зберігання.

Робочі органи зернонавантажувача повинні забезпечувати високу чистоту підбору зерна, з мінімальним забрудненням його домішками, а також добре копіювати профіль рельєфу. Це дозволяє ефективно збирати зерно, зберігаючи його якість і зменшуючи кількість відходів.

Зерноавантажувач повинен володіти високою маневреністю та можливістю швидкого перелаштування з одного виду роботи на інший. Це забезпечує гнучкість у роботі та дозволяє оперативно реагувати на зміну умов і потреб виробництва.

Залежно від типу робочих органів, зерноавантажувачі діляться на три основні групи:

1. **Скребкові зерноавантажувачі:** Ці машини використовують скребковий механізм для збору і переміщення зерна. Вони ефективні при роботі з великими обсягами зерна та на площах з рівним рельєфом. Скребкові зерноавантажувачі забезпечують надійне захоплення зерна та мінімальне пошкодження.
2. **Шнекові зерноавантажувачі:** Використовують шнековий механізм для переміщення зерна. Вони підходять для роботи на різних типах рельєфу та можуть забезпечувати високу точність і рівномірність завантаження. Шнекові зерноавантажувачі часто використовуються для завантаження зерносушарок та інших технологічних ліній.
3. **Комбіновані зерноавантажувачі:** Об'єднують у собі функції скребкових і шнекових механізмів, що дозволяє їм бути універсальними та ефективними у різних умовах. Вони можуть працювати на різних рельєфах і забезпечувати високу продуктивність при мінімальних витратах енергії.

Завдяки своїй конструкції та можливості адаптації до різних умов, зерноавантажувачі є незамінними інструментами в сільському господарстві, забезпечуючи ефективне збирання, переміщення і завантаження зерна.

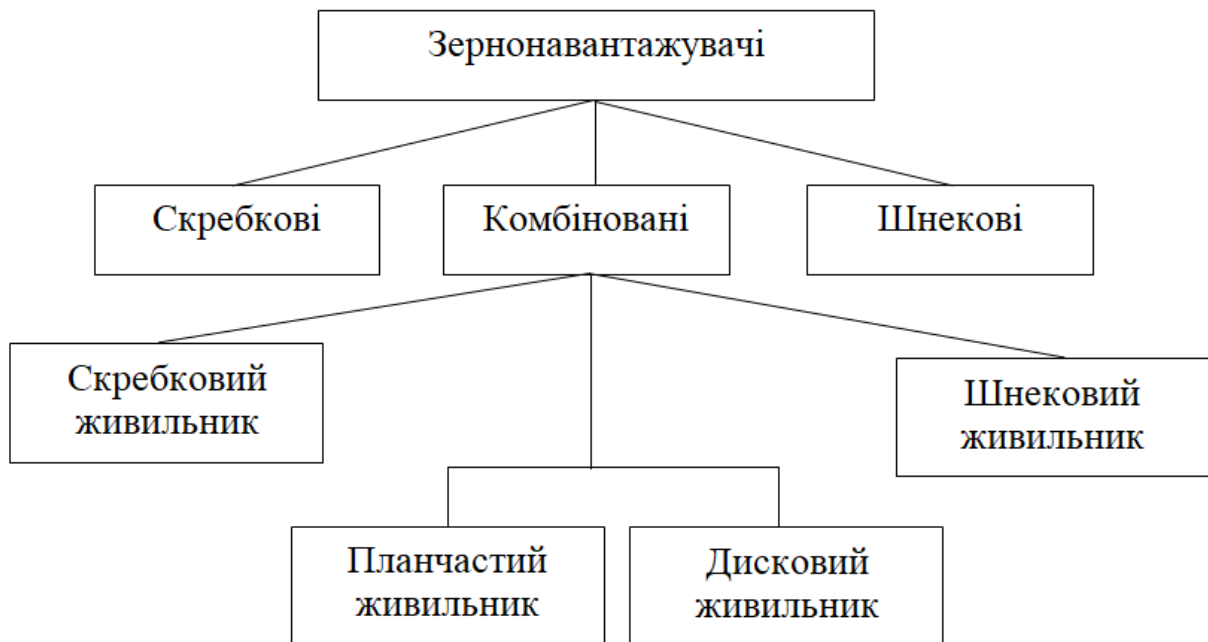


Рисунок 1.1 – Класифікація зерноавантажувачів

У комбінованих зерноавантажувачах транспортер може бути скребковим, а живильник – шнековим, дисковим, планчатим або транспортер може бути шнековим, а живильник – дисковим, скребковим, планчатим тощо. До комбінованих відносяться також зерноавантажувачі, у яких живильник і транспортер сполучені проміжною транспортуючою ланкою, яка може бути шнековою або скребковою. Це забезпечує гнучкість у використанні та можливість адаптації до різних умов і типів зерна.

Зерноавантажувачі всіх трьох груп – скребкові, шнекові та комбіновані – можуть бути причіпними, навісними або самопересувними. Це дає можливість вибору відповідної моделі залежно від конкретних потреб і умов експлуатації.

Скребкові і шнекові живильники можуть мати різні конфігурації розташування щодо подовжньої осі транспортера. Вони можуть бути:

- **Прямоточні:** забезпечують прямий потік зерна від живильника до транспортера, що підходить для простих і прямолінійних робіт.

- **Г-подібні:** дозволяють змінювати напрямок потоку зерна під кутом 90 градусів, що зручно для роботи в обмежених просторах або при завантаженні в транспортні засоби.
- **Т-подібні:** забезпечують розподіл потоку зерна на два різних напрямки, що підвищує ефективність і гнучкість використання навантажувача.

Завдяки різноманіттю конфігурацій і можливостей, комбіновані зернонавантажувачі забезпечують високу продуктивність і ефективність у різних умовах. Вони дозволяють оптимізувати процеси завантаження, обробки та транспортування зерна, що є критично важливим для забезпечення продовольчої безпеки та ефективної роботи зерноскладів.

Транспортер у зернонавантажувачах може бути розташований паралельно напрямку руху, перпендикулярно до нього або мати можливість повертатися на  $\pm 90^\circ$ . Це дозволяє забезпечити гнучкість у роботі і можливість адаптації до різних умов завантаження та розвантаження зерна.

У сучасних умовах широке застосування отримали самопересувні та навісні скребкові зернонавантажувачі з Т-подібним розташуванням живильника. Ці машини є високоефективними і зручними у використанні, забезпечуючи високу продуктивність і надійність у роботі.

Самопересувні зернонавантажувачі з Т-подібним живильником можуть бути двох типів:

1. **Зернонавантажувачі з жорстко закріпленим транспортером:** У цих моделях відвантажувальний транспортер жорстко закріплений по подовжній осі зернонавантажувача. Це забезпечує стабільність і надійність при завантаженні зерна. Прикладом такої моделі є зернонавантажувач ЗС-60.
2. **Зернонавантажувачі з поворотним транспортером:** У цих моделях відвантажувальний транспортер може повертатися на  $\pm 90^\circ$  щодо подовжньої осі зернонавантажувача. Це забезпечує більшу гнучкість у роботі, дозволяючи адаптуватися до різних умов завантаження і

розвантаження зерна. Прикладом такої моделі є зерноавантажувач ЗПС-60.

Живильник і поворотний транспортер у таких зерноавантажувачах сполучені проміжним транспортером, що забезпечує безперебійний потік зерна та ефективно виконання всіх операцій.

Ці інноваційні рішення дозволяють підвищити ефективність роботи зерноавантажувачів, забезпечуючи високу продуктивність, мінімальні витрати енергії та зниження пошкоджень зерна. Завдяки цьому зерноавантажувачі є незамінними у сучасному сільському господарстві, забезпечуючи якісне і надійне виконання всіх необхідних операцій з зерном.

Представником навісних зерноавантажувачів з Т-подібним живильником є зерноавантажувач ЗПН-60. Ця модель є ефективним рішенням для роботи на зернових токах, забезпечуючи високу продуктивність і надійність у різних умовах експлуатації.

Принципова схема зерноавантажувача вибирається залежно від його призначення з урахуванням економічної ефективності. Оптимальний вибір схеми дозволяє забезпечити максимальну продуктивність при мінімальних витратах ресурсів.

Ефективність використання зерноавантажувача під час масового прибирання і доробки зерна на токах залежить від кількості операцій, які він може виконувати, його маневреності, швидкості перелаштування з однієї операції на іншу, а також від відповідності продуктивності зерноавантажувача обсягу зерна, що надходить на тік.

За існуючої технології збирання всю післязбиральну доробку зерна виконують на токах. Характеристики потоків ряду господарств різних сільськогосподарських зон включають розміри току і кількість зерна, що надходить на нього від комбайнів. Це є основним чинником, що визначає необхідну продуктивність зерноавантажувача.

Для току з сезонним надходженням зерна в кількості до 2000 тонн зазвичай використовують зерноавантажувач з продуктивністю 25–30 тонн на

годину. При надходженні 3000–6000 тонн зерна доцільно використовувати зерноавантажувач з продуктивністю 60 тонн на годину.

Важливо враховувати, що вибір зерноавантажувача повинен також залежати від додаткових факторів, таких як тип і вологість зерна, умови зберігання, та наявність додаткового обладнання для обробки зерна. Наприклад, вологе зерно вимагає особливої уваги при завантаженні і транспортуванні, щоб запобігти його псуванню.

Таким чином, навісні зерноавантажувачі, такі як ЗПН-60, є важливими інструментами в процесі збирання та обробки зерна. Вони забезпечують ефективну і швидку роботу, знижуючи витрати і підвищуючи продуктивність у сільськогосподарських господарствах різних розмірів і з різними обсягами зернових культур.

## **1.2 Роль живильника при роботі зерноавантажувача**

Тип живильника і його розташування відносно подовжньої осі транспортера визначають характер переміщення зерноавантажувача під час роботи та вплив робочих органів на зерно. Зерноавантажувачі зі скребковим живильником прямого розташування, який повертається тільки у вертикальній площині або має просту технологічну схему (рис. 1.2, а), мають певні особливості у роботі. Живильник у таких системах опускається на зерно зверху з боку торця кагату. При захопленні і транспортуванні зерна зерноавантажувач уздовж кагату не переміщається. Основним недоліком такого живильника є захоплення зерна вузькою смугою, що може знижувати ефективність процесу.

Живильник з Г-подібним розташуванням може працювати як при періодичному, так і при безперервному поступальному переміщенні зерноавантажувача під час завантаження. Це забезпечує більшу гнучкість та ефективність у роботі. При періодичному переміщенні живильник захоплює



зерно порціями, що підходить для роботи на менших обсягах або у складних умовах. При безперервному переміщенні зерноавантажувач може працювати більш продуктивно, забезпечуючи безперервний потік зерна.

Вибір типу живильника і його розташування значно впливає на продуктивність і ефективність зерноавантажувача. Для оптимальної роботи слід враховувати специфічні вимоги до обробки зерна, умови зберігання і транспортні можливості. Використання різних типів живильників дозволяє адаптувати зерноавантажувачі до різних умов експлуатації, забезпечуючи високу якість і швидкість виконання робіт.

Розглянемо більш детально характеристики і переваги різних типів живильників:

**1. Прямоточний скребковий живильник:**

- Переваги: Простота конструкції, надійність у роботі.
- Недоліки: Обмежена ширина захоплення зерна, що може знижувати продуктивність.

