

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО  
СЕРВІСУ ІМ. ПРОФ. О. СЕМКОВИЧА**

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ**  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “ Підвищення ефективності вирощування озимої пшениці з  
удосконаленням сушарки СЗСБ-8А. ”

Виконав: студент ІV курсу групи Аін-43сп

Спеціальності 208 „Агорінженерія”  
(шифр і назва)

Зубрицький Максим Ігорович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: Гошко З.О.  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО**  
**СЕРВІСУ ІМ. ПРОФ. О. СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

к.т.н., доцент Шарибура А.О.

“27” листопада 2023 р.

## **З А В Д А Н Н Я**

на дипломний проєкт студенту  
**Зубрицькому Максиму Ігоровичу**

1. Тема проєкту: **“ Підвищення ефективності вирощування озимої пшениці з удосконаленням сушарки СЗСБ-8А. ”**

Керівник проєкту: Гошко Зіновій Орестович, к.т.н., доцент  
Затверджена наказом по університету від 27.11.2023 року № 641/к-с.

2. Строк здачі студентом закінченого проєкту 5.06.2024 року

3. Вихідні дані: інструкції з технічної експлуатації та технічного обслуговування тракторів, нормативи з вирощування озимої пшениці; патентний пошук та літературні джерела, які стосуються удосконалення зерносушильних комплексів; визначення економічної ефективності використання технічних засобів.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Характеристика об'єкта проєктування.

2. Технологічний розділ.

3. Конструкторський розділ.

4. Охорона праці.

5. Економічне обґрунтування проєктного рішення

Висновки і пропозиції;

Список літературних джерел.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу

1. Операційна карта - 1-ий аркуш.

2. Загальний вигляд машини - 2-ий аркуш.

3. Загальний вигляд вдосконалення - 3-ий аркуш.

4. Робочі креслення деталей – 4-ий арк.
5. Робочі креслення деталей – 5 -ий арк.
6. Результати розрахунку економічного ефекту – 6-ий арк.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5,6	Гошко З.О. к.т.н., доц. кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича			
4	Тимочко В.О., к.т.н., доцент кафедри УПБВ			

7. Дата видачі завдання: 27.11.2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «Характеристика об'єкту проектування»</i>	<i>02.01.24-02.02.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Технологічний розділ»</i>	<i>03.02.24-03.03.24</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу: «Конструкторський розділ»</i>	<i>04.03.24-03.04.24</i>	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та захист населення»</i>	<i>04.04.24-03.05.24</i>	
5.	<i>Виконання розділу: «Розрахунок економічного ефекту»</i>	<i>04.05.24-01.06.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>01.06.24-15.06.24</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Максим Зубрицький  
(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Зіновій Гошко  
(підпис)

УДК 631.3. – 635.21

Зубрицький М. І. “ Підвищення ефективності вирощування озимої пшениці з удосконаленням сушарки СЗСБ-8А. ”

Дипломний проєкт. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024.

59 стор. текс. част., 12 рис., 8 табл., 6 арк. ілюстр. матер., 18 бібліогр. джерел.

Подано загальну характеристику об'єкта проектування.

Проведений аналіз фінансово-господарської діяльності господарства, розглянуто існуючі технології вирощування озимої пшениці та комплекс машин для реалізації цієї технології. Додається операційна та технологічна карти на вирощування пшениці. Проводиться опис запланованого вдосконалення чинної технології вирощування озимої пшениці.

Додається розрахунок економічної ефективності використання запропонованої технології вирощування пшениці. Описані умови роботи та правила техніки безпеки з запланованим агрегатом.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ .....	7
1.1. Опис особливості роботи зерносушильного комплексу .....	8
1.2. Будова та призначення основних компонентів сушарки .....	9
1.3. Вимога технології до автоматизації об'єкту .....	17
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	19
2.1. Сучасні технології вирощування зернових .....	19
2.2. Планова врожайність .....	21
2.3. Розрахунок технологічної карти .....	22
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	29
3.1. Огляд існуючих сушарок .....	29
3.2. Технічна характеристика сушарки СЗСБ-8А .....	31
3.3. Обґрунтування параметрів машини, та її робочих органів .....	33
3.4. Заходи з підготовки сушарки до роботи .....	46
4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	47
4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників під час післяжнивного обробітку зерна на ЗОСП .....	47
4.3 Аналіз небезпечних зон .....	48
4.3. Розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій при вирощуванні озимої пшениці .....	49
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ .....	51
5.1 Економічна ефективність вдосконалення .....	51
5.2 Результати економічної ефективності .....	56
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ .....	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ .....	58

## ВСТУП

Виробництво зерна в сільському господарстві завершується післяжнивною обробкою, що полягає в його очищенні і сушці.

Післяжнивний обробіток – один з найбільш трудомістких процесів виробництва зерна. Тому перед працівниками сільського господарства поставлено завдання так організувати потокову обробку зернової частини урожаю, щоб суттєво підвищити продуктивність праці при виконанні цих робіт.

У господарствах все більше поширення набуває потоковий метод післяжнивної обробки зерна, здійснюваний на механізованих зерноочисних і зерноочисно-сушильних пунктах, агрегатах і комплексах.

Пункти для післяжнивної обробки зерна є індустріальними підприємствами нового типу в сільському господарстві. До складу їх входить зерноочисне, сушильне, навантажувально-розвантажувальне, транспортне і інше устаткування для виконання всіх операцій, пов'язаних з очищенням, сортуванням, сушкою і зберіганням зерна.

Окрім пунктів, у сільському господарстві використовуються зерноочисні агрегати і зерноочисно-сушильні комплекси з устаткуванням продуктивністю 5,10,20 і 40 т/год.

Потоковий метод післяжнивної обробки зерна визначає основний напрям у конструюванні зерносушильних машин.

Проведений аналіз матеріально-технічної бази післяжнивної обробки насінневого зерна в господарствах Львівської області показав, що вона створювалася нерационально. Основний упор у господарствах був узятий на збільшення продуктивності сушарок. Проте, унаслідок недостатньої продуктивності прийому і попереднього очищення вороху, а також остаточного очищення насіння, збільшення продуктивності зерносушильних пунктів у цілому не відбулося.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Сучасні зерноелеваторні комплекси набули широкого розповсюдження в Україні, через них проходить до 70% всього зібраного врожаю зернових культур. Висока ступінь їх автоматизації дозволяє забезпечити їх високу ефективність і порівняно невисоку собівартість роботи. Практично всі процеси на таких підприємствах, автоматизовані і включають велику кількість різноманітного обладнання, починаючи від приймальних пунктів і завершуючи автоматичним відвантаженням готової сировини (насіння, зерна).

Основне завдання зерноелеваторного підприємства, полягає у наступних технологічних операціях:

- Завантаження в силоси зерна і його довготривале зберігання;
- За необхідності відділення грубих та дрібних домішок від насінневого матеріалу, з подальшим його розділенням на фракції, відділенням некондиційного зерна та ін.

Обсяг автоматизації даних технологічних процесів, в основному буде залежи, наскільки вони складні.

Завданням дипломного проекту полягає в тому, щоб розробити обладнання для транспортування зерна з автомобільного транспорту в зерносушарку СЗСБ-8А, з подальшим його направленням до бункера підлогового зберігання.

Машини, що використовують у комплексі з зерносушаркою СЗСБ-8А для транспортування зерна - це норії ківшового типу, для вертикального транспортування зерна; стрічкові елеватори для горизонтального транспортування зернового матеріалу на значні відстані.

Основне завдання дипломного проекту максимально спростити процес транспортування зерна між агрегатами зерносушильного комплексу, мінімізувати імовірність його травмування, а також скоротити час транспортування зерна від приймального силосу до безпосередньо сушарки СЗСБ-8А.

## 1.1. Опис особливості роботи зерносушильного комплексу

Робота зерносушильного комплексу харчової обробки зерна включає наступні операції.

Враховуючи той момент, що зерно поступає безпосередньо з поля, воно потребує первинної очистки від домішок. Домішки можуть бути органічного та неорганічного походження, в залежності від їх процентного вмісту, вони можуть досить серйозно впливати на якість зернового матеріалу. Тому зерно, яке поступає з поля, в першу чергу, з вантажівок завантажують в силос (ємкість об'ємом понад 200 м<sup>3</sup>) (Б-1) і з допомогою конвеєра стрічкового типу (КС-1) направляється до норії (Н1), яка забезпечує рух зерна у вертикальній площині до перекидного клапана (ПК-1), з допомогою перекидного клапана зерновий потік поділяється на два рукави і спрямовується у верхню ємкість (Б-2). З накопичувальної ємкості зерно з допомогою заслінки спрямовується на конвеєр стрічкового типу (КС-2), а з нього подається на наступну норію ківшового типу (Н2). З допомогою норії ківшового типу, зерно направляється до зерносушарки (СЗ1), в камері якої зерно проходить термообробку з допомогою теплого повітря. Перебуваючи у камері зерносушильного комплексу, зерновий потік переміщається з зони з найнижчою температурою в зону найвищого температурного режиму. Це дозволяє плавно нагріватись зерну, і по мірі переміщення в сушильній камері віддавати частину вологи тепловому повітрю. На вході і виході з сушарки встановлені температурний датчик та вологомір, з допомогою яких відслідковують у якому стані знаходиться зерновий матеріал. Висушене зерно, через два патрубки, відвантажується з допомогою конвеєра стрічкового типу (КС-3), через перекидний клапан (ПК-2) на норію ківшового типу (Н2), і повторно направляється на досушування у зерносушильну камеру. Друга частина зерна, вологість якого доведена до заданої кондиції, подається до норії (Н3), і з неї через перекидний клапан (ПК-3) – навантажується у вантажні автомобілі, або



для довготривалого зберігання спрямовується у підвісну ємкість, де відбувається його зберігання (Б-3).

## **1.2. Будова та призначення основних компонентів сушарки**

Для транспортування зерна застосовують наступне обладнання: норії ківшового типу для переміщення у вертикальній площині зернового матеріалу (Н1, Н2, Н3), конвеєри стрічкового типу, для транспортування матеріалу у горизонтальній площині або під незначним кутом  $10-15^{\circ}$  (КС1, КС2, КС3), сушарка зерна СЗСБ-8А (С31) або інша модифікація, клапани для перекидання зерна (ПК1, ПК2, ПК3), котел.

Норія ківшового типу.

Норії ківшового типу безперервної дії застосовують для переміщення сипучих матеріалів у вертикальній площині з низу у верх. Основним робочим органом є набір ківшів, закріплених з певним інтервалом на нескінченній стрічці. Щоб зменшити буксування стрічеи, її прогумовують, таким чином досягається подвійний ефект, по-перше зростає коефіцієнт щеплення стрічки з привідним барабаном, а по-друге зростає термін її експлуатації і надійність.

Згальна будова норії наступна, вона складається з таких елементів:

1 – барабан з допомогою якого здійснюється привід стрічки норії; 2 – патрубок для перевантаження сипкого матеріалу на наступний пристрій; 3 – прогумований нескінченний стрічковий механізм; 4 – ківші, якими здійснюється переміщення матеріалу; 5 – натяжний механізм барабанного типу, яким забезпечують необхідний натяг стрічки, щоб зменшити її пробуксовування; 7, 8 – приймальні трубки.

Норія ківшового типу оснащена двома барабанами: один з них кріпиться у верхній частині і забезпечує привід стрічки 1, а в нижній частині, як ми вже казали закріплений рухомий, натяжний 6. За рахунок послаблення кріплення натяжного барабану, на них одівається ківшева стрічка норії 3, до якої з допомогою болтових з'єднань кріпляться ківші 4.