**2. Г-подібний живильник:**

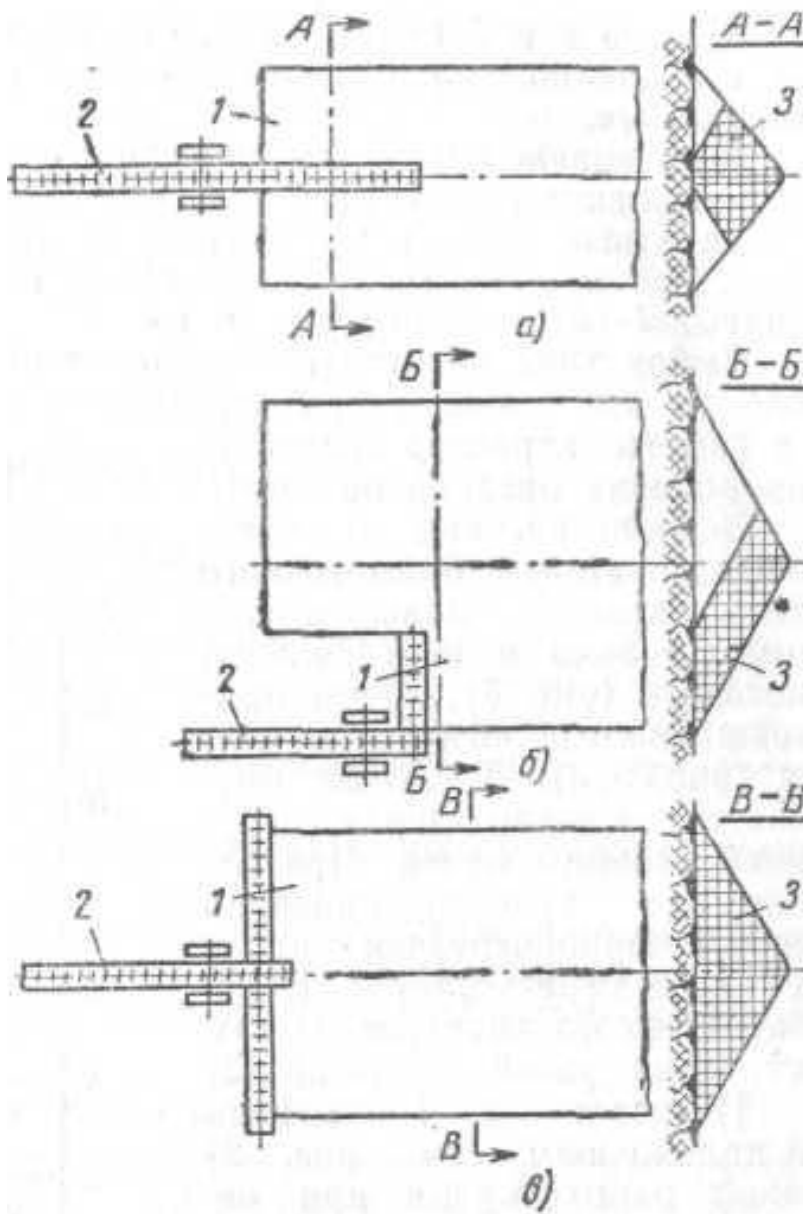
- Переваги: Можливість роботи як при періодичному, так і при безперервному переміщенні, що забезпечує гнучкість у використанні.
- Недоліки: Складність конструкції може вимагати більшого технічного обслуговування.

**3. Т-подібний живильник:**

- Переваги: Забезпечує рівномірний розподіл зерна і високу ефективність при роботі на великих площах.
- Недоліки: Може бути складнішим в обслуговуванні та налаштуванні.

Вибір зерноавантажувача з відповідним типом живильника є важливим рішенням для забезпечення ефективної і продуктивної роботи на зернових складах та токах. Оптимально підібраний живильник дозволяє знизити витрати,

підвищити якість обробки зерна і забезпечити стабільну роботу у різних умовах.



1 – кагат; 2 – зерноавантажувач; 3 – зерно, що забирається живильником за один прохід.

Рисунок 1.2 – Положення різних типів зерноавантажувачів при вивантаженні зерна з кагату

Якщо захоплення і транспортування зерна здійснюються при безперервному поступальному переміщенні зерноавантажувача під час завантаження, то живильник входить у зерно при горизонтальному його положенні з торця кагату (рис. 1.2, б). У такому випадку живильник зустрічає

значний лобовий опір, а робочі органи недостатньо ефективно діють на зерно, оскільки нижні шари кагату є найбільш ущільненими. При роботі скребкового живильника скребки впливають на зерно тільки своєю передньою кромкою, що обмежує ефективність захоплення. У випадку шнекового живильника, вплив на ущільнені шари призводить до виштовхування живильника із зерна.

З іншого боку, якщо захоплення і транспортування зерна здійснюються без безперервного поступального переміщення зерноавантажувача під час завантаження, живильник з Г-подібним розташуванням опускається на зерно на деякій відстані від сторони торця кагату. У цьому випадку живильник переміщається у вертикальній площині. Недоліком такого підходу є те, що живильник з Г-подібним розташуванням має ті ж самі обмеження, що і живильник з прямоточним розташуванням, зокрема труднощі з обробкою ущільнених нижніх шарів зерна.

Живильник з горизонтальним входженням.

Значний лобовий опір, обмежена ефективність дії на ущільнені шари зерна.

Використання потужніших механізмів або додаткових насадок, які можуть зменшити опір і покращити захоплення зерна.

Живильник з Г-подібним розташуванням.

Недостатня ефективність при роботі з ущільненими нижніми шарами зерна.

Оптимізація конструкції живильника для забезпечення більш рівномірного розподілу зусиль на зерно, використання додаткових елементів для полегшення обробки ущільнених шарів.

Крім того, можна розглянути вдосконалення конструкцій зерноавантажувачів для підвищення їх ефективності. Наприклад:

Використання адаптивних систем управління, які автоматично налаштовують параметри роботи живильника в залежності від умов і типу зерна.

Впровадження сучасних матеріалів і технологій для зниження лобового опору і підвищення довговічності робочих органів.

Розробка модульних систем, які дозволяють швидко змінювати насадки і налаштовувати зерноавантажувач для виконання різних завдань.

Такі вдосконалення дозволять значно підвищити продуктивність і ефективність зерноавантажувачів, забезпечуючи високу якість обробки зерна і зниження витрат на експлуатацію.

Живильники з Г-подібним розташуванням (без поступального переміщення зерноавантажувача під час завантаження) можуть повертатися як у горизонтальній, так і у горизонтальній і вертикальній площинах.

**Живильники, що повертаються тільки в горизонтальній площині:**

- **Конструкція:** Ланцюг живильника розташовується горизонтально, а робоча частина ланцюга спирається на підпірну вертикальну стінку.
- **Переваги:** Це сприяє кращій дії скребків на зерно та збільшенню коефіцієнта заповнення. Така конструкція дозволяє ефективніше захоплювати зерно і зменшує втрати під час навантаження.

**Живильники, що повертаються у горизонтальній і вертикальній площинах:**

- **Конструкція:** Працюють подібно до живильників з прямоточним розташуванням, але з більшою площею дії скребків на зерно.
- **Переваги:** Площа дії скребків на зерно з однієї позиції значно більша, ніж у прямоточних живильників, що підвищує ефективність роботи і забезпечує краще захоплення зерна.

**Живильники з Т-подібним розташуванням:**

- **Конструкція:** Виконують захоплення і транспортування зерна тільки при поступальному переміщенні зерноавантажувача під час завантаження (рис. 1.2, в).
- **Недоліки:** Подібні до недоліків живильника з Г-подібним розташуванням, включаючи обмеження при роботі з ущільненими нижніми шарами зерна.

### **Переваги та недоліки кожного типу живильника:**

#### **1. Г-подібні живильники (горизонтальна площина):**

- **Переваги:** Краща дія скребків на зерно, збільшення коефіцієнта заповнення.
- **Недоліки:** Обмеження в адаптації до змінних умов завантаження.

#### **2. Г-подібні живильники (горизонтальна і вертикальна площини):**

- **Переваги:** Більша площа дії скребків, ефективність при роботі з великими обсягами зерна.
- **Недоліки:** Складність конструкції, можливість підвищених витрат на технічне обслуговування.

#### **3. Т-подібні живильники:**

- **Переваги:** Висока продуктивність при поступальному переміщенні.
- **Недоліки:** Обмеження при роботі з ущільненими шарами, необхідність постійного переміщення для захоплення зерна.

Вибір відповідного типу живильника залежить від конкретних умов експлуатації та вимог до процесу завантаження зерна. Оптимізація конструкції та використання сучасних технологій дозволяє підвищити ефективність роботи зерноавантажувачів, забезпечуючи надійне і швидке завантаження зерна в різних умовах.

Дисковий живильник за технологічною схемою належить до живильників з Т-подібним розташуванням, а планчатий живильник – до живильників з прямоточним розташуванням. Вибір типу живильника визначає основні характеристики роботи зерноавантажувача, зокрема його ефективність і продуктивність.

Вибір типу транспортера залежить від загальної схеми зерноавантажувача та умов його застосування. Транспортування зерна можна здійснювати за допомогою різних типів транспортерів, таких як стрічкові, шнекові, скребкові, ковшові, вібраційні та пневматичні. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки. Стрічкові транспортери є простими у конструкції та забезпечують високу швидкість транспортування, але не рекомендуються для

використання на зерноавантажувачах через нерівномірне завантаження та складність обслуговування. Шнекові транспортери ефективні для транспортування зерна на невеликі відстані і забезпечують рівномірний потік, але мають складний привід і обмежену продуктивність.

Скребкові транспортери відзначаються високою продуктивністю, простим приводом і надійністю, що робить їх раціональним вибором для високопродуктивних зерноавантажувачів. Ковшові транспортери дозволяють здійснювати вертикальний підйом зерна, але мають складну конструкцію і високу вартість. Вібраційні транспортери мінімально впливають на зерно, зберігаючи його цілісність, але мають низьку продуктивність і обмежене застосування. Пневматичні транспортери є легкими та гнучкими у використанні, але потребують потужного вентилятора і двигуна для досягнення необхідної продуктивності, що збільшує енергетичні витрати.

Таким чином, вибір типу транспортера повинен враховувати конкретні потреби і умови експлуатації зерноавантажувача. Для високопродуктивних зерноавантажувачів доцільніше використовувати скребкові транспортери, тоді як для менш продуктивних машин можна застосовувати шнекові транспортери. Пневматичні транспортери можуть бути корисними в умовах, де важлива легкість і гнучкість, проте потребують значних енергетичних витрат.

Положення транспортера, паралельне напрямку руху зерноавантажувача, не забезпечує ефективного формування кагатів з розрізнених куп і завантаження в автомобільні і тракторні потяги. Тому доцільно використовувати транспортер, що може повертатися на кут  $\pm 90^\circ$ . Для роботи на відкритих токах достатньо транспортерів з Г-подібним розташуванням, тоді як для роботи в закритих приміщеннях необхідні поворотні транспортери, які забезпечують більш гнучке і ефективне завантаження.

Спосіб агрегування зерноавантажувачів визначається типом і розташуванням живильника. Скребкові і шнекові живильники з Т-подібним розташуванням, а також дискові живильники можуть використовуватися тільки на самопересувних і навісних зерноавантажувачах з безперервним

переміщенням. Це обумовлено їх конструктивними особливостями, які вимагають постійного руху для забезпечення ефективного захоплення і транспортування зерна.

Скребкові і шнекові поворотні живильники з Г-подібним розташуванням, а також планчаті живильники можуть застосовуватися на зерноавантажувачах як з періодичним, так і з безперервним переміщенням. Це дозволяє використовувати їх на причіпних, навісних і самопересувних машинах, забезпечуючи вищу універсальність і гнучкість в експлуатації. Завдяки цьому, поворотні живильники з Г-подібним розташуванням і планчаті живильники є більш універсальними у порівнянні з живильниками з Т-подібним розташуванням.

Привід самопересувних і причіпних зерноавантажувачів здійснюється від двигуна внутрішнього згорання або від електродвигуна. Це забезпечує надійність і стабільність роботи обладнання в різних умовах експлуатації, дозволяючи вибирати оптимальний варіант приводу залежно від доступних ресурсів і специфічних вимог до роботи.

Загалом, правильний вибір типу і розташування живильника та транспортера, а також способу агрегування зерноавантажувачів, дозволяє забезпечити ефективне і продуктивне виконання всіх необхідних операцій з обробки та транспортування зерна. Це сприяє підвищенню продуктивності праці та зниженню витрат на експлуатацію обладнання, що є важливим фактором у забезпеченні продовольчої безпеки та економічної ефективності сільськогосподарських підприємств.

Привід навісних зерноавантажувачів здійснюється від валу відбору потужності (ВВП) трактора або самохідного шасі. Вибір типу живильника визначає, чи будуть навісні зерноавантажувачі працювати з періодичним або безперервним переміщенням. Навісні зерноавантажувачі з періодичним переміщенням мають складнішу кінематичну схему, оскільки вони повинні переміщатися уздовж кагату з малими швидкостями, забезпечуючи рівномірне

завантаження зерна. Цей тип обладнання вимагає точного контролю та координації рухів, що ускладнює його конструкцію.

У навісних зернонавантажувачів з безперервним переміщенням кінематична схема є менш складною. Вони відрізняються більшою маневреністю і швидкістю виконання робіт, що робить їх зручнішими у використанні на великих площах або при обробці значних обсягів зерна. Ці машини здатні ефективно виконувати завантаження, переміщуючись без зупинок, що підвищує загальну продуктивність.

Інший тип зернонавантажувачів з періодичним переміщенням включає малі пересувні навантажувачі. Їх переміщення здійснюється за допомогою мускульної сили або простих механізмів. Ці навантажувачі призначені для роботи на невеликих обсягах зерна і можуть бути корисні в умовах, де використання більш складної техніки є економічно не вигідним або технічно неможливим.

Таким чином, вибір приводу і типу переміщення зернонавантажувача залежить від специфічних умов і вимог роботи. Правильне поєднання цих факторів дозволяє оптимізувати процеси завантаження і обробки зерна, підвищуючи ефективність і продуктивність сільськогосподарських робіт. Це сприяє зниженню витрат і забезпечує стабільну роботу обладнання, що є важливим для досягнення високих показників у сільськогосподарському виробництві.

### **1.3 Огляд конструкцій зернонавантажувачів-аналогів**

Шнекові пересувні навантажувачі зерна ШПЗ-30, як зображено на рис. 1.3, є ефективними інструментами для вантаження і перевантаження зернових і зернобобових культур на відкритих майданчиках та в складах, включаючи ті з невеликими об'ємами. Ці навантажувачі широко використовуються на підприємствах агропромислового комплексу (АПК) та у фермерських



господарствах завдяки їх низькій енергоємності, високій маневреності і надійності.

Пересувний шнековий навантажувач зерна ШПЗ-30, здатний обробляти до 30 тонн зерна на годину, є незамінним помічником для фермерів і великих сільськогосподарських підприємств. Він значно спрощує і прискорює виконання ряду важливих технологічних операцій.

ШПЗ-30 дозволяє швидко і ефективно завантажувати зерно в склади і вивантажувати його для подальшої обробки або транспортування.

Цей навантажувач забезпечує оперативне завантаження зерна в автомобілі і тракторні причепи, що знижує час на транспортування і підвищує загальну ефективність логістики.

ШПЗ-30 допомагає у механічному перелопачуванні (перебуртовці) зерна, що є важливим етапом під час підвезення зерна від комбайнів, зменшуючи зусилля і час, необхідні для цієї операції.

Навантажувач сприяє формуванню буртів з куп зерна, що доставляються транспортними засобами, забезпечуючи оптимальне зберігання і доступність зерна для подальших операцій.

Цей навантажувач забезпечує високу продуктивність і надійність у всіх умовах експлуатації. Його використання сприяє механізації важливих навантажувально-розвантажувальних робіт, що значно підвищує ефективність сільськогосподарських процесів і знижує витрати на ручну працю. Шнекові пересувні навантажувачі зерна ШПЗ-30 є невід'ємною частиною сучасних агропромислових і фермерських господарств, забезпечуючи якісне виконання всіх необхідних операцій з зерном.



Рисунок 1.3 – Шнековий пересувний навантажувач зерна ШПЗ-30

Технічні характеристики:

Довжина шнека – 7,3 м;

Діаметр труби шнека – 200 мм;

Оберти шнека – 280 об/хв;

Продуктивність – 30, т/год;

Встановлена потужність – 4,0 кВт;

Максимальна висота підйому з горизонту - 3,6 м;

Максимальний кут підйому – 60°;

Максимальний кут підйому з горизонту – 30°;

Вага – 300кг.

Шнековий навантажувач ПШ-4, рис.1.4.



Рисунок 1.4 – Шнековий навантажувач ПШ-4

Продуктивність по зерну пшениці (при густині  $760 \text{ кг/м}^3$  і вогкості 14%)  
- 6 т/год;

Встановлена потужність - 0,75 кВт;

Число обертів валу -  $38,6 \text{ с}^{-1}$  ;

Діаметр витків шнека - 90 мм

Габаритні розміри - 5040x975x3816 мм;

Маса - 136 кг.

Переносні шнекові навантажувачі, рис. 1.5 [31].



а - ПШП-4А; б - СК-2.08.000; в - СБВС-5.14.000.  
Рисунок 1.5 – Переносні шнекові навантажувачі

Переносні шнекові навантажувачі призначені для завантаження і вивантаження зерна на складах, у сушарках, сховищах, на фермах, а також для вантаження інших сипких продуктів. Вони ефективно забезпечують переміщення зерна і сипучих матеріалів, що сприяє оптимізації складських і виробничих процесів.

Основні технічні дані переносних шнекових навантажувачів  
ПШП-4А

- Продуктивність (по пшениці, вологістю 16-18% при куті нахилу 45°): 4 т/год
- Межі регулювання кута нахилу: 45°
- Найбільша висота підйому матеріалу: 2300 мм
- Габаритні розміри: Довжина - 4000 мм, діаметр - 110 мм
- Маса: 53 кг  
СК-2.08.000
- Продуктивність (по пшениці, вологістю 16-18% при куті нахилу 45°): 12 т/год
- Межі регулювання кута нахилу: 30-45°
- Найбільша висота підйому матеріалу: 3100 мм
- Габаритні розміри: 4000 мм x 2000 мм x 4000 мм
- Маса: 250 кг  
СБВС-5.14.000
- Продуктивність (по пшениці, вологістю 16-18% при куті нахилу 45°): 30 т/год
- Межі регулювання кута нахилу: 30°
- Найбільша висота підйому матеріалу: 1500 мм
- Габаритні розміри: Довжина - 2900 мм, діаметр - 230 мм
- Маса: 125 кг

Ці навантажувачі різняться за продуктивністю, габаритами і масою, що дозволяє вибрати оптимальний варіант залежно від специфічних вимог до роботи. Навантажувач ПШП-4А є легким і компактним, що робить його зручним для використання в умовах обмеженого простору. Навантажувач СК-2.08.000 має більшу продуктивність і висоту підйому, що робить його підходящим для більш інтенсивного використання. Модель СБВС-5.14.000 вирізняється найвищою продуктивністю серед трьох, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги зерна.

Завдяки цим технічним характеристикам, переносні шнекові навантажувачі є важливими інструментами для забезпечення ефективної роботи

в сільському господарстві та на виробництвах, де потрібна оперативність і надійність у переміщенні зерна і сипких матеріалів.



Рисунок 1.6 – Зерноавантажувач шнековий ЗПШ-50

#### Результати випробувань зерноавантажувача шнекового ЗПШ-50

Зерноавантажувач шнековий ЗПШ-50 призначений для похилого і горизонтального транспортування зернових, зернобобових і олійних культур, а також для механізації навантажувально-розвантажувальних робіт на токах і складах у відкритих і закритих приміщеннях. Він може також використовуватися в лініях по обробці насіння різних культур.

#### Якість роботи.

При випробуваннях зерноавантажувача на транспортуванні пшениці вологістю 14%, дроблення зерна склало 0,18%, що відповідає вимогам нормативної документації. Висота вантаження досягала 3 метрів, а

продуктивність складала 50 тонн на годину. Це свідчить про високу ефективність машини.

#### Умови експлуатації.

Зернонавантажувач може працювати з зерном вологістю до 35%. Він є пересувним і має електричний привід з потужністю 1,65 кВт. Трудомісткість щозмінного технічного обслуговування складає 0,05 людино-годин, що свідчить про високу зручність в експлуатації. Машина також має високу експлуатаційну надійність і зручність управління.

#### Опис конструкції машини.

Шнековий навантажувач складається з шнекового транспортера, встановленого на опорну раму. Основні вузли машини включають шнек, завантажувальний бункер, опорну раму, приводний пристрій і пульт управління. Зерно подається в завантажувальний бункер, де захоплюється обертовою спіраллю шнека і переміщується по трубі до вихідного отвору. Навантажувач оснащений гвинтовим пристроєм для регулювання кута нахилу шнека, що дозволяє змінювати висоту завантаження і вивантаження зерна.

#### Технічна характеристика.

Основні габаритні розміри машини при максимальній висоті вантаження складають: довжина – 4700 мм, ширина – 2380 мм, висота – 4100 мм. При мінімальній висоті вантаження: довжина – 5250 мм, ширина – 2830 мм, висота – 2900 мм. Маса навантажувача складає 390 кг.

#### Результати випробувань.

Під час випробувань навантажувач працював на транспортуванні пшениці вологістю 14%. Дроблення зерна склало 0,18%, що відповідає нормативним вимогам. Продуктивність на транспортуванні пшениці склала 50 тонн на годину, з питомою витратою електроенергії 0,033 кВт.год/т. Кількість обслуговуючого персоналу – 1 людина.

#### Безпека.

Зернонавантажувач оснащений захисними огорожами, що забезпечує безпечне обслуговування. Рівень шуму на робочому місці оператора склав 79 дБА, а концентрація пилю – 1,2 мг/м<sup>3</sup>.

Технічне обслуговування.

Проводилися наступні види технічного обслуговування: при експлуатаційній обкатці, щозмінне і періодичне. Питома сумарна трудомісткість технічного обслуговування склала 0,01 людино-годин на годину експлуатації, що підкреслює простоту і зручність обслуговування машини.

Машина знаходить застосування в господарствах тих, що займаються вирощуванням і переробкою зернових, зернобобових і олійних культур.

До таких же переносних навантажувачів можна віднести сімейство транспортерів шнекових з різним діаметром труби, наприклад, 219 мм, завдовжки 11,4 м, кутом нахилу 40 град, рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Транспортер шнековий

### **Загальні відомості**

Модель: КО.91.00

Діаметр труби: 219 мм

Продуктивність: до 18 т/год

Кут нахилу: від 0 до 40 градусів

Довжина транспортування: 11,4 м



Конвеєр гвинтовий (шнековий) призначений для транспортування сипких матеріалів.

### **Огляд конструкцій навантажувача.**

Завершимо наш огляд, розглянувши шнековий навантажувач, також відомий як "гармата". Цей тип навантажувача є ефективним інструментом для транспортування сипучих матеріалів, забезпечуючи високу продуктивність та гнучкість в умовах різного нахилу транспортувального тракту.



Рисунок 1.8 – Навантажувач шнековий

Конструкція сімейства таких навантажувачів варіюється за діаметром шнека та його довжиною, що безпосередньо впливає на їх продуктивність та інші технічні характеристики. Різні моделі можуть мати різні параметри, що дозволяє підібрати оптимальний варіант для конкретних потреб.

Після ознайомлення з існуючими конструкціями навантажувачів можна дійти висновку, що є доцільним створення малогабаритного навантажувача, який поєднував би механізоване налаштування кута встановлення та інші зручні функції, але при цьому залишався б простим у конструкції та доступним за ціною. Такий навантажувач міг би забезпечити високу ефективність і зручність використання, не вимагаючи значних витрат на обслуговування та експлуатацію.

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНА

### 2.1 Будова, принцип роботи базової конструкції навантажувача НЗ-5

Навантажувач призначений для декількох основних завдань. Перш за все, він забезпечує завантаження зерна в бункер протруювача насіння шнекового ПНШ-3 "Фермер", що дозволяє підтримувати безперервну роботу протруювача. Крім того, навантажувач використовується для завантаження зерна в кузови транспортних засобів із бортів та насипів, що значно полегшує транспортування зерна.

Також навантажувач ефективно застосовується для переміщення зерна при роботах у зерносховищах, на токах і майданчиках з накриттям. Це робить його незамінним інструментом для підприємств агропромислового комплексу та фермерських господарств, де важливо забезпечити оперативне і ефективне оброблення зернових культур.

Технічні характеристики навантажувача НЗ-5 наведені в таблиці 1.5, яка детально описує його продуктивність, розміри та інші ключові параметри. Використання цього навантажувача сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарських робіт, забезпечуючи надійність і зручність в експлуатації.