- Теплоноситель
- Отработанный теплоноситель
- Влажное зерно
- - - - - Сухое зерно

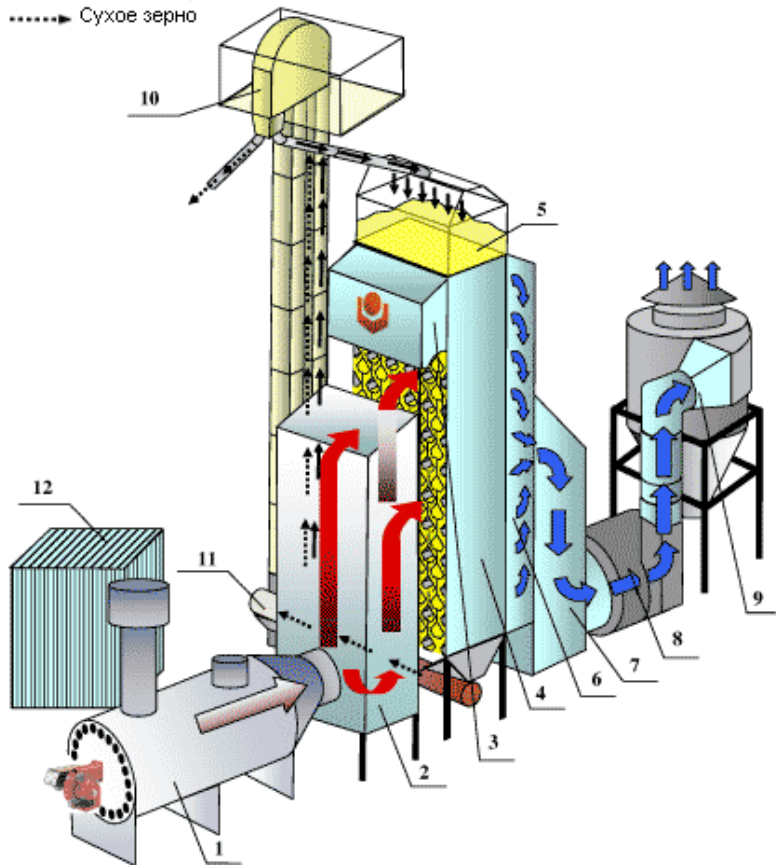


Рисунок 1.1 – Схема

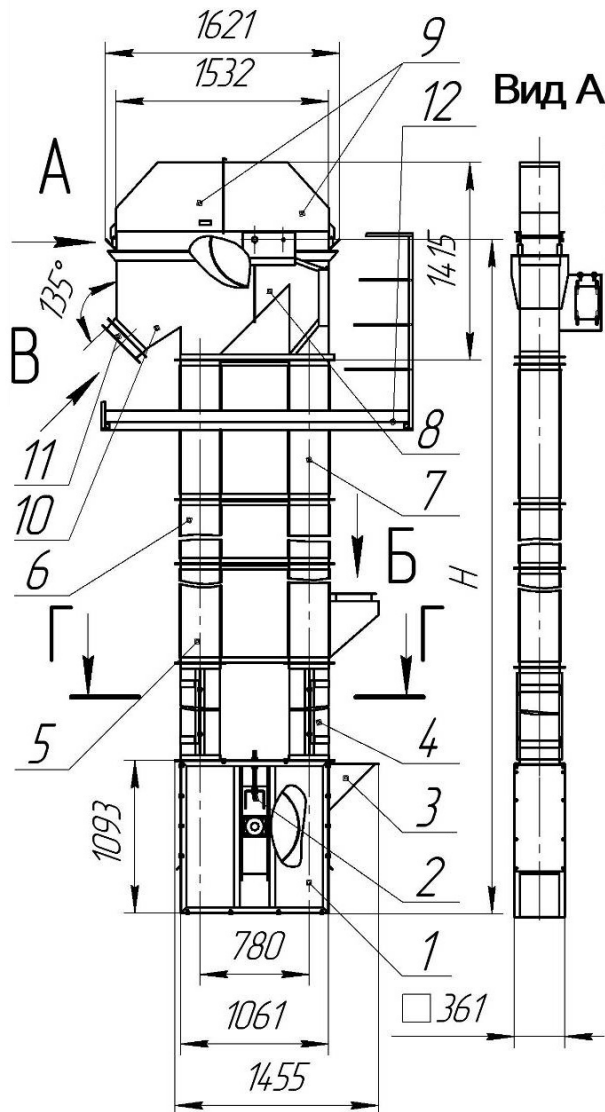
зерносушильного комплексу:

1- теплогенератор; 2 - підвідний канал; 3 - канал підведення теплоносія; 4 - шахта; 5 - надсушильний бункер; 6 - канал відведення теплоносія; 7 - сполучний канал; 8 - вентилятор; 9 - система аспірації; 10 - двохпотокова норія; 11 - вивантажний гвинтовий конвеєр; 12 - робоче місце оператора

Привід барабана забезпечується електродвигуном, з допомогою редуктора. За рахунок тертя, що виникає між верхнім ведучим барабаном і прогумованою стрічкою поверхнею, в рух приводиться норія, і ківші забезпечують переміщення зерна з приймальної камери до вивантажувальної. вона приводиться в рух, а з нею переміщаються ківші з зерном. Необхідне щеплення між стрічкою і барабанами забезпечується натяжним механізмом нижнього барабана, він може бути виготовлений у вигляді підпружиненої опори, або у вигляді натяжного гвинта.

# НОРІЯ Н-50

Продуктивність 50т/год



Діаметр барабану, мм  
Швидкість стрічки, м/с  
Довжина барабану, мм  
Ширина стрічки, мм  
Крок корців, мм

1. Башмак
2. Натяжний пристрій
3. Засипна горловина
4. Короб ревізійний
5. Короб аспіраційний
6. Короб підіймальний
7. Короб монтажний
8. Приводна головка
9. Ковпаки
10. Точка вивантаження
11. Базовий перехід
12. Сервісний майданчик

Транспортування зерна здійснюється норійними ківшами, що кріпляться до нескінченної норійної стрічки, що рухається в середині норійних труб.

Під час роботи зерно через приймальний патрубок 7 зачерпується ківшом. В тій ситуації, коли матеріал транспортується через завантажувальну трубу 8, щоб збільшити ефективність використання норії, а саме заповнення об'єму ківшів зерном, здійснюється додаткове до заповнення їх сипучим матеріалом (зерном, насінням). З урахуванням цього труба 8 розташована дещо вище за трубу 7. Під час роботи норії, її стараються завантажувати таким чином, щоб зерно транспортувалось по трубі 8, у разі перевантаження його спрямовують через трубу 7.

Для простоти в роботі з зерносушильним комплексом, різні частини норії мають свої специфічні назви, частина норії що розташована зверху (вивантажувальна частина) класифікують, як головка, а розташовану знизу (забірна частина) – черевиком. Ці дві частини з'єднані між собою направляючою трубою 5 розташованою вертикально, в середині якої переміщається стрічковий транспортер з ківшами 4.

Технічні характеристики норій:

- за використанням – для зернових культур, для бобових, для кукурудзи;
- за характером наповнення ківшів – завантаження за рахунок відцентрової сили, типаж  $H\psi$ -і ( $v=1,9/3,4$  м/сек) і типаж  $H\psi$ -іі ( $v=3,6/4,2$  м/сек), і ті що працюють за рахунок гравітації та відцентрової сили;
  - конструкція може бути одинарна і подвійна;
  - також норії класифікують за типом робочого органу, вони можуть бути подібні до вищезгаданих стрічкових, а можуть мати ланцюгову основу.
- стрічкові норії ківшового типу  $H\psi$ -і використовують при переміщенні зерна, вологість якого перевищує 18%,  $H\psi$ -іі для зернового матеріалу, вологість якого менша 18%.

Після початку запуску обладнання в технологічний процес, необхідно перевірити його технологічний стан. Для цього норію стрічкового типу, максимально навантаживши, запускають на кілька годин роботи, щоб перевірити чи відповідають фактичні показники ефективності використання обладнання проектним, а також роботу гальмівної системи, запобіжних пристроїв, перевіряють натяг стрічки, щоб запобігти її злітання з барабанів в процесі роботи.

Запустивши обладнання, плавно піднімають заслінку подачі зерна до черевика, до тих пір поки приймальна камера стрічкової норії повністю не заповниться зерном. Таким чином ми зможемо запобігти завалу приймальної

камери стрічкової норії зерном. Для запобігання перевантаження норії, на приймальній заслінці встановлюють обмежувач, щоб вона ширше не відкривала приймальну горловину і запобігала перенасичення її зерном. Щоб легше було контролювати продуктивність норії, на заслінці приймальної камери є відповідні відмітки.

Однією з основних вимог, що ставляться до обладнання цього типу, це мінімальне травмування зернового матеріалу, адже в процесі взаємодії робочого обладнання норії з зерном є значна імовірність його пошкодження, за рахунок поганого регулювання зазорів, переповнення робочої камери ківша, негерметичності стиків черевика та вивантажувального патрубка. Щоб уникнути цих проблем, необхідно уважно слідкувати за рівномірністю надходження зернового матеріалу у приймальну камеру, а також за технічним станом виробничого обладнання. В разі його пошкодження, або виникнення збоїв, робочі вузли норії необхідно замінити або провести їх діагностику, щоб усунути неполадки.

Одними з важливих елементів зерносушильного комплексу є стрічкові конвеєри. Їх використовують переважно для транспортування сипучих матеріалів у горизонтальних площинах або під невеликим кутом (зерно, насіння). Вони бувають універсальні (загально вживані), які можна використовувати в різних галузях с.г. виробництва (транспортування зерна, кормів, добрив тощо.) і спеціальні. До останньої категорії можна віднести скребкові транспортери у корівниках ВРХ, транспортери до ескалаторів та ін.

Більшість транспортерів містять наступні складові компоненти, стрічку 4, з її допомогою відбувається транспортування матеріалу. Як і норія він має два барабани, одним здійснюється привід, а іншим натяг. Вони можуть розташовуватись над силосними і встановлюватись під ними (під силосні).

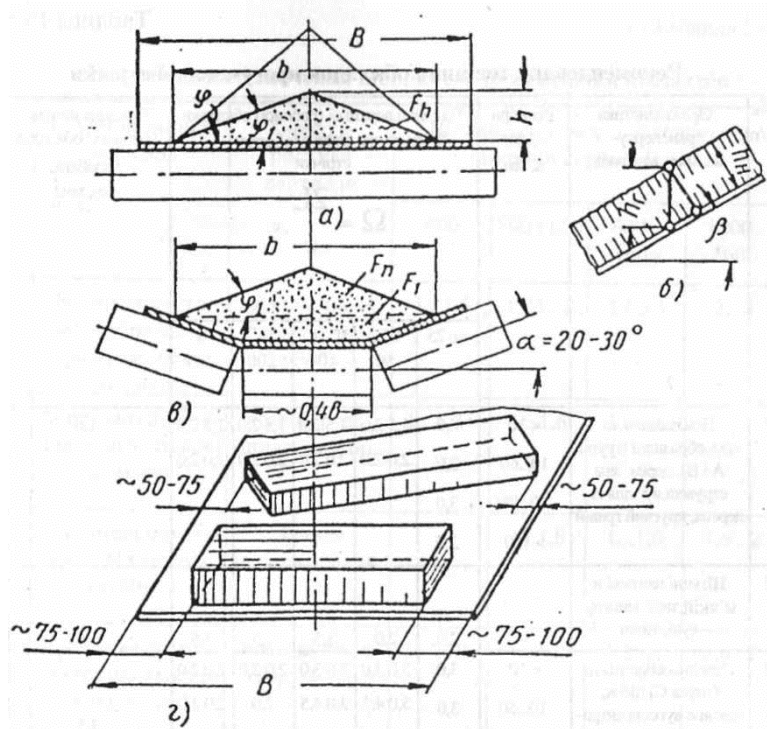


Рисунок 1.2 - Схеми розміщення насипних (а, б, в) і штучних (г) вантажів на стрічковому транспортері.

У стрічкових транспортерах завантажують матеріал безпосередньо на нього з допомогою подавального пристрою 2. Стрічка отримує рух від привідного барабана 9. Продукт, що знаходиться на стрічці, скидається в будь-якому місці конвеєра за допомогою розвантажувального пристрою 6. Для натягу стрічки використовують барабан 1. Неробоча гілка стрічки рухається по прямих роликів опарах 7. Щоб збільшити кут обхвату стрічки привідного барабана, на конвеєрі встановлюють відповідний барабан 8. Всі вузли конвеєра монтується на залізобетонній або металевій станині 3.

Стационарна зерносушарка СЗСБ-8А відкритого типу з продуктивністю 8 т/год призначена для зниження вологості зерна до величини, що забезпечує тривале зберігання зерна. Застосовують на підприємствах зерноочищення і встановлюють на потокових лініях прийому, очищення і відвантаження зерна, а також біля елеваторів і складів. Відноситься до зерносушарок шахтного типу, тобто сушка зерна, що розсипається через секції, відбувається завдяки подачі потоків гарячого повітря через короби секцій. Зерносушарка найбільш

поширена в Україні завдяки компактності, надійності, низькій вартості, можливості сушки всіх зернових культур.

Зерносушарка є обладнанням відкритого типу з двухступінчастим режимом сушіння і складається з двох паралельно працюючих сушильних шахт із збірних металевих конструкцій. Кожна шахта має 7 секцій, і за висотою ділиться на 3 зони. Перша зона (сушки) розташована у верхній частині шахти, друга зона – в середній, а третя (охолодження) – в нижній частині шахти. Агент сушки в камеру нагріву нагнітається двома вентиляторами (В4, В5), для 1 і 2 зон. Для захисту шахт від попадання атмосферних опадів над відкритими торцями відвідних коробів встановлюються запобіжні дашки, виготовлені з оцинкованої сталі. Під охолоджувальними камерами встановлені затвори періодичної дії і підсушильний бункер, з якого зерно попадає на конвеєр (Н3), і далі на перекидний клапан (ПК2), норію (Н3). Піднявшись висипається в перекидний клапан (ПК3), а звідти одна частина зерна на автотранспорт безтарного перевезення, а інша в бункер безтарного зберігання зерна (Б3).