Навантажувач являє собою пересувну машину на двох опорних колесах, яка пересувається вручну. Він складається з наступних компонентів: шнека 1 (рис. 2.1), складеного з двох роз'ємних частин, забірника зерна 2, електродвигуна 3, клинопасової передачі приводу шнека 4, гнучкого рукава з вивантажувальною горловиною 5, ручки управління горловиною 6, опори на двох колесах 7, ручної лебідки 8, і електричного пульта керування 9.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика

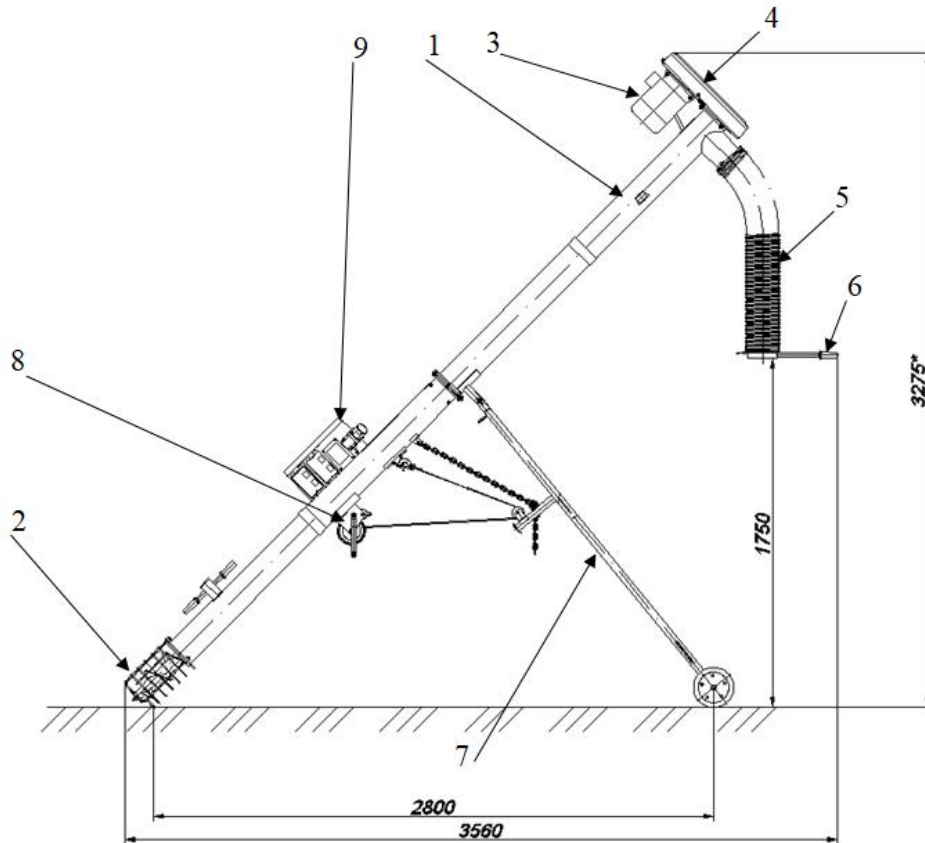
Назва параметру та розміру	Одиниця виміру	Норма
Марка		НЗ-5
Тип		Пересувний
Продуктивність за 1 год. основного часу (на зерні пшениці) до	т/год	5
Споживана потужність на максимальній продуктивності, не більше	кВт	1,5
Висота вивантаження зерна, не більше	м	2,7
Кількість персоналу: при виконанні технічного процесу і обслуговуванні при монтажі	Люд.	1 - оператор 1-оператор + 1 - допоміжний робітник
Маса навантажувача суха (конструкційна) з повним комплектом робочих органів і приладь, не більше	кг	150
Габаритні розміри, не більше в робочому / транспортному положенні: довжина: ширина; висота	мм	3600/2300 1900/1900 3300/1500
Строк служби, не менше	років	5

Будова навантажувача показана на рис. 2.1. Привод шнека є електричним, живлення надходить від мережі змінного струму з напругою 380В через силовий кабель на пульт керування (рис. 2.4), а звідти на електродвигун. Електродвигун працює в режимі “завантажувальному”, забезпечуючи забір і подачу зерна.

Додаткові елементи навантажувача включають:

1. Забірник зерна, який забезпечує ефективне всмоктування і подачу зерна до шнека.
2. Гнучкий рукав, що дозволяє зручно направляти зерно до вивантажувальної горловини.

3. Ручку управління горловиною, яка полегшує процес вивантаження зерна.
4. Ручну лебідку, що забезпечує додатковий контроль і стабільність під час роботи навантажувача.
5. Електричний пульт керування, що дозволяє зручно керувати всіма функціями навантажувача, забезпечуючи безпеку та ефективність роботи.



- 1 – шнек; 2 - забірник зерна; 3 – електродвигун; 4 - клинопосова передача;  
5 - гнучкий рукав; 6 - ручка управління горловиною; 7 – опора; 8 – лебідка  
ручна; 9 – електричний пульт керування

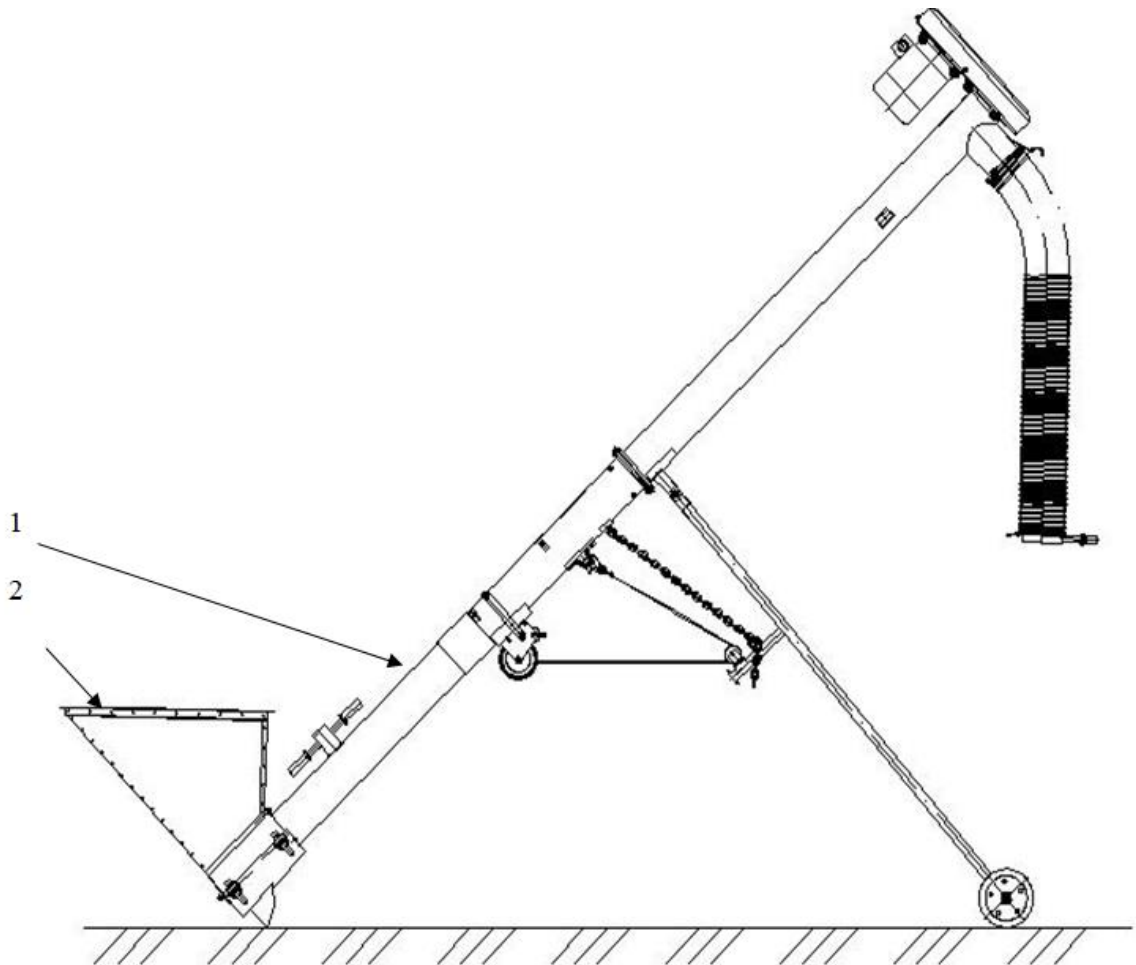
Рисунок 2.1 – Будова навантажувача НЗ-5

Управління роботою електродвигуна здійснюється за допомогою кнопок на пульті керування. Робота навантажувача повинна проводитися в стаціонарних умовах під навісами або в закритих приміщеннях (складах, зерносховищах) на площадках з твердим покриттям.

Для забезпечення максимальної продуктивності навантажувача, забірник зерна повинен постійно занурюватись у бурт. По мірі зменшення зони забору його необхідно періодично вручну переміщувати ближче до бурта.

Продуктивність навантажувача регулюється ступенем занурення забірника зерна в борт. Висота завантаження зерна регулюється ручною лебідкою, закріпленою на нижній частині шнека. Лебідка також використовується для опускання шнека в транспортне положення і підйому його у робоче положення.

Навантажувач може комплектуватися з бункером 2 (рис. 2.2).



1 – навантажувач зерна НЗ-5; 2 – Бункер.

Рисунок 2.2 – Модифікація НЗ-5

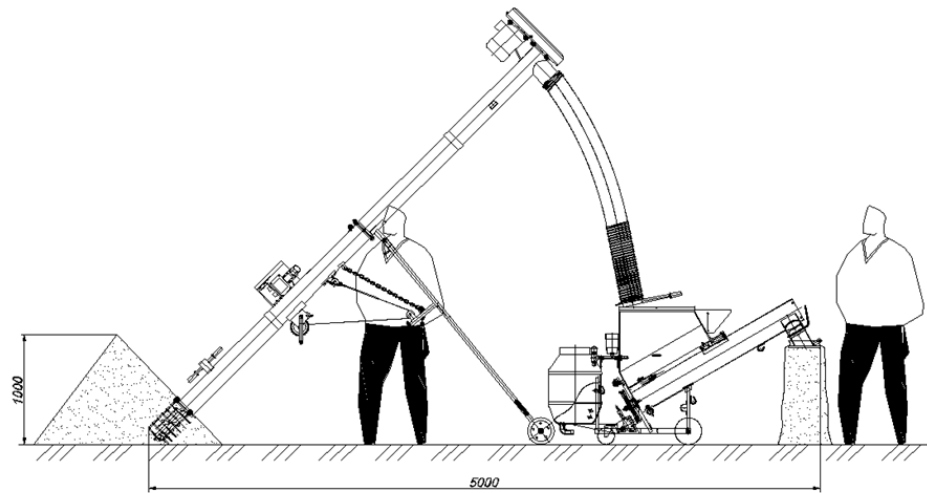


Рисунок 2.3 – Технологічна схема НЗ-5

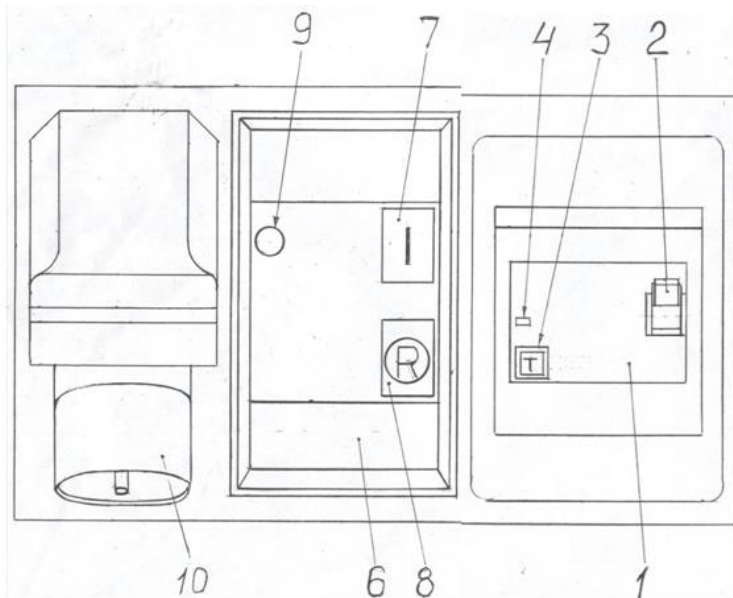
**Принцип роботи** Зерно підбирається з забірної частини і подається спіральним шнеком на висоту. Потім зерно зсипається через рукав у бункер ПНШ-3, де відбувається процес протруювання.