Зерносушарка СЗСБ-8А встановлюється в окремо розміщених будовах, які пов'язані з баштами елеваторів.

Підвідні і відвідні короби, розташовані горизонтальними рядами через один, у шахтному порядку. Напівкороби розміщені в рядах коробів, що підводять агент сушки в шахту. Тому рух зерна біля залізобетонних стінок шахти сповільний, і воно може перегріватись, знаходячись під гарячими напівкоробами.

У шахтах зерносушарки встановлені затвори під сушильною і охолоджувальними камерами. Затвор, що знаходиться під сушильною камерою, відкривається і закривається штурвалом вручну. Цей затвор закривають перед заповненням сушарки вологим зерном, щоб уникнути попадання його в охолоджувальну камеру. Після просушування зерна, затвор відкривають і зерно пересипається в охолоджувальну камеру. В процесі сушки, цей затвор

залишається весь час відкритим, для проходу зерна з сушильної камери в охолоджувальну.

Нижній затвор служить для періодичного випуску висушеного і охолодженого зерна. Цей затвор періодично відкривається тягою від редуктора. Над затворами влаштовані люки для ремонту і очищення затворів, після звільнення шахти від зерна.

У розподільних камерах зерносушарки, встановлені горизонтальні залізобетонні перегородки, одна з яких розташована на висоті між першою і другою зоною сушки, а друга – на висоті охолоджувальної камери.

Призначення верхньої перегородки – не допустити змішування між собою двох потоків агента сушки, що подається в першу і другу зони сушки з різними температурами. Нижня перегородка перешкоджає змішуванню агента сушки з атмосферним повітрям. У першу зону агент сушки подає вентилятор (В4) середнього тиску через отвір, другу – вентилятор (В5) через отвір. Атмосферне повітря для охолодження зерна нагнітають у розподільну камеру вентилятором (В3) через отвір.

Відпрацьований агент сушки і повітря при виході з відвідних коробів, поступають у загальну камеру з дверима, що щільно закриваються, звідки через жалюзійні отвори в стінці, виходять назовні. У передній стінці камери під дифузорами розташовані люки з кришками для доступу всередину камери.

Котел зерносушарки СЗСБ-8А працює на рідкому паливі. Подача палива здійснюється через форсунку з автоматичним регулюванням. Автоматика контролює процес горіння палива в камері, що забезпечують стабільний і економічний режим сушки зерна. Напірно-роздільна і облогова камери шахти поділені перестінками по висоті відповідно до розмірів сушильних і охолоджувальних зон.

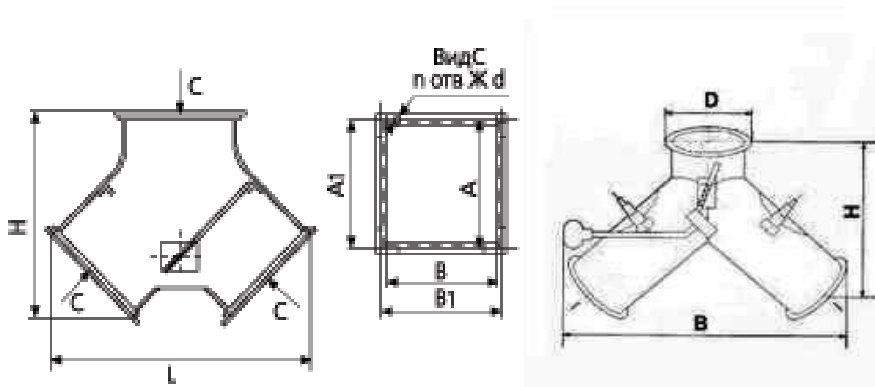
Для сушки зерна використовують суміш камерних газів з повітрям такими, що утворюються при спалюванні в камері зерносушарки СЗСБ-8А того або іншого виду палива. В основному використовують дизельне паливо,



мастило, тракторний гас і природний газ. Вентилятори (В4, В5) направляють агента сушки в напірно-роздільні камери. Далі він через короби подається в сушильну шахту, пронизує зернову масу і через відвідні короби викидається в осадковій камері, а потім через жалюзійні вікна – в атмосферу.

Охолодження зерна здійснюється аналогічно сушці, тільки замість агента сушки подається атмосферне повітря. Зерно подається в сушильну камеру зверху, і проходячи між коробами в зонах нагрівання, сушиться і нагрівається агентом сушки, а потім в зоні охолодження продувається атмосферним повітрям. Механізм періодичної дії, регулює випуск зерна з зерносушарки СЗСБ-8А.

Клапан перекидний подвійний КДР.



Основні характеристики клапанів.

Клапани перекидні КДР призначені для зміни напрямку руху продукту по одному з двох можливих маршрутів. Дільник потоку призначений для розділення продукту, що поступає, на два потоки шляхом проміжної установки і фіксації люка дільника в корпусі гвинтовим стопорним пристроєм.

### 1.3. Вимога технології до автоматизації об'єкту

Автоматизація – найважливіший засіб підвищення продуктивності праці, скорочення витрат матеріалу і енергії, поліпшення якості продукції, впровадження прогресивних методів управління виробництвом.

На промислових підприємствах у процесі виробництва доводиться переміщати масу вантажів – сировину, напівфабрикати, готову продукцію, матеріали.

Вимоги технології до автоматизації.

Основні вимоги до автоматизації переробки і сушки зерна:

- Забезпечити захист електропроводів від коротких замикань і від перевантажень;
- Дійсний пуск електроприводів тільки після подачі попереджувальної звукової сигналізації в перебігу заданого проміжку часу;
- Дистанційний пуск електроприводів тільки за наявності необхідного тиску  $6 \text{ кг/см}^3$  стислого повітря для пристроїв;
- Виконання блокованих зв'язків між електроприводами в напрямі зворотному руху продукту;
- Можливість роботи в дистанційному і місцевому режимах;
- Відключення пристроїв (УРЗ), що подають зерно, при заповненні бункерів (Б1, Б2, Б3) і при зупинці стрічкових конвеєрів (КС1, КС2, КС3), встановлених після УРЗ;
- Контроль верхнього рівня в бункерах (Б1, Б2, Б3). Забезпечення захисту від переповнення бункерів;
- Контроль нижнього рівня в бункерах (Б2, Б3);
- Виконання звукової преривистої сигналізації при аварійних ситуаціях;
- Виконання світлової сигналізації про роботу електроприводів, перевантаження (електротепловий (Б1, Б2, Б3)).

## **2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **2.1. Сучасні технології вирощування зернових**

Більшість передових технологій передбачають широке застосування техніки і високий процент механізації процесів при вирощуванні озимої пшениці. В них передбачається по завершенні збирання врожаю вкінці літа або восени вносити органічні добрив. Всі операції в цих технологіях повністю механізовані і виконуються з допомогою техніки: завантаження, транспортування і внесення. Після цього проводяться наступні технологічні операції, переважно це заробка пожнивних решток з допомогою луцильників, з подальшою оранкою на зяб. Дані операції дозволяють закрити вологу в ґрунті, спровокувати проростання насіння бур'янів, з подальшим його знищенням з допомогою основного обробітку ґрунту. Наступним етапом є внесення мінеральних добрив. З цією метою їх відвантажують на тракторний причіп 2ПТС-4 і трактором МТЗ-82 транспортують у поле. Саме внесення здійснюють з допомогою навісного розкидача для суцільного внесення добрив МВД-0,8. Наступним етапом є роботи з поверхневого обробітку ґрунту, з допомогою яких добриво загортається в ґрунт і одночасно з цим відбувається знищення бур'янів та вирівнювання поверхні поля. За сприятливих умов проводять оприскування поверхні поля системним гербіцидом для посівів зернових. Перш ніж здійснити посів, зерно обробляють (протруюють) з метою захисту від хворіб та шкідників протруювачем ПС-10. Посів здійснюють з допомогою сівалки СЗС-6 призначеної для рядкового посіву зернових з шириною міжряддя 15 см. Весною проводять весь комплекс заходів спрямованих на підвищення врожаю зернових. Для цього проводять боронування легкими сітчастими боронами, з одночасним внесенням добрив та препаратів хімзахисту. Ці заходи дозволять максимально стимулювати ріст озимини і одночасно допоможуть захистити її від хворіб, та личинок шкідників, які на весні інтенсивно розмножуються. В кінці серпня, на початку вересня, стиглу масу кладуть у

покоси, з допомогою валкових жаток, а через 6-8 днів (в залежності від погодніх умов) валки підбирають зернозбиральними комбайнами.

#### *Запропонована технологія*

Дана технологія, мало чим відрізняється від згаданої у попередньому розділі.

Після збирання попередника, замість міндобрив по поверхні поля розкидають органічні добрива. Наступний етап дозволяє заробити їх у ґрунт і одночасно знищити пожнивні рештки. Для цього використовуємо важку дикову борону БДТ-4 оснащену вирівнювачем. Дана заміна дозволяє уникнути такої енергоємної операції, як суцільна оранка. В нашому випадку, ми використовуємо глибоке рихлення на глибину 12-14 см, чого цілком достатньо для забезпечення необхідних умов посіву зернових. Далі здійснюють вирівнювання ґрунту.

Через кілька днів після вирівнювання ґрунту, вносять міндобрива. Добрива попередньо висипають з тари, за необхідності змішують у відповідних пропорціях і після цього транспортують у поле, де перевантажують на розкидач і вносять на поверхню ґрунту. Зразу ж після цього висівають зерно стерньовою сівалкою СЗС-12 і прикотковують посіви. Робоча ширина захвату сівалки СЗС-12 становить 12,3 м., а швидкість на якій здійснюється посів 10 км/год. За сухої погоди посіви підживлюють сумішшю мінеральних добрив, що складаються з азоту і калію. Весною здійснюють заходи спрямовані на підвищення врожайності озимих зернових. Для цього проводять боронування легкими сітчастими боронами, з одночасним внесенням добрив та препаратів хімзахисту. Ці заходи дозволять максимально стимулювати ріст молодих пагонів озимини і одночасно допомагають захистити її від хворіб та шкідників. В кінці серпня, на початку вересня, достиглу масу кладуть у покоси з допомогою валкових жаток, а через 6-8 днів (в залежності від погодніх умов) валки підбирають зернозбиральними комбайнами.

В даній технології, затрати праці людей зведені до мінімуму, основні операції автоматизовані і виконуються з допомогою техніки.

## 2.2. Планова врожайність

Для того, щоб провести розрахунки планової врожайності, нам необхідно використати підбірку статистичних даних реальної врожайності озимих зернових за останні кілька років у Західному регіоні України. Для цього використаємо вихідні дані зроблені на основі статистичної підбірки за кілька останніх років для озимої пшениці і заносимо їх в таблицю 2.1.

Розрахуємо імовірну урожайність за звітний час:

$$A = \Sigma y/n; \quad (2.1.)$$

де,  $\Sigma y$  - сумарна урожайність за звітний час, ц/га;  
 $n$  - роки звітності;

$$A = 141/4 = 35,45 \text{ ц/га.}$$

Дослідимо, зміни врожайності за вибраний період, ц/га:

$$B = \Sigma y_i t_i / t_i^2, \quad (2.2.)$$

де  $t_i$  - роки:

$$B = 45/5 = 9 \text{ ц/га.}$$

Таблиця 2.1 - Статистичної підбірки врожайності озимої пшениці за останні роки

Роки, п	Порядковий номер року, $t_i$	$t_i^2$	Фактична врожайність, $Y_i$	$Y_i T_i$
2020	- 1,5	2,25	34	-5,1
2021	- 0,5	0,25	32	- 1,6
2022	0,5	0,25	35	1,75
2023	1,5	2,25	40	5,7
$\Sigma n = 4$	-	$\Sigma t_i^2 = 5$	$\Sigma y_i = 13,9$	$\Sigma y_i t_i^2 = 15$

Урожайність на перспективу розраховуємо з формули:

$$y t_i = A + bt_i, \text{ ц/га,} \quad (2.3.)$$

де,  $y t_i$  - реальна кількість врожаю зібрана у відповідному році, ц/га.

$$Y t_{2020} = 35,45 + 3 (1,54) = 40,07 \text{ ц/га;}$$

$$Y t_{2021} = 35,45 + 3 (2,5) = 42,95 \text{ ц/га;}$$

$$Y_{t_{2022}} = 35,45 + 3 ( 3,5) = 45,95 \text{ ц/га};$$

$$Y_{t_{2023}} = 35,45 + 3 (4,5) = 48,95 \text{ ц/га}.$$

Отже, планується на перспективу отримати урожайність зерна озимої пшениці 49 ц/га.