**Органи керування** До органів керування відносяться: пульт, лебідка та важіль підйому шнека, який розташований у нижній частині шнека. Пульт керування показаний на рис. 2.4.

#### Додаткові деталі

1. **Пульт керування:** Використовується для увімкнення та вимкнення електродвигуна, а також для регулювання швидкості обертання шнека.
2. **Лебідка:** Забезпечує підйом і опускання шнека, що дозволяє регулювати висоту завантаження зерна.
3. **Важіль підйому шнека:** Допомагає встановити шнек у потрібне положення для оптимальної роботи навантажувача.

Будова і розташування органів керування забезпечують зручність та безпеку експлуатації навантажувача.



1 - запобіжний вимикач струму; 2 - тумблер вмикання-вимикання мережі; 3 - кнопка тестування вмикання мережі; 4 - зелена сигнальна лампа під'єднання до електромережі; 6 - пускач на робочий режим; 7 - зелена кнопка "Пуск"; 8 - червона кнопка "Стоп"; 9 - червона сигнальна лампа вмикання електродвигуна; 10 - вилка стаціонарна для під'єднання силового кабелю

Рисунок 2.4 – Пульти керування

## 2.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

З проведеного аналізу випливає доцільність і необхідність створення простих і високоефективних навантажувачів. Такі машини будуть корисні в будь-якому господарстві. На ринку вже існують навантажувачі такого типу, наприклад, навантажувач НЗ-5. Ці машини є компактними, простими у використанні та достатньо надійними. Проте спільним недоліком усіх проаналізованих аналогів є відсутність механізованого регулювання, зокрема висоти вивантаження. Усі регулювання виконуються вручну, що здебільшого здійснюється перестановкою фіксуючого болта або обертанням лебідки, як у раніших модифікаціях НЗ-5.

Це потребує значних зусиль, часто вимагаючи залучення мускульної сили кількох працівників для здійснення необхідних налаштувань. Якщо такі налаштування потрібно виконувати протягом робочого дня кілька разів, наприклад, при завантаженні різних транспортних засобів або інших об'єктів, один оператор не в змозі впоратися з цим завданням самостійно.

Ця проблема спонукала розробити сервісний механізм з електричним приводом, який дозволяв би встановлювати необхідний кут підйому навантажувача та фіксувати його в цьому положенні за допомогою запуску сервісного двигуна. Такий механізм дозволить оператору самостійно, без залучення додаткової робочої сили, швидко та ефективно підлаштовувати висоту завантаження навантажувача протягом робочого дня.

Запропонований механізм може бути виконаний у вигляді пари гвинт-гайка, які будуть під'єднані до існуючої конструкції опор навантажувача. Це рішення покращить умови праці оператора, підвищить продуктивність завдяки скороченню часу на переналаштування, а також збільшить конкурентоспроможність машини на ринку.

### **2.3 Визначення граничних положень шнека навантажувача**

Коротко опишемо сервісний механізм, який пропонуємо встановити на навантажувач для встановлення і фіксації шнека. Суть розробки полягає в тому, щоб використати базові елементи конструкції опорної системи. Сам сервісний механізм буде у вигляді пари гвинт-гайка, де ведучим елементом буде гвинт, який приводиться в рух мотор-редуктором. Вся конструкція цієї пари буде змонтована в товстостінній трубі, яка матиме проріз для забезпечення ходу гайки з кронштейном для шарнірного кріплення розпірної труби.

Перш ніж перейти до силового розрахунку гвинтової пари, необхідно встановити її геометричні параметри, щоб забезпечити необхідний діапазон



підйому та опускання шнека. Важливо врахувати максимальну висоту підйому та мінімальну висоту опускання шнека для забезпечення ефективної роботи навантажувача.

Остання модифікація навантажувача, виконана на заводі, має подібний, але примітивніший сервісний механізм, що показано на рис. 2.1. Наше рішення включає покращену конструкцію, яка забезпечить надійніше та зручніше регулювання висоти шнека.

#### **Додаткові переваги запропонованого сервісного механізму:**

1. **Автоматизація процесу:** Завдяки мотор-редуктору, регулювання висоти шнека здійснюється автоматично, без необхідності застосування значних фізичних зусиль.
2. **Зменшення часу налаштування:** Оператор зможе швидко і точно налаштувати висоту шнека, що значно скорочує час на переналаштування під час роботи.
3. **Покращення безпеки:** Виключення необхідності ручного налаштування зменшує ризик травм і підвищує загальну безпеку оператора.
4. **Підвищення ефективності роботи:** Швидке і точне налаштування висоти шнека підвищує продуктивність навантажувача, що особливо важливо при роботі з різними типами транспортних засобів та іншими об'єктами.



Рисунок 2.5 – Навантажувач зерна НЗ-5 (заводська модифікація)

Як видно з рис. 2.6, встановлення необхідної висоти шнека виконується за допомогою ручної лебідки і фіксується повзунком спеціальним шплінтом. Недоліком такої конструкції є необхідність використання мускульної сили для переналаштування навантажувача, що не відповідає сучасним вимогам до машин.

Іншим значним недоліком є створення великих зусиль у місці приєднання лебідки, що в деяких випадках призводить до деформації кожуха шнека. Це неприпустимо для нормальної роботи шнека. Крім того, для фіксації повзунка в потрібному положенні потрібно, щоб співпали отвори на повзунку та фіксуючій планці для проходження шплінта. Це ускладнює процес налаштування, оскільки підняття та одночасна фіксація потребують залучення додаткового помічника, що веде до зайвих витрат.

Якщо такі налаштування потрібно виконувати багато разів за зміну, це значно знижує ефективність роботи та збільшує час на переналаштування.

Запропонований механізм з електричним приводом вирішує ці проблеми. Він складається з пари гвинт-гайка, де гвинт приводиться в рух мотор-редуктором. Вся конструкція буде змонтована в товстостінній трубі з прорізом для ходу гайки та кронштейном для шарнірного кріплення розпірної труби.

Переваги запропонованого механізму:

1. **Автоматизація процесу:** Регулювання висоти шнека здійснюється електрично, що виключає необхідність використання мускульної сили.
2. **Підвищення точності:** Оператор зможе легко і точно встановити необхідну висоту без залучення додаткових працівників.
3. **Зменшення часу налаштування:** Швидке і зручне налаштування підвищує продуктивність та ефективність роботи навантажувача.
4. **Покращення безпеки:** Автоматизоване регулювання знижує ризик травм і підвищує загальну безпеку оператора.
5. **Збільшення надійності:** Виключення ручної лебідки та шплінта знижує ризик деформації шнека та покращує загальну надійність конструкції.

Це рішення дозволяє відповідати сучасним стандартам і підвищити конкурентоспроможність навантажувача на ринку.

Сучасного рівня машини повинні бути максимально комфортними для користувача і тому електричний сервісний механізм підйому-опускання буде доречним.

Розглянемо кінематичну схему запропонованої конструкції механізму, рис. 2.7.

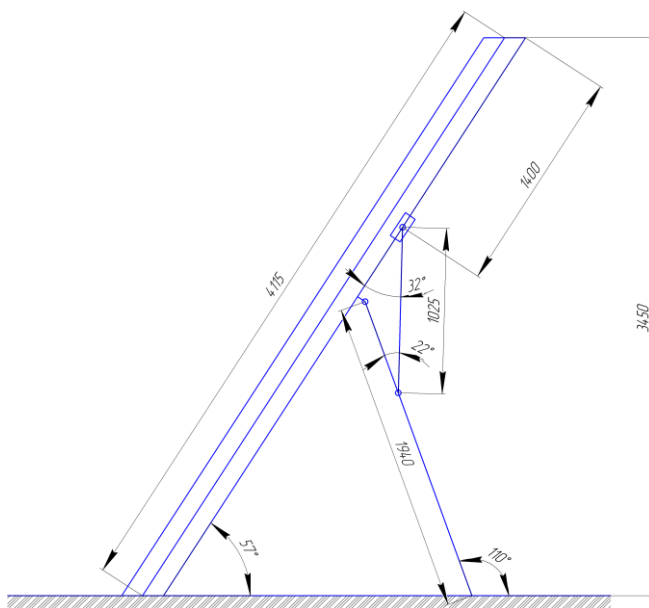


Рисунок 2.7 – Кінематична схема навантажувача в максимально верхньому положенні

При таких же параметрах визначимо мінімальну висоту вивантаження, рис. 2.8.

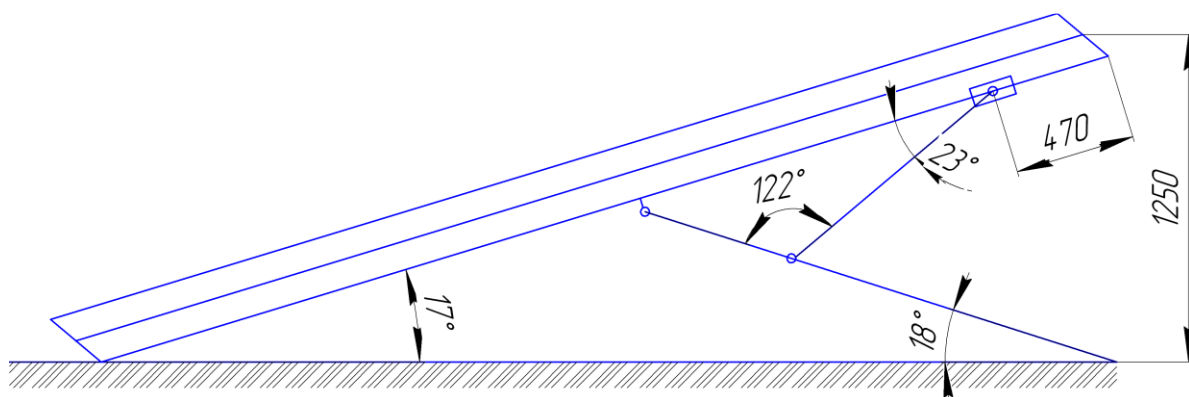


Рисунок 2.8 – Мінімальна висота встановлення навантажувача

Отже, діапазон встановлення висот шнека навантажувача (по трубі шнека) становить 1250...3450 мм, що є повністю задовільним. При цьому хід гвинта повинен становити (робоча довжина)

$$l = 1400 - 470 = 930 \text{ мм.}$$

Остаточно приймаємо  $l = 1000$  мм, тут додаємо ще припуски на висоту гайки та кріплення в підшипниках.

#### **2.4 Визначення навантаження на ведучий гвинт сервісного механізму**

Вважаємо, що вся маса навантажувача зосереджена в центрі шарніра, де кріпиться опорна вилка. Виходячи з цього, визначимо фактичну осьову силу, що діє на гвинт.

Для цього побудуємо розрахункову схему, де позначимо всі існуючі сили та невідомі реакції, як показано на рис. 2.9. Визначення невідомих реакцій або сил будемо проводити за допомогою рівнянь статички, а за необхідності – графо-аналітичним методом сил.

##### **Етапи розрахунку:**

1. **Побудова розрахункової схеми:** На схемі позначаємо всі сили, що діють на навантажувач, включаючи вагу навантажувача, силу реакції опори та осьову силу на гвинт.
2. **Застосування рівнянь статички:** Використовуємо основні рівняння статички (сума сил у вертикальному та горизонтальному напрямках, а також моментів) для визначення невідомих реакцій. Це дозволяє знайти значення сил, що діють на різні елементи конструкції.

3. **Графо-аналітичний метод сил:** За необхідності застосовуємо графо-аналітичний метод для більш точного визначення сил у складних випадках, коли рівнянь статички недостатньо.
4. **Визначення осьової сили на гвинт:** Виходячи з отриманих результатів, визначаємо фактичну осьову силу, що діє на гвинт, враховуючи всі сили та моменти, що впливають на навантажувач.