Сумарну кількість зібраної продукції на перспективу розраховуємо з формули:

$$B_g = Y * S, \text{ ц}; \quad (2.4.)$$

де  $Y$  – кількість зібраного врожаю, ц/га;

$S$  – площі під культурою, ц/га;

$$B_g = 48,95 * 170 = 8321,5 \text{ ц}.$$

### 2.3. Розрахунок технологічної карти

#### 2.3.1 Обґрунтування вибору машин і устаткування

2.3.1.1 Для того, щоб розрахувати необхідну пропускну спроможність зерноочисного сушильного пункту ЗОСП в подальшому, необхідно знати планову урожайність на перспективу виробництва озимих зернових.

Планову урожайність виробництва озимих зернових, визначаємо з формули:

$$G_g = F * Y, \quad (2.5)$$

де  $G_g$  – кількість зібраного зерна, т;

$F$  – використана площа під зерновими, га;

$Y$  – максимальна урожайність зерна, т/га;

$$G_g = 1000 * 4,9 = 4900 \text{ т}.$$

Щоб розрахувати обсяг зернового вороху, що обробляється на зерноочисному сушильному комплексі, слід знати (закласти) вихідну вологість зернового вороху і процентну кількість її у воросі, який надходить з комбайна.

Для розрахунків, за середньою початковою вологістю і середньому відносному вмісті зерна в воросі всіх культур, загальна маса зернового вороху на пункті, складе:

$$G_{зв} = (100 - W_k) * \frac{G_g}{(100 - W_{нсп}) * \lambda_{сп}}, \quad (2.6)$$

де  $G_{зв}$  – загальна маса зернового вороху, що обробляється на пункті т;

$W_k$  – кондиційна вологість, %;  $W_k = 14\%$ ;

$G_g$  – планований валовий збір зерна кондиційної вологості за період збирання, т;

$W_{нсп}$  – середня початкова вологість зернового вороху за період збирання, %;  $W_{нсп} = 26\%$ ;

$\lambda_{сп}$  – середній відносний вміст зерна у воросі за період збирання;  $\lambda = 0,9$ .

$$G_{зв} = 86 * 37,5 = 3225 \text{ т.}$$

Результати використання ЗОСП у агропідприємствах Львівщини свідчить, що для розрахунків проектної пропускної спроможності зерноочисного сушильного комплексу, необхідного обладнання і устаткування слід проводити при максимальному добовому завантаженні зерном.

Максимально можливий добовий вступ зернового вороху, розраховується за формулою:

$$G_{сут\ max} = \frac{G_{зв} * K_{доб}}{T}, \quad (2.7)$$

де  $G_{доб\ max}$  – добова пропускна здатність зерносушильного комплексу, т/доб;

$K_{доб}$  – коефіцієнт нерівномірності подачі зернового вороху протягом доби;  $K_{доб} = 1,5 \dots 2,0$ ; приймаємо  $K_{доб} = 1,5$ ;

$T$  – тривалість жнив, днів.

Згідно норм технологічного проектування для умов України  $T = 20,25$  днів.

$$G_{доб\ max} = 4837,5 / 25 = 193,5 \text{ т/доб.}$$

Максимально можлива годинна подача зернового вороху:

$$G_{z\ max} = \frac{G_{доб\ max} * K_z}{t_k}, \quad (2.8)$$

де  $G_{z\ max}$  – максимально можлива годинна подача зернового вороху, т/год;

$K_z$  – коефіцієнт годинної нерівномірності подачі зернового вороху,  
 $K_z=1,2,2,0$ ; приймаємо  $K_z=1,2$ ;

$t_k$  –добове завантаження зернозбирального комбайна, приймаємо  $t_k$  для умов Львівщини – 10 годин.

$$G_{z\ max} = 193,5 * 1,2 / 10 = 23,22 \text{ т/год.}$$

### 2.3.1.2. Вибір машин і устаткування та їх розрахунок

За основний агрегат, який впливає на продуктивність зерноочисного сушильного комплексу, і в значній мірі впливає на підбір основних машин і устаткування, є зерносушильний пункт.

З метою безперебійної роботи зерносушильного пункту необхідно правильно підібрати необхідну сумарну ємність приймальних силосів з аерожолобами і бункерами прмусового провітрювання для зберігання насіння до процесу сушіння, вони повинні була за обсягом такими, щоб забезпечити максимальне добове надходження зерна на ЗОСП ( $G_{доб\ max}$ ).

Ємність накопичувальних силосів з аерожолобами повинна забезпечити вимогу  $0,5G_{доб\ max}$  (т або м<sup>3</sup>).

Ємність накопичувальних силосів розраховуємо за формулою:

$$V = 0,5 \frac{G_{доб\ max}}{\rho}, \quad (2.9)$$

де  $V$  – ємність накопичувальних силосів , м<sup>3</sup>;

$\rho$  - щільність зернового оберемка т/м<sup>3</sup>; для вороху пшениці, жита, ячменю  $\rho=0,7 \dots 0,8$  т/м<sup>3</sup>; вівса  $\rho=0,45 \dots 0,5$  т/м<sup>3</sup>.

$$V = 0,5 * 193,5 / 0,6 = 161,25 \text{ м}^3.$$



Якщо відсутні ємності накопичувальних силосів з аерожолобами, то розміри бункерів для примусового провітрювання насіння, що зберігається в них перед сушінням, має бути рівна  $G_{доб\ max}$ . Для такого випадку, розміри накопичувального бункера (засипної ємності) повинна забезпечити необхідну максимальну годинну кількість зернового вороху, що поступає на приймальний пункт ( $G_{г\ max}$ ).

Загальний сумарний об'єм ємностей накопичування, повинен бути рівний або більший половини добового поступлення зерна на зерносушильний пункт ( $0,5G_{доб\ max}$ ).

Якщо накопичувальних ємностей буде не достатньо, може виникнути ситуація, що зібране зерно не буде де зберігати, а це спричинить зупинку роботи зернозбиральної техніки в полі.

На основі цього плануємо загальну потрібну ємність бункерів з аерожолобами і ємностей для примусового провітрювання перед сушінням, у розмірі максимального добового надходження зернового вороху  $G_{доб\ max}$ , т.е.  $V_{сум}=322,5\ м^3$ .

Потрібна кількість машин для забезпечення необхідної продуктивності під час очистки зерна (ворохоочисників) за необхідної кількості накопичувальних бункерів з аерожолобами розраховується за формулою:

$$Q_{np.o} = \frac{G_{доб\ max}}{t * \tau * \kappa_з * \kappa_n}, \quad (2.10)$$

де  $Q_{np.o}$  – потрібна пропускна здатність ворохоочисників, т/год;

$t$  – час праці ворохоочисників за добу, год; коли робота у 2 зміни –  $t=20$  годин;

$\tau$  - середньозважений коефіцієнт часу роботи обладнання;  $\tau=0,95$ ;

$\kappa_з$  – коефіцієнт, який враховує пропускну здатність зерноочисних машин залежно від очистки зернових різних видів;  $\kappa_з=0,8$ ;

$\kappa_n$  – коефіцієнт, враховування спаду пропускної здатності агрегату порівняно з стандартом, у зв'язку із зміною вологості або забруднення зерна сторонніми домішками.

Еталонна пропускна здатність, для обладнання, що призначене для очистки, рекомендується насіння зернових чистотою 90% і вологістю до 20%. На основі цього, коефіцієнт  $K_n$  може бути розрахований за формулою:

$$K_n = 1 - 0,03(W_n - 20) - 0,02(\beta_n - 10) \quad (2.11)$$

$$K_n = 1 - 0,03(26 - 20) - 0,02(10 - 10) = 0,82$$

$$Q_{пр.о} = \frac{193,5}{20 * 0,95 * 0,8 * 0,82} = 15,52 \text{ т/год.}$$

Проектну пропускну здатність сушильного комплексу розрахуємо за формулою:

$$Q_c = \frac{\kappa_3 * G_{доб\ max} (1 - 0,01 \kappa_1)}{t_c * \kappa_{\kappa c} * \kappa_c * \kappa_w} \quad (2.12)$$

де  $Q_c$  – необхідна продуктивність сушарок, т/год;

$\kappa_3$  – коефіцієнт запасу, його завдання враховувати простої сушильного комплексу у зв'язку з технічними неполадками і тривалого поступлення вороху вологістю понад 30%; у розрахунках приймаємо  $\kappa_3 = 1,1 \dots 1,2$ ;

$\kappa_1$  – сумарна кількість виділених домішок і вологи внаслідок очистки і зберігання в накопичувальному бункері зерна перед сушінням %. Для розрахунків приймаємо: процент виділених домішок 5.6%, кількість вологи, що видаляється, при обробці до сушки 3.5%, а загальна кількість  $\kappa_1 = 8 \dots 11\%$ ;

$t_c$  – розрахункова тривалість робочого процесу сушарки, год. Вибираємо для розрахунків умов Львівщини  $t_c = 20$  год;

$\kappa_{\kappa c}$  – коефіцієнт, зміни пропускної здатності сушильного комплексу під час сушіння різних зернових;  $\kappa_{\kappa c} = 1$ ;

$\kappa_c$  – коефіцієнт, враховування змін пропускної здатності сушильного комплексу відповідно від застосування зерна.

Для сушіння зерна продовольчого і фуражного приймають  $\kappa_c = 1$ .

Для сушіння зерна, що йде на насіннєвий матеріал режими змінюють і приймають для зерна продовольчого або фуражного призначення,  $\kappa_c=0,5$ ; і  $\kappa_c=1$  для зерносушарок СЗСБ-8;

$\kappa_w$  – коефіцієнт врахування зміни пропускної здатності зерносушарок через зміну відсотків видаленої вологи; отже  $\kappa_w=0,65$ ;

$$Q_c = \frac{1,2 * 193,5 * (1 - 0,01 * 10)}{20 * 1 * 1 * 0,61} = 17,1 \text{ т/год.}$$

Щоб розрахувати необхідну пропускну здатність агрегатів для очистки зерна на першому, другому рівні очистки з подальшим сортуванням, використовуємо формулу:

$$Q_{ок} = \frac{G_{сут max} (1 - 0,01 \kappa)}{t_{ок} * \tau * \kappa_3}, \quad (2.13)$$

де  $Q_{ок}$  – потрібна пропускна здатність вторинної очистки і сортування, т/год;

$\kappa$  – загальна кількість відходів (сміття, волога і фуражного насіння), що були видалені з загальної маси зерна, при проходженні через зерноочисний сушильний комплекс у %. Для того щоб розрахувати потрібну кількість сортувальних столів пневматичного типу ССП-1,5:

$$\kappa = \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 + \kappa_4 + \kappa_5,$$

де  $\kappa_1$  – сумарна кількість сміття і вологи, видалених під час первинної очистки перед сушкою, %;  $\kappa_1=8...11\%$ ;

$\kappa_2$  – зменшення ваги через усушування, %;  $\kappa_2=8...12\%$ ;

$\kappa_3$  – сумарна кількість домішок, дрібного і щуплого насіння видалених первинною очисткою %; розраховуючи  $\kappa_3$  можна прийняти  $4...6\%$ ;

$\kappa_4$  – загальна кількість сміття і фуражної фракції, відділених на решітних машинах повітряної очистки вторинного очищення і сортування, %;  $\kappa_4=10...12\%$ ;

$\kappa_5$  – сумарна кількість домішок і фуражної фракції, що виділяються в трієрах, %;  $\kappa_5=3\dots5\%$ . Використовуючи для вторинного очищення і сортування насіння повітряно - решітних трієрних агрегатах загальна кількість  $\kappa_4+\kappa_5$  складає, 15...20%.

$t_{ок}$  – навантаження на машину для фінальної очистки та калібрування зерна за добу, год;  $t_{ок}=20$ год.

$$\begin{aligned}\kappa &= 10+11+6+20=47\%, \\ Q_{ок} &= \frac{193,5*(1-0,01*47)}{20*0,95*0,8} = 6,74 \text{ т/год.}\end{aligned}$$

За організації роботи машин первинної, вторинної очистки і калібрування на 1 зміну, необхідна ємність приймальних бункерів для висушеного насіння повинна становити більше половини добової пропускної здатності зерносушарок. Коли робочий процес машин для первинної, вторинної очистки і калібрування спланований у 2 зміни, щоб завантаження цих агрегатів було рівномірним, достатньо буде накопичувального бункера ємністю, рівній годинній пропускній здатності зерносушарки. Пропускна здатність транспортера має бути рівна або дещо вище за паспортну продуктивність машин, роботу яких вони забезпечують.

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1. Огляд існуючих сушарок

##### 3.1.1 Сушарка конвеєрна для високовологого насіння

Сушарка конвеєрна для високовологого насіння СКВС-6, призначена для сушіння попередньо очищеного насіння зернових і зернобобових культур з будь-якою початковою вологостю.

Технічна характеристика:

Продуктивність на сушінні насіння пшениці Вологості з 28 до 14%, т/год	6
Витрата палива, кг/год:	
при сушінні насінневого зерна	до 130
при сушінні фуражного зерна	180-200
Подача теплоносія в сушильну секцію, м <sup>3</sup> /год	40600
Подача холодного повітря, м <sup>3</sup> /год	4000
Товщина шару насіння, мм:	
на верхній робочій поверхні	120-200
на нижній робочій поверхні	100-180
Швидкість фільтрації теплоносія, м/с	0,40-0,52
Площа робочої поверхні сушильних камер сушарки, м <sup>2</sup>	93,6
Сумарна площа поверхні охолодження, м <sup>2</sup>	7,6
Швидкість конвеєра, м/хв	0,07-0,78
Сумарна місткість сушильних камер, т	9-12
Встановлена потужність, кВт	170
Габаритні розміри, мм	15000x5000x3500

Маса, кг

12000

Сушарка складається з двох однакових за будовою і робочим процесом сушильних секцій. Основні вузли сушильної секції: рама, верхня і нижня решітні поверхні, конвеєр, канали для підведення теплоносія і холодного повітря, надсушильний бункер з регулювальною заслінкою, вентилятор Ц 4-70 №10 (або ВНСН-11Л) для подачі теплоносія, вентилятор Ц 4-70 №8 для подачі холодного повітря, ущільнюючі фартухи, паливний блок ТБ-1,5 (один для сушарки), комплект повітрепроводів і дифузори.

Сушарка працює таким чином. Насіння з надсушильного бункера самопливом поступає в початок верхньої решітної поверхні і ланцюгово-планчатим конвеєром розподіляється рівномірно за товщиною шаром по обох решітних поверхнях. Товщина шару насіння встановлюється заслінкою надсушильного бункера. Теплоносій, що нагнітається вентилятором під нижню решітну поверхню, проходить через отвори в ній і шар насіння, проміжну камеру, через отвори верхньої решітної поверхні і шар насіння і виходить з сушильної камери. На верхній решітній поверхні відбувається нагрів і підсушується насіння, на нижній решітній поверхні – до кондиційної вологості. Частина нижньої решітної поверхні використовується для часткового охолодження висушеного насіння. Сушіння насіння в потоці (режим: завантаження – вивантаження) забезпечується за рахунок регулювання товщини шару і швидкості руху конвеєра. Ці ж регулювання дозволяють добитися повного використання вологопоглинаючої здатності теплоносія.

### 3.1.2 Колонкові сушарки

Колонкові сушарки СК-2 і СК-5 призначені для сушіння заздалегідь очищеного насіння зернових і зернобобових культур з початковою вологістю до 35%. Сушарка СК-2 – пересувна, СК-5 – стаціонарна.

Колонкові сушарки СК-2 і СК-5 мають певні відмінності у порівнянні з шахтними сушарками аналогічних конструкцій КЧ-УСА і СЗШ-16А, у них

відсутні у сушильній камері поперечні короби і будовою вивантажувальних механізмів.

Процес сушіння в сушарках колонкового типу відбувається у двох колонках розташованих вертикально, з прямокутним поперечним січенням. Завантаження насіння поздовж камери, де відбувається процес сушіння в сушарці СК-2 забезпечується шнеком розташованим у верхній її частині, а розвантаження висушеного насіння нижнім шнековим механізмом, з подальшим залученням скребкового транспортера.

Таблиця 3.1 – Характеристика сушарок

Значення	СК-2	СК-5
Пропускна здатність сушарки під час сушіння насіння пшениці із зниженою вологістю з 20 до 14%, т/год	2,5-3	6-7
Розхід пального, кг/год	до 20	50-100
Висота шару насіння у камері сушіння, мм		300
Номінальна потужність, кВт	20	75
Вага, кг	1900	10000

Під час роботи в колонках сушарки постійно має бути зерно, яке переміщається з верхніх шарів до низу під дією сил земного тяжіння під дією вивантажувальних шнеків (СК-2) або вивантажувальних барабанів (СК-5).

Насіння, яке перемістилось у нижню частину сушарки колонного типу СК-5 піддається охолодженню повтям, що надходить з оточуючого середовища. Котел, що використовується на даній сушарці – універсальний. Він може працювати на рідкому і газоподібному пальному.

### 3.2. Технічна характеристика сушарки СЗСБ-8А

Аналіз конструкцій сушарок аналогів.

СЗСБ-8 – це зерносушарка неперервної дії шахтного типу призначена для сушіння зерна, яке розміщене в зерносховищах і на критих токах. Сушарка

розрахована для сушіння сирого і вологого зерна пшениці, жита, ячменю, проса, рису, кукурудзи, соняшника. Пересувна зерносушарка є мобільним засобом середньої потужності. Це модернізована сушарка, що використовує для сушіння суміші відпрацьованих газів із зовнішнім повітрям.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика зерносушарки

№	Показники	Розмірн.	Значення
1.	Продуктивність для пшениці, при зниженні вологості з 20% до 14%	т/год	11
2.	Кількість випареної вологи	кг/год	700
3.	Питома витрата умовного палива	кг/т	12,2
4.	Питома витрата дизельного палива	кг/т	8,5
5.	Годинна витрата дизельного палива	кг/т	75
6.	Потужність, що споживається	кВт	40
7.	Питома витрата електроенергії	кВт/год	4
8.	Температура агента сушки в сушильній зоні: -першій	С <sup>0</sup>	50..130
	-другій		50..130
9.	Витрата агента сушки: зона 1	м <sup>3</sup> /год.	20000
10.	зона 2		14000
11.	Маса зерносушарки	кг	10800

Зерносушарка складається з сушильної і паливної камер, що змонтовані на шасі автомобільного причепа МАЗ-8925. Паливна частина складається з камери згоряння, форсунки, вентиляторів, сушильних і охолоджувальних зон, паливної системи, електророзпалу та іншого обладнання.

Сушильна частина включає дві паралельно розміщені шахти з шарнірно-розподільчими камерами між ними, дві норії, два випускних механізми неперервної дії, три шнеки, два бункери сирого зерна. В кожній шахті є дві сушильні і одна охолоджувальна зони. Апаратура керування і контролю зерносушарки встановлена в двох шарах.

Відомості про машини, які агрегатуються з машиною, що проектується.

Для буксирування сушарки з одного місця на інше, вона може агрегатуватись з тягачами. Такими тягачами, можуть бути автомобілі МАЗ-500А, КрАЗ-255Б або інші автомобілі з сідловим пристроєм, оснащені пневмо



та електровиходом, для забезпечення підключення до відповідних систем сушарки.

Перед – буксируванням зерносушарки, необхідно гальмівну і електричну систему причепу з'єднати з відповідними системами тягача і перевірити роботу показників повороту, задніх ліхтарів і надійність гальмування.

Буксирування зерносушарки автомобілями тягачами допускається тільки в світлу годину доби по автошляхах, які розраховані на рух автомобілями з навантаженням на вісь 6 т., а також по ґрунтових дорогах різного стану і місцевості.

Відомості про машини, що задіяні в процесі.

Для безперервної роботи зерносушарки в її технологічному процесі передбачені крім основних операцій, ще й допоміжні. До допоміжних операцій відноситься завантаження бункера вологим зерном, що направляється для сушіння і відведення висушеного зерна від зерносушарки до місця зберігання.

Найбільш придатними для завантаження бункера зерном є гвинтові конвеєри або шнеки.

Для завантаження бункера можна використовувати такі пристрої, як КВ-Ф-40, ТШС-37, переносний шнек завантажувач ПШП-7.

Для відведення сухого зерна від сушарки використовують стрічковий транспортер ПКС-80. Для забезпечення безперервної роботи сушарки зерном, необхідно один ТШК-32 або два ПШП-7, а для відведення сухого зерна, один ПКС-80.

### **3.3. Обґрунтування параметрів машини, та її робочих органів**

Робочим органом завантажувача є шнековий елеватор, який в значній мірі визначає продуктивність, експлуатаційну і технологічну надійність машини. Від конструкції завантажувача залежить швидкість завантаження бункера сушарки зерном, що поступає з подаючого стрічкового транспортера /входить у

комплект машини і допоміжного обладнання, яке експлуатується разом з сушаркою/ у бункер - прийомник завантажувача.

Промисловістю випускаються навантажувачі з двома типами робочих органів: ківшовий і шнековий.

Ківшовий тип завантажувача – це стрічковий транспортер, з прикріпленими по всій довжині стрічки через рівні проміжки ківшами.

Цей тип завантажувача застосовується на пересувній шахтній сушарці СЗПЖ-8. Головним недоліком ківшового завантажувача є відносно мала продуктивність при значних габаритах і нераціональне використання теплообмінника.

Головною перевагою шнекових завантажувачів є висока продуктивність при незначних габаритних розмірах.

Тому ми пропонуємо для зернової сушарки СЗСБ-8А використати шнековий елеватор, з метою зменшення її габаритів і підвищення продуктивності.

Розрахунок елеваторного завантажувача.

Рзавдання: розробити елеватор для навантаження пшениці продуктивністю 11 т/год. і довжиною 2 м.

Розрахунок приводу: Для розробки привідного барабана беремо сталевий циліндр з сталі 40Х для якого допустимими напруження НВ 235-262, а для виготовлення привідних шестерень сталь 45 з HRC 45...50.

Для даної сталі твердість становитиме:

$$\text{Барабан: } HB_{2cp} = 0,5(HB_{2min} + HB_{2max}) = 0.5(235 + 262) = 248,5.$$

$$\text{Шестерня: } HB_{1cp} = 0,5(HB_{1min} + HB_1) = 0.5(450 + 500) = 475 .$$

де  $HB_{min}$  і  $HB_{max}$  - граничні розміри твердості поверхні зуба, вибирається враховуючи матеріал барабана і обраної термообробки, приймаємо  $HRC=10 HB$ .

Приймаємо наступну кількість циклових навантажень, розраховуючи контактну міцність.

$$\text{Барабан: } N_{HO2} = (HB_{2cp})^3 = (248,5)^3 = 15345434.$$

Шестерня:  $N_{HO1}=(HB_{1cp})^3=(475)^3=107171875$ .

де  $HB_{2cp}$ ,  $HB_{1cp}$  - вибрана твердість для матеріалу з якого виготовляють барабан і шестерні.

Реальне число змінних циклів напруження в зубцях.

Барабан:  $N_2=60 * n_2 * L_h =60*119,47*24*10^3=172*10^6$ .

Шестерня:  $N_1=N_2 * u =172*10^6*4,8=825,6*10^6$ .

де  $n_2$  - оберти ведучого барабана передачі, об/хв.;

$L_h$  – ліміт на вибраній передачі, тис. год.;

$u$  – відповідно передаточне число.

Розраховуємо надійність конструкції через показник довговічності через контактну міцність.

Барабан:

$$k_{HL.2} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO2}}{N_2}} \leq K_{HL \max} \quad (3.1)$$

$$k_{HL.2} = \sqrt[6]{\frac{15345434}{172 * 10^6}} = 0.668 .$$

Шестерня:

$$k_{HL.1} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO1}}{N_1}} \leq K_{HL \max} \quad (3.2)$$

$$k_{HL.1} = \sqrt[6]{\frac{107171875}{825.6 * 10^6}} = 0.71 ,$$

де  $N_{HO2}$ ,  $N_{HO1}$  – кількість циклів змінних напружень зубців;

$N_2$ ,  $N_1$  – дійсний показник циклів змінних напружень зубців;

$k_{HL \max}$  – граничний коефіцієнт, гарантує довговічність.

Із розрахунків  $k_{HL.1} < 1$  і  $k_{HL.2} < 1$ , тобто  $N_{HO} < N_1$ , тому вважаємо, що  $k_{HL.2} = 1$  і  $k_{HL.1} = 1$ .

Граничні дотичні напруження по поверхні зубців.

Барабан:  $[\sigma]_{n2} = k_{HL.2} * [\sigma]_{HO2} = 1 * (1,8*248,5+67)=514,3$  мПа;

Шестерні:  $[\sigma]_{n1} = k_{HL1} * [\sigma]_{HO1} = 1 * (1,4*475+170)=835$  мПа;

де  $[\sigma]_{HO2}, [\sigma]_{HO1}$  - Граничні дотичні напруження для базового числа циклів;  
 $k_{HL2}, k_{HL1}$  - коефіцієнти довговічності.

Граничні контактуючі напруження в зубцях:

$$[\sigma]_{HK} \max = 1,15 * [\sigma]_{H2}, \text{ мПа.}$$

$$[\sigma]_{HK} \max = 1,15 * 514,3 = 591,445 \text{ мПа;}$$

де  $[\sigma]_{H2}$  - граничне контактуюче напруження барабана, мПа;

$[\sigma]_{HK} \max$  - максимальне допустиме контактне напруження, мПа.