**Висновок:** Отримані дані дозволяють оптимізувати конструкцію сервісного механізму, забезпечуючи надійну та ефективну роботу навантажувача. Це також допоможе уникнути деформацій і підвищити загальну надійність системи.

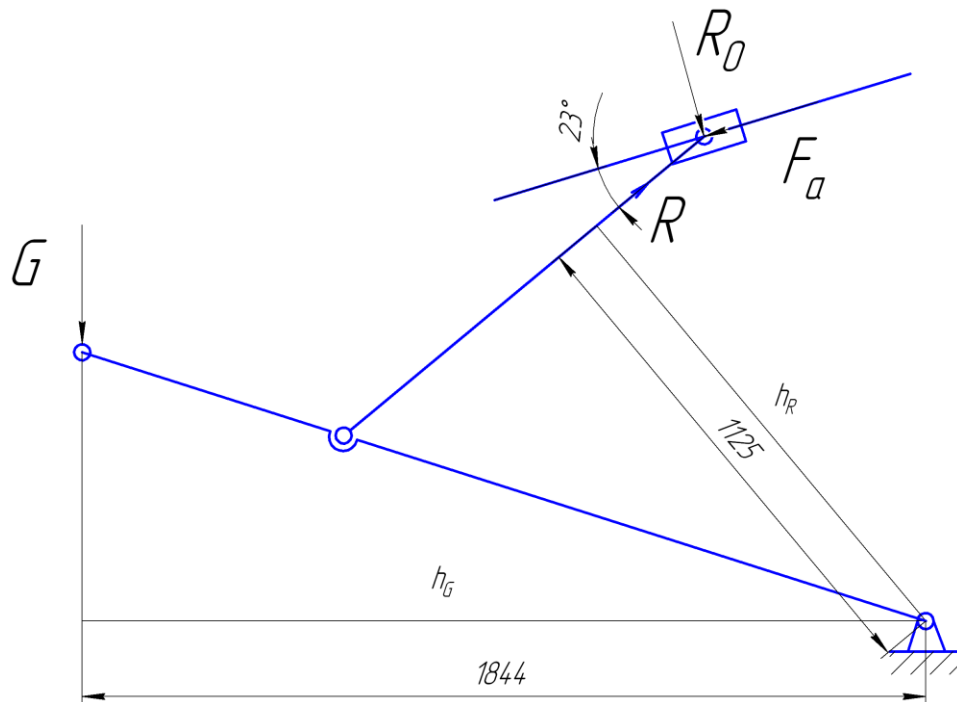


Рисунок 2.9 – Розрахункова схема

Розглядаємо рівновагу опорної вилки та розпірної труби. Для цього запишемо рівняння моментів відносно опорного колеса вилки.

$$-Gh_G + Rh_R = 0, \quad (2.1)$$

де  $G$  - повна завантажена маса навантажувача,  $G = 2000$  Н;

$h_G$  - плече сили  $G$ ,  $h_G=1,844$  м;

$R$  - реакція розпірної труби;

$h_R$  - плече реакції розпірної труби  $R$ ,  $h_R=1.125$  м.

Звідки

$$R = \frac{Gh_G}{h_R} = \frac{2000 \cdot 1.844}{1.125} = 3278.2 \text{ Н.}$$

Щоб перейти до навантаження на гвинт потрібно розкласти знайдену реакцію розпірної труби за напрямками – осьової сили гвинта  $F_a$  та реакції з боку направляючої труби втулки (гайки)  $R_0$ .

$$R_0 = R \cdot \sin 23^\circ = 3278.2 \cdot \sin 23^\circ = 1281 \text{ Н}; \quad (2.2)$$

$$F_a = R \cdot \cos 23^\circ = 3278.2 \cdot \cos 23^\circ = 3017.6 \text{ Н.} \quad (2.3)$$

Отже, таким чином знайдено вихідні навантаження на ведучий гвинт гвинтової пари гвинт-гайка.

### 3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок гвинтової пари сервісного механізму

Проектний розрахунок передачі гвинт-гайка, який включає визначення середнього діаметра різьби для забезпечення оптимальної роботи механізму

$$d_2 \geq \sqrt{F_a / (\pi \varepsilon \lambda [p])}. \quad (3.1)$$

Для того щоб узгодити діаметр різьби  $d_2$  з параметрами стандартної різьби, необхідно врахувати декілька важливих аспектів. По-перше, слід вибрати тип різьби, що забезпечить необхідну самогальмівну передачу в системі гвинт-гайка. Для цього доцільно використовувати трапецієподібну різьбу з малим кроком.

З огляду на це, рекомендується вибрати крок різьби  $P = 2$  мм та визначити необхідну кількість заходів різьби (число заходів  $z = 1$ ,  $\varepsilon = 1.5$ ). Окрім цього, враховуючи наведені вище рекомендації, слід прийняти такі параметри:

$$\lambda = \frac{H_1}{P} = \frac{0.5P}{P} = 0.5. \quad (3.2)$$

Середній діаметр різьби при нижньому положенні навантажувача, коли навантаження на гвинтову пару максимальне

$$d_2 \geq \sqrt{3017.6 / (3.14 \cdot 1.5 \cdot 0.5 \cdot 15)} = 9.2 \text{ мм};$$

Звідси впливає найближчий діаметр різьби,  $d_2 = 11$  мм. Тоді:  $d = 12$  мм,  $d_1 = 10$  мм,  $P = 2$  мм.

Найменша висота гайки

$$H = \varepsilon d_2 = 1.5 \cdot 11 = 16.5 \text{ мм.} \quad (3.3)$$

Приймаємо  $H = 40$  мм, з метою виключення дії згинного моменту на гвинт, оскільки до гайки буде приварений кронштейн, куди буде прикріплено розпірну трубу.

Виходячи з цього знайдемо число витків

$$z_B = H / P = 40 / 2 = 20. \quad (3.4)$$

Кут підйому витків різьби, виміряний по середньому діаметру, є важливим параметром, що визначає ефективність і надійність різьбового з'єднання. Цей кут визначається як тангенс співвідношення кроку різьби до кола, що проходить по середньому діаметру.

$$\operatorname{tg} \psi = Pz / (\pi d_2) = 2 \cdot 1 / (3.14 \cdot 11) = 0.0579, \quad (3.5)$$

де  $\psi = 3.325^\circ$ .

Зведений кут тертя у різьбі характеризує опір ковзанню між гвинтом і гайкою. Цей параметр визначається на основі коефіцієнта тертя  $f = 0.05$  між поверхнями різьби

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f}{\cos \delta} = \frac{0.05}{\cos 15^\circ} = 0.052^\circ, \quad (3.6)$$

$$\varphi' = 2.978^\circ.$$

Умова самогальмування різьбової пари  $\varphi' > \psi$  не виконується, оскільки



$$\varphi' < \psi .$$

Тоді дійсний к.к.д. передачі гвинт – гайка при розсуванні консолей

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} 3.325^{\circ}}{\operatorname{tg} (3.325^{\circ} + 2.978^{\circ})} = 0.526 .$$

### 3.2 Розрахунок проєктованої передачі за умовою стійкість проти спрацювання витків

Для розрахунку стійкості передачі проти спрацювання витків необхідно врахувати розрахунковий тиск у контакті витків при робочій висоті. Цей параметр дозволяє визначити, чи витримає різьбове з'єднання діючі навантаження без спрацювання витків.

$$H_1 = 0.5P = 0.5 \cdot 2 = 1.0 \text{ мм},$$

$$p = 3017.6 / (3.14 \cdot 11 \cdot 1.0 \cdot 20) = 4.37 \text{ МПа}.$$

Така умова виконується, оскільки

$$p = 4.37 \text{ МПа} < [p] = 15 \text{ МПа}.$$

Перевірка на міцність за напруженнями зрізу у витках [28, 38].

$$\tau_{zp} = 3017.6 / (3.14 \cdot 12 \cdot 0.65 \cdot 40) = 3.1 \leq [\tau]_{zp} = 50 \text{ МПа}.$$

Тут коефіцієнт повноти трапецеїдальної різьби  $k = 0,65$ .

Для витків сталевих гайок  $[\tau]_{зр} = 50$  МПа.

Отже, міцність витків на зріз забезпечується.

### 3.3 Розрахунок гвинта сервісного механізму на міцність

Нижня частина гвинта знаходиться тільки під дією розтягу. Тому напруження розтягу (стиску) у перерізі гвинта з внутрішнім діаметром різьби  $d_1$

$$\sigma_p = 4F_a / (\pi d_1^2) = 4 \cdot 3017.6 / (3.14 \cdot 10^2) = 38.4 \text{ МПа.} \quad (3.7)$$

Запас міцності гвинта за границею текучості

$$s = \sigma_m / \sigma_p = 363 / 38.4 = 9.5. \quad (3.8)$$

Отримане значення свідчить про достатній запас міцності.

Верхня частина гвинта, яка виступає понад гайкою, піддана впливу тільки обертового моменту  $T_s$ , що виникає від сил тертя у різьбі. Цей обертовий момент утримується за допомогою поступальних сил у корпусі.

$$T_s = 0.5 F_a d_2 \operatorname{tg}(\psi + \varphi') = 0.5 \cdot 3017.6 \cdot 11 \cdot \operatorname{tg}(3.325^\circ + 2.978^\circ) = 1832 \text{ Н мм;}$$

$$\tau = T_s / W_p = 16 T_s / (\pi \cdot d_1^3) = 16 \cdot 1832 / (3.14 \cdot 10^3) = 9.3 \text{ МПа.}$$

Тут також гвинт має достатньо високий запас міцності за границею текучості при крученні [15]

$$\tau_m = 0.6 \sigma_m = 0.6 \cdot 363 = 218 \text{ МПа.}$$

Отже, за таких умов передача є роботоздатною та міцною.

### 3.4 Перевірка на стійкість гвинта сервісного механізму

Конструкція сервісного механізму на основі пари гвинт-гайка підлягає перевірці гвинта на стійкість. Наш гвинт буде з обох боків закріплений у підшипникових опорах і тому вважатимемо, що його кінці шарнірно обперті. Максимальна довжина гвинта становитиме  $l=900$  мм. Тепер перемеримо розрахований діаметр гвинта на стійкість.

Приведена гнучкість гвинта  $\lambda$  визначається за формулою

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i}, \quad (3.9)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт приведення довжини. Згідно [38] при шарнірно опертих кінцях стержня  $\mu = 1$ ;

$l$  - довжина стяжки між опорами (центрами отворів),  $l = 900$  мм;

$i$  - радіус інерції поперечного перерізу стержня, мм. Для стержня суцільного круглого перерізу

$$i = \frac{d}{4} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ мм}. \quad (3.10)$$

Тоді

$$\lambda = \frac{1 \cdot 900}{2.5} = 360.$$

Критична гнучкість,  $\lambda_{кр}$  при перевищенні котрої для визначення критичного напруження використовується формула Ейлера, визначається за формулою

$$\lambda_{кр} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_{нс}}}, \quad (3.11)$$

де  $E$  - модуль Юнга матеріалу гвинта, МПа. Для сталюого гвинта приймаємо  $E = 2,16 \cdot 10^5$  МПа;

$\sigma_{nc}$  - границя пропорційності матеріалу гвинта,  $\sigma_{nc} = 300$  МПа.

$$\lambda_{кр} = \sqrt{\frac{3,14^2 \cdot 2,16 \cdot 10^5}{300}} = 84,3.$$

Так як  $\lambda > \lambda_{кр}$  ( $360 > 84,3$ ), то критичне напруження  $\sigma_{кр}$ , МПа, при якому гвинт втратить стійкість від дії на неї поздовжніх сил, визначається за формулою Ейлера

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}. \quad (3.12)$$

$$\sigma_{кр} = \frac{3,14^2 \cdot 2,16 \cdot 10^5}{360^2} = 16,4 \text{ МПа.}$$

Розрахункове напруження гвинта  $\sigma_{ст} = \sigma_p = 38,4$  МПа є більшим від критичного напруження при розрахунку на стійкість  $\sigma_{кр}$ , отже стійкість гвинта за цією умовою не забезпечиться. Тому приймаємо рішення про збільшення діаметра гвинта до межі забезпечення його стійкості, як визначального критерію

Вибираємо нові геометричні розміри гвинта: середній діаметр різьби,  $d_2 = 15$  мм; номінальний діаметр  $d = 16$  мм; внутрішній діаметр  $d_1 = 14$  мм при крокові  $P = 2$  мм.