Граничні контактуючі напруження поверхонь зубів косозубих, для другого варіанту Т.О.

$$[\sigma]_{HK} = 0,45 * ([\sigma]_{H1} + [\sigma]_{H2}) \leq [\sigma]_{HK} \max$$

$$[\sigma]_{HK} = 0,45 * (835 + 514,3) = 607,185 \text{ мПа;}$$

де  $[\sigma]_{H1}, [\sigma]_{H2}$  - граничні контактуючі напруження шестерні з привідним барабаном, Мпа.

Коефіцієнт довговічності для розрахунків контактної втоми.

Шестерня :

$$k_{FL1} = \sqrt[m]{\frac{4 * 10^6}{N_1}} \leq k_{FL\max}; \quad (3.3)$$

$$k_{FL1} = \sqrt[9]{\frac{4 * 10^6}{825.6 * 10^6}} = 0,553; \quad k_{FL\max} = 1,63$$

Барабан :

$$k_{FL2} = \sqrt[m]{\frac{4 * 10^6}{N_2}} \leq k_{FL\max} \quad (3.4)$$

$$k_{FL2} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{172 * 10^6}} = 0,53;$$

$$k_{FL\max} = 2,08$$

де  $4 * 10^6$  - кількість змінних циклів напружень у зубах;

$N_1, N_2$  - показник змінних напружень у зубах;

$k_{FL\max}$  - граничний коефіцієнт, для розрахунку на довговічність;

$m$  – втомний показник, при Т.О. покращення  $m=6$  при Т.О. гартування СВЧ  $m=9$ .

Якщо  $k_{FL2} < 1$ ,  $k_{FL1} < 1$ , то  $N > 4 \cdot 10^6$ , приймаю  $k_{FL2} = 1$ ,  $k_{FL1} = 1$ .

Гранична напруженість при згині зубів.

Барабан:  $[\sigma]_{F2} = k_{FL2} \cdot [\sigma]_{FO2}$ , МПа;

$$[\sigma]_{FO2} = 1,03 \cdot \text{HB}_{\text{cp}}, \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{F2} = 1 \cdot 1,03 \cdot 248,5 = 255,96 \text{ МПа}.$$

Шестерня:  $[\sigma]_{F1} = k_{FL1} \cdot [\sigma]_{FO1}$ , МПа;

$$[\sigma]_{FO1} = 310;$$

$$[\sigma]_{F1} = 1 \cdot 310 = 310 \text{ МПа};$$

де  $[\sigma]_{FO2}$ ,  $[\sigma]_{FO1}$  - граничне згинаюче напруження для кількості циклів  $4 \cdot 10^6$ , МПа.

$k_{FL2}$ ,  $k_{FL1}$  – коефіцієнт, що характеризує довговічність.

Для всіх термічних обробок зубів остаточно приймають  $[\sigma]_F$  менше значення з отриманих за формулою (3.4).

Початкові дані для розрахунку конічної передачі:

$P_2 = 2,68$  кВт – потужність, що передається на вал привідний;

$n_2 = 573,92$  об/хв.- оберти вала привідного;

$\omega_2 = 60,07$  рад/с - кутова швидкість вала привідного;

$u = 4,8$  - передатне число вибраних передач;

$[\sigma]_H = 514,3$  МПа - граничне контактуюче напруження.

$[\sigma]_F = 255,9$  МПа - граничне контактуюче напруження на згин.

$T_2 = 44,61$  об/хв.- момент кручення в перерізі вала привідного.

$T_3 = 200$  об/хв.- крутний момент у січенні вала веденого.

Діаметр зовнішнього привідного барабана:

$$d' \geq 165 \cdot \sqrt[3]{\frac{k_{HB} \cdot u \cdot T_3 \cdot 10^3}{V_H \cdot [\sigma]_H^2}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 4,8 \cdot 200 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 514,3^2}} = 276,32 \text{ мм}, \quad (3.5)$$

де  $k_{HB}$ - коефіцієнт, розрахунку нерівномірності розподілених навантажень за шириною вінця.

$u$  - передатне число.

$T_3$  - момент кручення, що виникає в січenni вала веденого;

$V_H$  – коефіцієнт, що враховує навантажувальну здатність передачі конічної і циліндричної.

Коефіцієнт  $k_{HB}$

$$k_{HB} = \sqrt{1 + 0.255 \cdot \Psi_d} = \sqrt{1 + 0.255 \cdot 0.81} = 1.1 ,$$

де  $\Psi_d$  – коефіцієнт, що враховує ширину вінця в долях діаметра шестерні.

Коефіцієнт  $\Psi_d$

$$\Psi_d = 0.166\sqrt{u^2 + 1} = 0.166\sqrt{4.8^2 + 1} = 0.81 .$$

Число зубців колеса

$$z'_2 = z_1 \cdot u = 21 \cdot 4.8 = 100.8 ,$$

де  $z_1$  – число зубців шестерні, при другому ТО  $z_1=21$ ;

$u$  - передатне число.

Отже  $z_2=101$ .

Реальне передатне число:

$$u_\phi = \frac{z_2}{z_1} = \frac{101}{21} = 4.81 ,$$

де  $z_1, z_2$  – кількість зубців шестернях і барабані.

Похибка передатного відношення:

$$\Delta u = \left| \frac{u_\phi - u}{u} \right| 100\% = \left| \frac{4.81 - 4.8}{4.8} \right| 100\% = 0.208\% , \quad (3.6)$$

де  $u, u_\phi$  - реальне і розрахункове передатне відношення.

Зовнішній модуль  $m_e$  для прямозубої передачі:

$$m_e = \frac{d'_{e2}}{z_2} = \frac{277}{101} = 2.74 ,$$

$d'_{e2}$  - діаметр ділильного кола барабана.

$Z_2$  - число зубців колеса.

Приймаєм  $m_e=2,75$ .

Розраховуємо кути вершин ділильного конуса шестерні та барабана:

$$\delta_2 = \arctg u_\phi = \arctg 4,81 = 78^\circ 15 \text{ град};$$

$$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2 = 90^\circ - 87,15 = 11^\circ 45 \text{ град},$$

де  $u_\phi$  – реальне передаточне відношення.

Зовнішні ділильні діаметри шестерні та колеса без корекції:

$$d_{e1} = m_e \cdot z_1 = 2,75 \cdot 21 = 57,75 \text{ мм};$$

$$d_{e2} = m_e \cdot z_2 = 2,75 \cdot 101 = 277,75 \text{ мм},$$

де  $m_e$  - зовнішній модуль передачі.

$z_1, z_2$  – число зубців на кожній з передач.

Відстань на конусі:

$$R_e = \frac{d_{e2}}{2 \cdot \sin \delta_2} = \frac{277,75}{2 \cdot \sin 78,15} = 141,899 \text{ мм}, \quad (3.7)$$

де  $d_{e2}$  - зовнішній діаметр барабана;

$\delta_2$  - кут між вершиною конуса барабана.

Ширина вінця колеса:

$$b = 0,285 \cdot R_e = 0,285 \cdot 141,899 = 40,44 \text{ мм},$$

де -  $R_e$  конусна відстань між передачами по конусу.

Зовнішній діаметр барабана:

$$d_{ae1} = d_{e1} + 2(1+x_{e1}) \cdot m_e \cdot \cos \delta_1;$$

$$d_{ae2} = d_{e2} + 2(1+x_{e2}) \cdot m_e \cdot \cos \delta_2;$$

$$d_{ae1} = 57,75 + 2(1+0,42) \cdot 2,75 \cdot \cos 11,45 = 65,41;$$

$$d_{ae2} = 277,75 + 2(1-0,42) \cdot 2,75 \cdot \cos 78,15 = 278,41,$$

де -  $d_{e1}, d_{e2}$  зовнішній діаметр шестерні і барабана;

$m_e$  - зовнішній модуль передачі;

$x_{e1}, x_{e2}$  - коефіцієнт корекції передачі;

$\delta_1, \delta_2$  - кути між вершинами роздільних діаметрів.

Поправочний коефіцієнт передачі:

$$x_{e1} = 2,6 \cdot u_{\phi}^{0,14} \cdot z_1^{-0,67} = 2,6 \cdot 4,81^{0,14} \cdot 21^{-0,67} = 0,42;$$
$$x_{e2} = -x_{e1} \quad x_{e2} = -0,42.$$

Середній ділительний діаметр колеса:

$$d_{m2} = 0,857 \cdot d_{e2} = 0,857 \cdot 277,75 = 238,03 \text{ мм},$$

де  $d_{e2}$  - зовнішній ділительний діаметр колеса.

Оберти і кутова швидкість барабана веденого:

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{\phi}} = \frac{573,92}{4,81} = 119,32 \text{ об/хв}, \quad (3.8)$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{\phi}} = \frac{60,07}{4,81} = 12,49 \text{ рад/с}, \quad (3.9)$$

де  $n_1$  - оберти барабана веденого;

$\omega_1$  - кутова швидкість барабана веденого;

$u_{\phi}$  - реальне передатне відношення.

Розрахункова кутова швидкість:

$$v = \omega_2 \cdot \frac{d_{m2}}{2 \cdot 10^3} = 12,49 \cdot \frac{238,03}{2 \cdot 10^3} = 1,486 \text{ м/с},$$

де  $\omega_2$  - кутова швидкість барабана веденого;

$d_{m2}$  - діаметр барабана.

Ступінь точності передачі: 9-й пониженої точності.

Перевірка зубів на контактну втому.

Для зусилля у зчепленні:

$$F_t = \frac{2 \cdot T_2 \cdot 10^3}{d_{m2}} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3}{283,03} = 1680,5 \text{ Н}, \quad (3.10)$$



де  $T_2$  - момент кручення у січenni вала веденого барабана;

$d_{m2}$  - середній діаметр веденого барабана.

Осьові зусилля на зірочці:

$$F_{a1} = F_1 \tan \alpha \sin \delta_1 = 727.8 \tan 20 \sin 21.30 = 96 \text{ Н}, \quad (3.11)$$

де  $F_t$  - зусилля в зчепленні;

$\alpha = 20^\circ$  - кут зчеплення;

$\delta_1$  - кут.

Радіальне зусилля зірочки:

$$F_{r1} = F_t \operatorname{tg} \alpha \cos \delta_1 = 727.8 * \operatorname{tg} 20 \cos 21.30 = 247 \text{ Н}, \quad (3.12)$$

де  $F_t$  - зусилля в зчепленні;

$\alpha = 20^\circ$  - кут зчеплення;

$\delta_1$  - кут.

Зусилля на привідному барабані:

$$F_{a2} = F_{r1} = 247 \text{ Н}.$$

Радіальне зусилля на привідному барабані:

$$F_{r2} = F_{a1} = 96 \text{ Н}.$$

Коефіцієнт  $K_{F\beta}$

$$K_{F\beta} = \sqrt{1 + 0.53\psi d} = \sqrt{1 + 0.53 * 0.46} = 1.1672, \quad (3.13)$$

де  $\psi d$  - коефіцієнт, що характеризує ширину зубців у відсотках діаметра барабана.

Динамічний коефіцієнт згину  $K_{FV} = 1.4$ .

Згинаючі напруження в основі привідного барабана:

$$\sigma_{F2} = \frac{F_1}{d m_e V_F} = \frac{727.8}{23 * 2.5 * 0.85} = 1.6 * 1.4 * 3.601161893 = 62.9 \text{ МПа}, \quad (3.14)$$

де  $F_t$  - зусилля зчепленні;

$K_{F\beta}$  - коефіцієнт, нерівномірності розподіленого навантаження за згином;

$Y_{FV}$  - коефіцієнт динамічних навантажень на розрахунок на згиин;

$Y_{F2}$  - коефіцієнт, що враховує форму зуба приймають з табл. 4.2.1 [6].

$b$  - ширина ободу барабана;

$m_e$  - передаючий модуль;

$V_F$  - коефіцієнт конічної передачі за навантажувальною здатністю барабаном за згином табл.3.16 [6].

Коефіцієнт, що характеризує форму зуба:

$$Y_{F1} = 3.6 \left( 1 - \frac{2.8x_1 + 0.93}{Z_{V1}} + \frac{112x_1^2 - 154x_1 + 71}{Z_{V1}^2} \right) = 2.64681495$$
$$Y_{F2} = 3.6 \left( 1 - \frac{2.8x_2 + 0.93}{Z_{V2}} + \frac{112x_2^2 - 154x_2 + 71}{Z_{V2}^2} \right) = 3.601161893$$

де  $x_1, x_2$  - коефіцієнти відхилення;

$Z_{V1}, Z_{V2}$  - приведена кількість зубів зірочки та барабана.

Приведена кількість зубів зірочки та барабана:

$$Z_{V2} = \frac{Z_2}{\cos^3 \beta_m \cos \delta_2} = \frac{96}{0 * \cos 75.96375} = 395.8179596$$
$$Z_{V1} = \frac{Z_1}{\cos^3 \beta_m \cos \delta_1} = \frac{24}{0 * \cos 14.03625} = 24.73863446$$
 , (3.15)

де  $Z_1, Z_2$  - число кількість зубів зірочки та барабана;

$\beta_m$  - кут під яким нахилені лінії зірочки, град;

$\delta_1, \delta_2$  - кути конусів зірочки та барабана, град.

Згинаючі напруження в основі зуба зірочки:

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} \frac{Y_{F1}}{Y_{F2}} = 5.848286914 \frac{2.64681495}{3.601161893} = 114.96345 \text{ мПа},$$
 (3.16)

де  $\sigma_{F2}$  - згинаючі напруження в основі зуба зірочки;

$Y_{F1}, Y_{F2}$  - коефіцієнти, що характеризує форму зуба зірочки і барабана.

Залежність згинальної міцності зубів:

$$\sigma_{F(1,2)} \leq 1.1[\sigma]_{F(1,2)}$$

$$\sigma_{F2} = 4.29842 \leq 281.49 = [\sigma]_F$$

$$[\sigma]_{F1} = 5.84826 \leq 281.49 = [\sigma]_F,$$

де  $[\sigma]_{F(1,2)}$  - допустиме напруження згину шестерні або колеса.

Розрахунок зубів на контактну міцність:

$$\sigma_H = 2.12 * 10^3 \sqrt{\frac{1.174 * 4 * 45.2 * 1000}{161.86^3 * 0.85}} = 514.45851 \text{ МПа};$$

$$\sigma_H = 514.45851 \leq 462.87 \dots 560.577 \text{ МПа},$$

де  $K_{H\beta}$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірний розподіл навантажень по за ширині вінця;

$T_2$  - момент кручення у перерізі веденого вала барабана;

$u_\phi$  - реальне передатне значення передачі;

$d_{e2}$  - зовнішній діаметр вудучого барабана;

$V_H$  - коефіцієнт навантажень передач (табл.3.2.6).

Оберти і кутова швидкість веденого барабана:

$$n_2 = \frac{n_1}{u_\phi} = \frac{554,05}{4} = 138,5125 \text{ об/хв.}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_\phi} = 14,475 \text{ рад/с},$$

де  $n_1$  - оберти веденого механізму;

$\omega_1$  - кутова швидкість привідного барабана;

$u_\phi$  - реальне передавальне число.

Поступальна швидкість у барабана:

$$V_1 = \omega_1 \frac{d_1}{2 \cdot 10^3} = 57.9 \frac{48}{2 \cdot 10^3} = 1.3896 \text{ м/с}, \quad (3.17)$$

де  $d_1$  - діаметр зірочки барабана;

$\omega_1$  - кутова швидкість привідного барабана.

Зусилля у зчепленні:

$$F_t = \frac{2T_1}{d_1} \cdot 10^3 = \frac{2 \cdot 45.2}{48} = 1.88 \cdot 10^3 \text{ Н}. \quad (3.18)$$

$T_1$  - момент кручення у перерізі вала зірочки;

$d_1$  - діаметр зірочки.

Зусилля радіальне в зчепленні:

$$F_r = \frac{F_t t_{ocn} \alpha}{\cos \beta} = \frac{1.88 \cdot 10^3 \cdot t_{ocn} 20^\circ}{\cos 0} = 684.2 \text{ Н}, \quad (3.19)$$

де  $F_t$  - зусилля в зачепленні;

$\alpha = 20^\circ$  - кут зчеплення;

$\beta$  - кут ухилу зуба.

Осьове зусилля в зчепленні:

$$F_a = F_t t_{an} \beta = 1.88 \cdot 10^3 \cdot 0 = 0 \text{ Н}, \quad (3.20)$$

де  $F_t$  - колове зусилля в зчепленні;

$\beta$  - кут ухилу зуба,

$$K_{F\alpha} = 1; K_{FV} = 1.40; K_{HV} = 1.20$$

Отже:

$$\psi_{db} = 1; K_{H\beta} = K_{F\beta} = 1.08$$

Згинаючі напруження в основі зуба барабана:

$$\sigma_{F2} = \frac{F_t}{b_2 \cdot m} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{FV} Y_{F2} Y_\beta = \frac{1.88 \cdot 10^3}{48 \cdot 2} \cdot 1 \cdot 1.08 \cdot 1.40 \cdot 3.53 \cdot 1 = 104.52 \text{ МПа},$$

де  $F_t$  - колове зусилля в зчепленні;

$K_{F\alpha}$  - коефіцієнт, що характеризує розподіл навантажень між зубами, табл. 3.7 [9];

$K_{F\beta}$  - коефіцієнт, що характеризує розподіл навантажень по ширині обода, табл.2.01[9];

$K_{FV}$  - коефіцієнт динамічного зусилля на згин;

$Y_{F2}$  - коефіцієнт, що характеризує форму зуба, табл.3.9 [9];

$Y_{\beta}$  - коефіцієнт, що характеризує нахил зуба;

$b_2$  - ширина барабана;

$m$  - передавальний модуль.

Коефіцієнт, що характеризує форму зуба:

$$Y_{F1} = 3.6 \cdot \left( 1 - \frac{0.93}{z_{F1}} + \frac{72}{z_{V1}^2} \right) = 3.6 \cdot \left( 1 - \frac{0.93}{24} + \frac{72}{24^2} \right) = 3.0105$$

$$Y_{F2} = 3.6 \cdot \left( 1 - \frac{0.93}{z_{F2}} + \frac{72}{z_{F2}^2} \right) = 3.6 \cdot \left( 1 - \frac{0.93}{96} + \frac{72}{96^2} \right) = 3.537$$

Згинаючі зусилля в основі зуба зірочки:

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} \cdot \frac{Y_{F1}}{Y_{F2}} = 104.52 \cdot \frac{3.0105}{3.537} = 88.96 \text{ МПа}, \quad (3.21)$$

де  $\sigma_{F2}$  - згинаючі зусилля в основі зуба зірочки;

$Y_{F1}, Y_{F2}$  - коефіцієнт, що характеризує форму зуб зірочки і барабана.

Міцність зуба на згин:

$$\sigma_{F(1,2)} \leq 1.1 \cdot [\sigma]_F = 281.55 \text{ МПа},$$

де  $[\sigma]_F$  - допустимі згинаючі зусилля.

Розахунок зуба по контактній висоті:

$$\sigma_H = K_H \cdot \sqrt{\frac{k_{Hd} \cdot k_{Hp} \cdot k_{nv} \cdot F_t (u_{\phi} + 1)}{d_1 \cdot d_2}} = 367 \sqrt{\frac{1 \cdot 1.08 \cdot 1.20 \cdot 5}{192 \cdot 48}} = 478.5 \text{ МПа}, \quad (3.22)$$

де  $k_n$  - передавальний коефіцієнт =514.

$k_{Hd}$  - коефіцієнт, що характеризує розподіл зусиль між зубами;

$k_{H\beta}$  - коеф. нерівномірності навантажень;

$k_{HV}$  - коеф. що характеризує динамічні навантаження;

$F_t$  - зусилля в зчепленні;

$u_\phi$  - передавальне число;

$d_2$  - діаметр барабана;

$b_2$  - ширина барабана.

Умова міцності зубів на контакт:

$$\sigma_{H(0,9...1.05)} [\sigma]_H = (0.9...1.05) \cdot 514.3 = 462.87...540.02 \text{ мПа},$$

де  $[\sigma]_H$  - граничне контактне зусилля у прямозубій передачі.

Міцність шнекового елеватора забезпечена.

### **3.4. Заходи з підготовки сушарки до роботи**

При підготовці сушарки до роботи необхідно:

-перевірити стан всіх механізмів і надійність кріплення всіх болтових з'єднань, а також усунути їх несправності;

-промити і заповнити паливний бак пальним (дизпальне);

-перевірити наявність змащування в підшипниках і осей мотор-редукторів;

-перевірити наявність сітки на завантажувальному отворі бункера-приймача;

-встановити заслінки вентилятора у відповідне положення;

-перевірити і за потреби відрегулювати час спрацювання механізму включення електророзпалу і стабільності розпалу на кінцях електродів;

-встановити необхідний тиск у паливопроводі.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників під час післяжнивного обробітку зерна на ЗОСП**

При післяжнивній обробці зерна на ЗОСП можлива дія наступних небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Найголовнішим їх джерелом є людина, що порушує трудову дисципліну, знаходиться на робочому місці в нетверезому стані, порушує правила техніки безпеки на ЗОСП, до яких відносяться: куріння в приміщенні сушарки і місцях зберігання зерна, ремонт робочого устаткування, використання небезпечних агрегатів без захисних огороджувачів. Можливі травми при контакті з рухомими частинами сортувального устаткування, транспортуючих агрегатів, стрічкових норій, використовуваних без захисних кожухів, ремінних і ланцюгових передач.

Все електроустаткування на ЗОСП працює від трифазної 4-х жильної електричної системи напругою 380/220 В. По електробезпеці приміщення сушарки відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, що пов'язане з наявністю струмопровідної бетонної основи, підвищеної вологості і температури. По ПЕУ приміщення сушарки – зона класу II. До небезпечних чинників, пов'язаних з електрикою також відноситься порушення ізоляції електричних дротів, ремонт устаткування при включеному джерелі живлення.

Недолік природного і штучного освітлення (менше 150 лк).

Вміст в приміщенні пилу вище встановленої гранично-допустимої концентрації – більше 6 мг/м<sup>3</sup>. При сушці вологого зерна нагріте і вологе повітря виходить безпосередньо в приміщення ЗОСП, наслідком чого є підвищена вологість (більше 75%) і температура довколишнього повітря (більше 27<sup>0</sup>С). Робота більшості устаткування ЗОСП пов'язане з постійним підвищеним шумом (більш 70Дб), а також проявом загальної і локальної вібрацій від роботи зерноочисних і сортувальних машин.

Джерелом небезпечних виробничих чинників є теплогенератор ТАУ-0,75: робота з несправним запобіжним клапаном, несправними системами подачі палива і запалення, запуск без попереднього продування.

Пожежонебезпечні чинники – попадання іскри у сухе зерно, пил і інші горючі матеріали, коротке замикання, надмірне підвищення температури агента сушки.

Небезпечні чинники можуть стати наслідком порушення режимів праці і відпочинку – 40 годинний робочий тиждень, обідню перерву (1 година), 10 хвилинних перерв на потреби працівників. Психофізіологічний чинник. Стомлюваність і зниження працездатності до кінця зміни. Відповідно до СН-245-71 робота на ЗОСП відноситься до II категорії – середньої важкості. Клас шкідливості – особливо шкідлива.

#### 4.2. Аналіз небезпечних зон

Небезпечними зонами на ЗОСП є: зона довкола обертових деталей приводів, зона приймальних бункерів з аерожолобами, ворота.

Небезпечна зона обертання електроприводу устаткування визначається за формулою:

$$V=D \cdot B \cdot L \cdot R , \quad (4.1)$$

де  $D$  – діаметр муфти, м;

$B$  – ширина муфти, м;

$L$  – довжина валу з муфтою, м;

$R$  – зона безпеки.

$$V=0,1 \cdot 0,15 \cdot 0,32 \cdot 2=0,01 \text{ м}^3.$$

Розрахунок ширини воріт для проїзду автомобіля визначають за формулою:

$$B=b+2 \cdot a , \quad (4.2)$$

де  $b$  – ширина автомобіля, м;



$a$  – відстань для проходу людей, м,

$$B=2,5+2\cdot 0,7=3,9\text{м.}$$

#### **4.3. Розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій при вирощуванні озимої пшениці**

Аналізуючи кожну з побудованих логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди можна знайти подію, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків.

Пропонуємо окремі з них, а саме: 1. Приготування розчину отрутохімкатів:

- відсутність засобів захисту у працівників НУ1;
- недостатньо герметична ємкість для приготування робочої рідини для обприскування НУ2;
- контакт працівника із отрутохімкатами НД1;
- отруєння працівника НС1.

Модель процесу

**НУ1----**

**НД1-----НС1-----О**

**НУ2----**

2. Транспортування розчину отрутохімкатів

- підтікання розчину отрутохімкатів НУ1;
- перевищення допустимої швидкості руху НУ2;
- розбризування отрутохімкатів НД1;
- забруднення навколишнього середовища НС1.

Модель процесу

**НУ1-----**

**НД1-----НС1-----О**

## **НУ2-----**

Модель виробничих небезпек дозволяє знизити виробничий травматизм і попередити його наслідки.

## 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ

### 5.1 Економічна ефективність вдосконалення

Економічна ефективність вдосконаленого визначається у порівнянні з базовою моделлю.