Приведена гнучкість

$$\lambda = \frac{1900}{3,5} = 257,$$

Радіус інерції поперечного перерізу стяжки

$$i = \frac{d}{4} = \frac{14}{4} = 3.5 \text{ мм.}$$

Критична гнучкість

$$\lambda_{кр} = \sqrt{\frac{3,14^2 \cdot 2,16 \cdot 10^5}{300}} = 84,3.$$

Так як  $\lambda > \lambda_{кр}$  ( $257 > 84,3$ ), то критичне напруження  $\sigma_{кр}$ , МПа, при якому гвинт втратить стійкість від дії на неї поздовжніх сил, визначається за формулою Ейлера

$$\sigma_{кр} = \frac{3,14^2 \cdot 2,16 \cdot 10^5}{257^2} = 32.2 \text{ МПа.}$$

За новим діаметром гвинта перерахуємо дійсне напруження розтягу

$$\sigma_p = 4F_a / (\pi d_1^2) = 4 \cdot 3017.6 / (3.14 \cdot 14^2) = 19.4 \text{ МПа.}$$

Отже, розрахункове напруження гвинта  $\sigma_{см} = \sigma_p = 19.4$  МПа є меншим від критичного напруження при розрахунку на стійкість  $\sigma_{кр}$ , тому стійкість гвинта за цією умовою забезпечиться. Остаточні приймаємо розміри гвинта: середній діаметр різьби,  $d_2 = 15$  мм; номінальний діаметр  $d = 16$  мм; внутрішній діаметр  $d_1 = 14$  мм при крокові  $P = 2$  мм.

### 3.5 Розрахунок зварного з'єднання направляючої до кожуха шнека

Вважаємо, наша направляюча буде привареною до кожуха через технологічну планку двома переривчастими фланговими швами.

Визначимо допустимі напруження для зварних швів у частках від допустимого напруження розтягу  $[\sigma]_p$  для основного металу [39].

$$[\tau_{зв}] = 0,6 \cdot \frac{\sigma_{my}}{n \cdot \beta}, \quad (3.13)$$

де  $\sigma_{my}$  - границя текучості матеріалу направляючої, МПа;

$n$  - коефіцієнт запасу. Згідно [39];

$\beta$  - ефективний коефіцієнт концентрації для зварюваних деталей. Згідно [39],

$$\beta = 1,1$$

$$[\tau_{зв}] = 0,6 \cdot \frac{250}{1,4 \cdot 1,1} = 97,4 \text{ МПа.}$$

Умова міцності зварного з'єднання має вигляд

$$\tau_{зв} \leq [\tau_{зв}], \quad (3.14)$$

де  $\tau_{зв}$  - розрахункове напруження в зварному з'єднанні, МПа.

Отже, направляюча матиме довжину більше 900 мм та ще й шви з двох боків, це означає, що при такому навантаженні напруження будуть мінімальними. Тому свій розрахунок побудуємо наступним чином. Зварювання будемо виконувати ручною електродуговою зваркою, катетом шва  $k = 2$  мм щоб була співрозмірність до товщини металу кожуха шнека, а з розрахунку встановимо необхідну довжину зварного шва.

$$l = \frac{F_a}{0,7k[\tau_{зв}]} = \frac{3017,6}{0,7 \cdot 2 \cdot 97,4} = 22 \text{ мм.} \quad (3.15)$$

Тут можна рекомендувати виконувати зварне з'єднання у вигляді переривчастого шва по всій довжині направляючої, довжина швів з обох боків не повинна бути меншою за 22 мм.

### 3.6 Уточнення параметрів передачі

Встановимо дійсний момент, який необхідно прикласти до вала гвинта для виконання роботи по переміщенню гайки, а відповідно і встановлення необхідної висоти роботи шнека.

Остаточні розміри гвинта: середній діаметр різьби,  $d_2 = 15$  мм; номінальний діаметр  $d = 16$  мм; внутрішній діаметр  $d_1 = 14$  мм при крокові  $P = 2$  мм.

Для цього:

- кут підйому витків різьби за її середнім діаметром

$$\operatorname{tg} \psi = Pz / (\pi d_2) = 2 \cdot 1 / (3.14 \cdot 15) = 0.042,$$

$$\psi = 2.408^\circ,$$

Дана передача гвинт – гайка є самогальмівною, оскільки

$$\varphi' > \psi.$$

- к.к.д. передачі

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} 2.408^\circ}{\operatorname{tg} (2.408^\circ + 2.978^\circ)} = 0.446.$$

Момент приводу

$$T = 0.5 \cdot 3017.6 \cdot 15 \operatorname{tg}(2.408 + 2.978) + 95 = 2228 \text{ Н мм.}$$

Встановимо число обертів гвинта для здійснення повного ходу гайки

$$n = \frac{l}{P} = \frac{900}{2} = 450 \text{ обертів.} \quad (3.16)$$

Якщо є вимоги до швидкості встановлення шнека або переводу його з крайнього нижнього в крайнє верхнє положення, то задаючись часом  $t$  переводу можна знайти кутову швидкість приводу. Прийнемо час переводу шнека в межах хвилини.

Для цієї мети виберемо асинхронний трифазний електродвигун АИР56В4 УХЛ2 380 В, 50 Гц, ІМ1081 ТУ16-521.649-85 для, якого частота обертання з врахуванням проковзування 1350 об/хв, потужність 180 Вт [39], рис. 2.12.

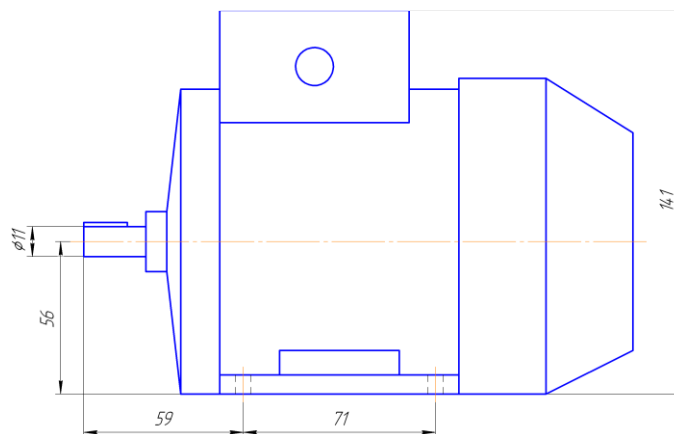


Рисунок 3.1 – Основні розміри вибраного електродвигуна АИР56В4 УХЛ2

Передачу крутного моменту здійснюватимемо з допомогою відкритої зубчастої передачі з передаточним числом 2.5. Перевіримо крутний момент, який зможе забезпечити даний двигун



$$T_d = \frac{P_d}{\frac{n_d \cdot 3.14}{30}} = \frac{180}{\frac{1350 \cdot 3.14}{30}} = 1.274 \text{ Нм}, \quad (3.17)$$

де  $P_d$  - потужність електродвигуна,  $P_d = 180$  Вт;

$n_d$  - частота обертання вала двигуна з врахуванням проковзування,  $n_d = 1350$  об/хв.

Момент, що створить двигун на валу гвинта

$$T = T_d u = 1.274 \cdot 2.5 = 3.185 \text{ Нм}, \quad (3.18)$$

де  $u$  - прийняте передаточне число передачі,  $u = 2.5$ .

Порівнюючи необхідне значення моменту 2.2 Нм із можливим від електродвигуна 3,19 Нм бачимо, що вибраний електродвигун може забезпечити обертання вала гвинтової пари.

Для з'єднання зубчастих коліс приймаємо стандартні шпонки, моменти, що передаються невеликі і міцність буде повністю забезпечена.

Уточнимо тепер час за який може переміститися шнек, наприклад, з крайнього нижнього в крайнє верхнє положення.

Як було встановлено вище, для повного ходу гайки гвинту потрібно зробити 450 обертів. Це можна виконати за наступний час

$$t = \frac{450}{\frac{1350}{2.5}} \cdot 60 = 50 \text{ с.}$$

Отже, наш сервісний механізм буде у вигляді пари гвинт-гайка; параметри гвинта: середній діаметр різьби,  $d_2 = 15$  мм; номінальний діаметр  $d = 16$  мм; внутрішній діаметр  $d_1 = 14$  мм при крокові  $P = 2$  мм; привід від електродвигуна АИР56В4 УХЛ2 380 В, 50 Гц, ІМ1081 ТУ16-521.649-85 для, якого частота обертання з врахуванням проковзування 1350 об/хв, потужність 180 Вт при передаточному числі зубчастої передачі на гвинт 2.5.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Можливі небезпеки при роботі навантажувача зерна**

При роботі з навантажувачами зерна, які використовуються для переміщення та завантаження зернових культур, існують ризики та небезпеки, які пов'язані з їхньою експлуатацією. Однією з найбільш серйозних небезпек є ризик опрокидання або перекидання навантажувача, особливо при роботі на нахилених або нерівних поверхнях. Це може стати причиною травмування оператора та втрати контролю над машинами, що може призвести до аварій та матеріальних збитків.

Ще однією небезпекою є неналежне використання або обслуговування навантажувачів, що може спричинити їхню поломку або несправність. Наприклад, перевищення максимально допустимої ваги навантаження, неправильне розташування центру ваги або некоректне використання важільних механізмів можуть призвести до пошкодження обладнання та втрати продуктивності.

Крім того, небезпеки також можуть виникнути в результаті недотримання правил безпеки під час роботи з навантажувачами зерна. Недостатня підготовка операторів, відсутність необхідного захисту та неуважність під час експлуатації машин також можуть призвести до серйозних аварій та травм.

Тому важливо дотримуватись всіх інструкцій та правил безпеки під час роботи з навантажувачами зерна, щоб уникнути небезпек та зберегти якість та продуктивність роботи обладнання.

Додатковою небезпекою є можливість забруднення зерна або інших сільськогосподарських продуктів під час їхнього переміщення навантажувачем. Неправильне зберігання або обробка зерна може призвести до його забруднення пилом, гряззю та іншими забруднювачами, що може негативно вплинути на якість та безпеку продукту.

Також важливо враховувати небезпеку пожежі при роботі з

навантажувачами зерна, особливо в умовах високої температури та під час роботи з сухими або легкозаймистими матеріалами. Недотримання правил пожежної безпеки та неправильне обслуговування обладнання може спричинити пожежу, яка може завдати значних збитків.

Загалом, для уникнення небезпек при роботі з навантажувачами зерна необхідно дотримуватись всіх встановлених правил безпеки, проходити необхідну підготовку та періодично перевіряти обладнання на відповідність стандартам безпеки. Тільки в такий спосіб можна забезпечити безпеку робочого процесу та запобігти можливим аваріям та травмам.

#### **4.2 Вимоги безпеки праці при зберіганні та переробці зерна**

Збереження і переробки зерна є одним з головних завдань аграрного сектору економіки, але при цьому зростає і ризик отримання травм працівниками при виконанні пов'язаних із зерном робіт.

Технологічні процеси зберігання і переробки зерна пов'язані з ризиком отримання травм від затягування працівників у зернову масу чи завалювання зерном, що обрушилося в складі, падіння з висоти або – у відкриті люки бункерів. Також можливі травми при проведенні навантажувально-розвантажувальних робіт в зерноскладах. Небезпечна ситуація виникає при обслуговуванні стаціонарного зернотранспортного обладнання. Тому потрібно пам'ятати про забезпечення постійного нагляду за роботою працівників, організувати проведення робіт з зерном з дотриманням карт технологічного процесу.

З метою підтримання стану охорони праці на належному рівні та запобігання травмування працівників, керівникам зернозаготівельних і зернопереробних підприємств необхідно вжити наступних заходів:

- отримати дозвіл на виконання робіт підвищеної небезпеки та на

експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки та зареєструвати декларацію відповідності його матеріально-технічної бази;

- затвердити схему переробки та обробки зерна;
- забезпечити встановлення знаків безпеки і захисту здоров'я працівників для позначення небезпечних зон відповідно до вимог Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників;
- провести атестацію робочих місць за умовами праці на робочих місцях, де технологічний процес, використовувані обладнання, сировина чи матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що можуть несприятливо впливати на стан здоров'я працюючих;
- розробити та впроваджувати на підприємстві ризик-орієнтовний підхід у сфері охорони праці;
- розробити плани локалізації і ліквідації аварійних ситуацій та аварій;
- розробити графіки прибирання пилу у виробничих приміщеннях;
- у процесі роботи, щоквартально проводити відповідні тренувальні навчання з персоналом та відпрацювати можливі дії працівників у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру;
- організувати проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці посадовим особам та працівникам, які виконують роботи підвищеної небезпеки;
- призначити посадових осіб, які пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідальними за виконання конкретного виду робіт підвищеної небезпеки;
- забезпечити працівників необхідними інструкціями з охорони праці;
- організувати проведення попередніх (під час прийняття на роботу) та періодичних медичних оглядів працівників;
- забезпечити працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до галузевих норм;
- провести чергові профілактичні вимірювання опору заземлюючих

пристроїв, ізоляції електромереж; облаштувати зерносховища блискавкозахистом; провести опосвідчення стану безпеки електроустановок;

- перевірити наявність на рухомих частинах виробничого обладнання, устаткування, натяжних пристроях конвеєрів – захисних огорожень;
- перевірити наявність та справність на зернових складах засобів аварійної зупинки транспортерів нижніх і верхніх галерей;
- забезпечити виконання робіт в силосах, бункерах та інших закритих ємностях тільки за умови оформленого наряд-допуску;
- роботи починати тільки після провітрювання і перевірки стану загазованості приміщень;
- забезпечити працівників в необхідній кількості перевіреними засобами захисту і пристосуваннями для безпечного проведення робіт;
- перевірити справність і ефективність роботи аспіраційних систем; провести випробування аспіраційних систем та оформити на них паспорти;
- перевірити на зернозаготівельних та зернопереробних пунктах наявність та справність засобів дистанційного контролю температури зерна в силосах та бункерах;
- перевірити наявність на норіях вибухорозрядників та їх справність;
- перевірити наявність та справність на стаціонарних стрічкових конвеєрах реле контролю швидкості;
- перевірити наявність та справність на ланцюгових конвеєрах датчиків підпору, які мають відключати конвеєр при переповненні короба зерном;
- всі завальні ями для зерна на токових господарствах закрити решітками;
- перевірити наявність та справність на конвеєрах в головній та хвостовій частинах, аварійних кнопок для зупинки;
- конвеєри довжиною понад 10 м обладнати тросовим захистом для зупинки в аварійній ситуації у будь-якому місці з боку проходу для обслуговування;
- проходи біля башмака обов'язкові з трьох сторін, ширина не менше 0,7 м.; сходи мають бути надійними, а прямки – обладнаними поручневим

огороженням висотою не менше 1 м;

- у місцях машин та механізмів, де не виключений ризик падіння з висоти, більшої ніж 500 мм, установлюють перила або інші рівноцінні засоби, спроможні захистити людину від падіння з висоти;

- проходи над конвеєрами мають бути обладнані перилами та бортиками;

- у робочій зоні в місцях, де відстань між рухомими та нерухомими частинами обладнання менша ніж 0,5 м, безпеку персоналу гарантують за допомогою нерухокої огорожі або захисних пристроїв, що запобігають небезпечному переміщенню;

- у разі завантаження складів зерном насипом відстань від верху насипу до горючих конструкцій покриття, а також світильників та електропроводів має бути не менше 0,5 м;

- сушильні агрегати, які працюють на рідкому паливі, повинні бути обладнані приладами контролю теплоносія та автоматики безпеки, що забезпечують відключення подавання палива в разі згасання факела в топці, підвищення температури та падіння тиску повітря перед форсункою;

- під час роботи сушарки слід здійснювати контроль за температурою зерна шляхом відбирання проб що дві години;

- дерев'яні конструкції (опори, галереї ) всередині зерноскладів, очисних та робочих башт повинні бути оброблені вогнезахисною речовиною.

Роботодавцям та посадовим особам хлібоприймальних підприємств (елеватори, сільськогосподарські підприємства) необхідно вжити заходів щодо приведення робочих місць, обладнання, машин і механізмів відповідно до вимог Правил, Технічних регламентів та інших нормативно-правових актів з охорони праці.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблений сервісний механізм забезпечить для навантажувача зерна НЗ-5 такі параметри:

- діапазон встановлення висот шнека навантажувача (по трубі шнека) становить 1250...3450 мм, що є повністю задовільним. При цьому хід гвинта повинен становити (робоча довжина)

$$l = 1400 - 470 = 930 \text{ мм.}$$

Остаточно приймаємо  $l = 1000$  мм, тут додаємо ще припуски на висоту гайки та кріплення в підшипниках;

- осьова сила, що передається гвинтом  $F_a = 3017.6$  Н;

- З цією метою вибираємо матеріал гвинта і гайки зі сталі 45, нормалізованої, для якої  $\sigma_B = 598$  МПа,  $\sigma_{0.2} = 363$  МПа. Допустимий тиск у контактні витків сталевого нормалізованого гвинта і гайки приймемо  $[p] = 15$  МПа:

- щоб дістати самогальмівну передачу гвинт — гайка, слід орієнтуватись на малий крок різьби і вибираємо трапеційдальний вид різьби. Тоді приймаємо  $P = 2$  мм, число заходів  $z = 1$ ;

- в першому наближенні приймаємо для гвинта: номінальний діаметр  $d = 12$  мм, внутрішній діаметр  $d_1 = 10$  мм при крокові  $P = 2$  мм;

- стійкість витків проти спрацювання забезпечується, оскільки

$$p = 4.37 \text{ МПа} < [p] = 15 \text{ МПа};$$

- напруження розтягу (стиску) у перерізі гвинта з внутрішнім діаметром різьби  $d_1$  -  $\sigma_p = 38.4$  МПа;

- запас міцності гвинта за границею текучості  $s = 9.5$ ;

- дотичні напруження при крученні  $\tau = 9.3$  МПа;

- допустиме критичне напруження при розрахунку на стійкість  $\sigma_{кр} = 16.4$  МПа. Розрахункове напруження гвинта  $\sigma_{cm} = \sigma_p = 38.4$  МПа є більшим від критичного напруження при розрахунку на стійкість  $\sigma_{кр}$ , отже стійкість гвинта

за цією умовою не забезпечиться. Тому приймаємо рішення про збільшення діаметра гвинта до межі забезпечення його стійкості, як визначального критерію.

Нові параметри гвинта: середній діаметр різьби,  $d_2 = 15$  мм; номінальний діаметр  $d = 16$  мм; внутрішній діаметр  $d_1 = 14$  мм при крокові  $P = 2$  мм.

- розрахункове напруження гвинта  $\sigma_{cm} = \sigma_p = 19.4$  МПа є меншим від критичного напруження при розрахунку на стійкість  $\sigma_{kp} = 32.2$  МПа, тому стійкість гвинта за цією умовою забезпечиться. Остаточні розміри гвинта: середній діаметр різьби,  $d_2 = 15$  мм; номінальний діаметр  $d = 16$  мм; внутрішній діаметр  $d_1 = 14$  мм при крокові  $P = 2$  мм.

Направляюча матиме довжину більше 900 мм та ще й з шви з двох боків, це означає, що при такому навантаженні напруження будуть мінімальними. Тому свій розрахунок побудуємо наступним чином. Зварювання будемо виконувати ручною електродуговою зваркою, катетом шва  $k = 2$  мм щоб була співрозмірність до товщини металу кожуха шнека, а з розрахунку встановимо необхідну довжину зварного шва, яка становить  $l = 22$  мм. Тут можна рекомендувати виконувати зварне з'єднання у вигляді переривчастого шва по всій довжині направляючої, довжина швів з обох боків не повинна бути меншою за 22 мм.

Число обертів гвинта для здійснення повного ходу гайки  $n = 450$  обертів.

Привід від електродвигуна АИР56В4 УХЛ2 380 В, 50 Гц, ІМ1081 ТУ16-521.649-85 для, якого частота обертання з врахуванням проковзування 1350 об/хв, потужність 180 Вт при передаточному числі зубчастої передачі на гвинт 2.5.

Також описано можливі небезпеки та охорона праці при роботі навантажувача.



**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I., Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, Pages 36-42.
2. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
3. Andrii Babii, Bohdan Levytskyi, Taras Dovbush, Mariia Babii, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Volodymyr Valiashek. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 609-616.
4. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU. Tern. : TNTU*, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
5. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12.
6. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. *Materials Science*, 2021, 56(4), P. 466–471.
7. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Бабій А.В. Закономірності впливу високомодульних наповнювачів на розподіл полів напружень в поверхневих шарах деталей машин, виготовлених з полімерних композитних матеріалів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36)\_І. С. 55-70.
8. Бабий, А. Математическая модель нагрузки привода режущего аппарата косилки [Текст] / А. Бабий, М. Бабий, Т. Рыбак // *Motrol*, 2014. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. Vol. 16, No 4. – С.275–284.
9. Бабій А. В., Бабій М. В. Дослідження впливу конструкторсько-

технологічних факторів на запас міцності спинки ножа косарки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 139 «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». 2013. С. 187-192.

10. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

11. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. С. 121–123.

12. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. Вид–во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 100 с.

13. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.

14. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 145. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2014. С.112–118.\

15. Бабій А.В., Бабій М.В. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних факторів на запас міцності спинки ножа косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 139. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2013. С.187–192.

16. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проєктування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

17. Бабій А.В., Брошак І.С., Мартинюк В.В. Пристрій для прикореневого підживлення вегетуючих рослин. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.68-69.

18. Бабій А.В., Головецький І.В., Герасимович П.В. Проблеми та перспективи розвитку картоплярства в Україні. Збірник тез доповідей X Міжнародної науковопрактичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль 24-25 листопада 2021 року. ФОП Паляниця ВА. Т.1. С. 25-26.

19. Бабій А.В., Головецький І.В., Гладь Ю.Б. Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", ЦНТУ. 2023. С.227-236.

20. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. Центральнорукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)\_I. С. 216-226.

21. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

22. Бабій А.В., Коноваленко С.І., Бабій М.В., Цепенюк М.І. Причіпний пристрій широкозахватної машини. Деклараційний патент на корисну модель 140142 А01В 59/06 (2006.01). Заявлено 24.06.2019, u201907015 опубліковано 10.02.2020, бюл. № 3/2020.

23. Бабій А.В., Рибак Т.І., Попович П.В., Господарський Я.Я., Сікорський С.П. Механізм зміни ширини колії. Деклараційний патент на корисну модель 73090 А01В 51/00; заявл. 01.03.2012, опубл. 10.09.2012, бюл. № 17.

24. Бабій М. В. Дослідження роботи енергозберігаючого приводного механізму косарки / Марія Василівна Бабій, Андрій Васильович Бабій // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 77. — № 1. — С. 149-161. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

25. Бабій А., Лещак Р., Барна Р. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів у рідинному середовищі агрохімікатів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: спец. вип. журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів”. № 13. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2020. С. 356–360.

26. Бабій А.В., Рибак Т.І., Бабій М.В. Обґрунтування конструктивних особливостей енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. – Випуск 134 “Технічний сервіс машин для рослинництва”. Харків, 2013. С.116–122.

27. Головецький І.В., Бабій А.В. Конструктивні особливості та ефективність роботи міні картоплекопачів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 134-143.

28. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

29. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / За ред. Є.П. Желібо, В.М.Пічі. Львів: „Новий світ–2000”, 2002. – 328 с.

30. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво: підручник. За ред. О.І. Зінченка. К. : Агроосвіта, 2001. 591 с.
31. Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. Машиновикористання в землеробстві. К.: Урожай, 1996. 384 с.
32. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.
33. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125.
34. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.
35. Лещак Р.Л., Бабій А.В., Барна Р.А., Бабій М.В., Гіряк Р.С., Сиротюк А.М. Корозійна тривкість покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача. ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ. Том 58, №2. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2022. С. 116–121.
36. Лімонт А.С., Мельник І.І., Малиновський А.С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. К.: Кондор, 2004. 284 с.
37. Навантажувач зерна НЗ-5. Настанова щодо експлуатування.
38. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.
39. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.