Враховуючи зміну цін на техніку, паливо-мастильні матеріали, сільськогосподарську продукцію, а також зміну нормативів на заробітну плату, дані показники вважаються реальними для умов експлуатації нового агрегату. Розрахунок здійснюється згідно з запланованою методикою в наступній послідовності:

1. На основі експлуатаційних показників роботи нової і базової машин нормативно-довідникових даних, реальних цін на трактори і сільськогосподарську техніку, паливо-мастильні матеріали та інше, заповнюється таблиця вихідних даних для визначення економічної ефективності спеціалізованої техніки.

Вихідні дані (станом на 1.01.2024 р.) для розрахунків економічної ефективності нашої сушарки наведені в таблиці 5.1. де враховані тільки показники, що відносяться до технологічного процесу і впливають на економічний ефект.

2. Аналіз економічної ефективності проводимо на ПЕОМ IBM- А/XT з використанням програми, розробленої на мові “gwbasic”.

3. У діалоговому режимі з машиною вихідні дані з таблиці 5.1 заносяться в програму. Показники економічної ефективності виводяться на друкувальний пристрій.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності спеціалізованої ланки

Показники	Позначення	Агрегат	
		базов	нова
1	2	3	4
Продуктивність агрегату за годину змінного часу	$W_2$	8	11
Балансова вартість т.грн; - машини.	$B_M$	720	720
Річне завантаження, год: - машини.	$T_M$	200	200
Чисельність виробничого персоналу, чол.: - основного, - допоміжного.	$L_{осн.}$ $L_{доп.}$	1 -	1 -
Коефіцієнт, що враховує доплати: - основного персоналу,	$K_{осн}$	1,1	1,1
Годинні тарифні ставки, грн/люд.год.: - основного персоналу,	$\Gamma_{осн}$	115	115
Коефіцієнт відрахувань на реновацію: - машини.	$Q_{р.м.}$	12,5	12,5
Коефіцієнт відрахувань на потоковий ремонт і технічне обслуговування: - машини.	$Y_{п.м.}$	27	27
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт: - машини.	$Y_{к.м.}$	6	6
Витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/т.	$G$	10	8,5
Ціна 1 кг палива з врахуванням мастильних матеріалів, що припадає на 1 кг палива, грн.	$\Pi$	40	40
Кількість кожного виду продукції, що виробляється машиною на одиницю напрацювання, т/год.	$M_{п.}$	9	11
Ціна кожного виду продукції грн/ц.	$\Pi_{п.}$	500	500
Затрати на зберігання, що припадають на 1 год. експлуатаційного часу, грн/га: - машини.	$Z_{зб.м.}$	0,065	0,065
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.	$E$	0,15	
Коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту.	$\tilde{O}$	0,8	
Коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову.	$\ddot{Y}$	1,1	

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини ( $E_p$ ) у грн. визначаємо за формулою:

$$E_p = (\Pi_{\delta} - \Pi_n + E') v_3, \quad (5.1)$$

де  $\Pi_{\delta}$ ,  $\Pi_n$  – зведені затрати на одиницю напрацювання для базової та нової машини, грн/од.напр.

$E'$  – економічний ефект від змін витрати основних матеріалів і якості продукції, що отримується під час експлуатації нової машини, од. напр/рік.

$$E_p = (436,165 - 368,165) * 1000 = 68000 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від виробництва і використання за строк експлуатації нової машини ( $E_{ec}$ ) у грн.:

$$E_{ec} = E_p (Q_u + E), \quad (5.2)$$

де  $Q_u$  – коефіцієнт відрахувань на реновацію нової машини

$E$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:

$$E_{ec} = 68000 / (0,125 + 0,15) = 247272 \text{ грн.}$$

Лімітна ціна нової машини ( $\Pi_l$ ) у гривнях:

$$\Pi_l = \Pi_{в.м.} * \tilde{O}, \quad (5.3)$$

де  $\Pi_{в.м.}$  – верхня межа нової машини, грн;

$\tilde{O}$  - коефіцієнт гарантії споживачу ефекту використання нової машини.

$$\Pi_{в.м.} = [ E_p / (Q_u + E) + B_m ] (1/\dot{Y}), \quad (5.4)$$

де  $\dot{Y}$  – коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову;

$B_m$  – балансова ціна нової машини, грн.

$$\Pi_{в.м.} = [68000 / (0,125 + 0,15) + 720000] (1/1,1) = 878930 \text{ грн.}$$

Річна економія праці під час експлуатації нової машини в людино-годинах визначають за формулою:

$$Z_p = (Z_{лб} - Z_{лн}) v_3. \quad (5.5)$$

де  $Z_{лб}$ ,  $Z_{лн}$  – затрати праці на одиницю напрацювання базової і нової машин, люд.-год./га.

$$Z_p = 0,003 * 1000 = 3 \text{ люд.год.}$$

Зведені затрати на одиницю напрацювання ( $\Pi$ ) у гривнях визначаємо за формулою:

$$\Pi = U + KE, \quad (5.6)$$

де  $U$  – прямі експлуатаційні затрати на одиницю напрацювань, грн/га.

$$\Pi_{\sigma} = 436 + 1,1 * 0,15 = 436,165 \text{ грн/т};$$

$$\Pi_{\eta} = 368 + 1,1 * 0,15 = 368,165 \text{ грн/т}.$$

Прямі експлуатаційні затрати рівні:

$$U = Z + \Gamma + P + A + Z_3, \quad (5.7)$$

де  $Z$  – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/га,

$\Gamma$  – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га,

$P$  – затрати на технічне обслуговування, потоковий і капітальний ремонт, грн/га,

$A$  – затрати на ренувацію, грн/га,

$Z_3$  – затрати на зберігання, грн/га.

$$U_{\sigma} = 16 + 400 + 13,5 + 6,5 + 0,009 = 436 \text{ грн/т},$$

$$U_{\eta} = 12 + 340 + 11 + 5,1 + 0,007 = 368 \text{ грн/т}.$$

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу становлять:

$$Z = (1/W_{зм}) \sum * L_i \tau_i * K_{jd}, \quad (5.8)$$

де  $W_{зм}$  – продуктивність машини за вісім годин змінного часу, т/год.;

$L_i$  – чисельність виробничого персоналу, чел.;

$\tau_i$  – годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу, грн/га.

$K_{jd}$  – коефіцієнт доплати.

$$Z_{\sigma} = (1/8) 1 * 115 * 1,1 = 16 \text{ грн/т},$$

$$Z_{\eta} = (1/11) 1 * 115 * 1,1 = 12 \text{ грн/т}.$$

Затрати на паливо-мастильні матеріали:

$$\Gamma = g * Ц,$$

де  $g$  – витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/од.напрацюв.

$Ц$  – ціна 1 кг палива в грн.

$$Г_{\delta} = 10 * 40 = 400 \text{ грн/т,}$$

$$Г_{\text{н}} = 8,5 * 40 = 340 \text{ грн/т.}$$

Затрати на технічне обслуговування, потоковий і капітальний ремонт за нормативами відрахувань від балансової ціни машини:

$$P = \epsilon (Y_m + Y_k) / W_{\text{зм}} * T_p.$$

де  $\epsilon$  – балансова вартість машини, грн.;

$Y_m$  - коефіцієнт відрахувань на потоковий ремонт і технічне обслуговування машини;

$Y_k$  – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

$T_p$  – річне завантаження машин, год.

$$P_{\delta} = 720000 (0,22 + 0,27) / (72 * 200) = 13,5 \text{ грн/т;}$$

$$P_{\text{н}} = 720000 (0,22 + 0,27) / (88 * 200) = 11 \text{ грн/т.}$$

Затрати на реновацію машин:  $A = \epsilon * q / W_{\text{зм}} * T_p$ ;

де  $q$  – коефіцієнт відрахувань на реновацію машини:

$$A_{\delta} = 720000 * 0,125 / (72 * 200) = 6,5 \text{ грн/т,}$$

$$A_{\text{н}} = 720000 * 0,125 / (88 * 200) = 5,1 \text{ грн/т.}$$

Затрати на зберігання:

$$Z_3 = Z_{3\delta} / W_{\text{зм}},$$

де  $Z_{3\delta}$  – затрати на зберігання машини, що припадають на 1 год. експлуатаційного часу, грн/год.

$$Z_{\delta} = 0,65 / 72 = 0,009 \text{ грн/т,}$$

$$Z_{\text{н}} = 0,65 / 88 = 0,007 \text{ грн/т.}$$

Капітальні вкладення  $R$  на 1 напрацювання становлять:

$$K = \epsilon / W_{\text{зм}} * T_p$$

$$K_{\delta} = 720000 / (72 * 200) = 50 \text{ грн/т;}$$

$$K_{\text{н}} = 720000 / (88 * 200) = 40 \text{ грн/т.}$$

Затрати праці ( $Z_l$ ) в людино-годинах на 1 напрацювання під час виконання машиною або робітниками робочого процесу:

$$Z_l = L / W_{\text{зм}},$$

де  $L$  – чисельність виробничого персоналу, чол.

$$Z_{л.б.} = 1 / 72 = 0,014 \text{ год/т,}$$

$$Z_{л.и.} = 1 / 88 = 0,011 \text{ год/т.}$$

Економія затрат праці:

$$Z = Z_{л.б.} - Z_{л.и.} = 0,014 - 0,011 = 0,003 \text{ год/т.}$$

## 5.2. Результати економічної ефективності

Таблиця 5.2 - Економічна ефективність використання сушарки СЗСБ-8

Показники	Машина	
	СЗСБ-8	СЗСБ-8М
Річне напрацювання, год	200	200
Прямі затрати на:		
• оплату праці, грн/т	16	12
• паливо-мастильні матеріали, грн/т	400	340
• технічне обслуговування і ремонт, грн/т	13,5	11
• реновація, грн/т	6,5	5,1
Інші прямі затрати, грн/т	0,009	0,007
Всього прямих затрат, грн/т	436	368
Капітальні вкладення, грн/од. напр.	50	40
Приведені затрати, грн/од. напр.	82,32	69,89
Економічний ефект від зміни кількості та якості продукції, грн	-	247272
Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	-	68000
Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби нової машини	-	247272
Верхня межа нової машини, грн	-	878930
Лімітна ціна нової машини, грн	-	103136
Затрати праці в люд.год./од.напр.	-	3



## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Ковшовий тип завантажувача – це стрічковий транспортер, з прикріпленими по всій довжині стрічки через рівні проміжки ківшами.

Цей тип завантажувача застосовується на пересувній шахтній сушарці СЗПЖ-8. Головним недоліком ковшового завантажувача є відносно мала продуктивність при значних габаритах і нераціональне використання теплообмінника.

Тому ми пропонуємо для зернової сушарки СЗСБ-8А використати шнековий елеватор, з метою зменшення її габаритів і підвищення продуктивності.

- місткість приймальних бункерів з аерожолобами має бути не менше  $0,5G_{доб\ max}$  (т або  $m^3$ ) = 161,25  $m^3$ ;

- приймаємо сумарну потрібну місткість бункерів з аерожолобами і бункерів активного вентилявання перед сушкою, рівною максимально можливому добовому надходженню зернового вороху  $G_{доб\ max}$ , т.е.  $V_{сум}=322,5 m^3$ ;

- необхідна продуктивність сушарок 17,1 т/год;

- колова швидкість у передачі 1,39 м/с;

- впровадження нової технології виробництва пшениці дозволить зекономити кошти на придбання нової техніки, а також підвищити валовий збір продукції;

- економічний ефект від виробництва і використання за строк служби нової машини 247272 т/грн..

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алімов Д. Н., Шелестов Ю. В. Технологія виробництва продукції рослинництва. Київ. Вища школа. Главне в-во, 1988, - 320 с.
2. Довідник сільського інженера. В. Д. Гречкосій, О. М. Погорілець, І. І. Ревенко та інші за ред. В. Д. Гречкосія. Київ. Урожай. 1991. - 400 с.
3. Кияк Г. С. Рослинництво. Київ. Вища школа. Головне в-во. 1992, - 400 с.
4. Машиновикористання в землеробстві. За редакцією Ільченка В. Ю., Нагірного Ю. П., Київ .Урожай. 1996, - 382 с.
5. Моделювання енергоємності механічного обробітку ґрунту в сівоzmінах./М. Я. Бомба та ін. Львів ЛДАУ. 1997. - 38 с.
6. Пістун І. П., Кіт Ю. В., Березовецький А. П. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За заг. ред. канд. тех. наук І. П. Пістуна. Суми. Видавництво «Університетська книга». 2000, – 207с.
7. Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П., Мазур І.Б. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. посібник. Львів. Сполом. 2022. 376 с.
8. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>(датазвернення:22.10.2022).
9. Електробезпека [Текст]: підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. Харків . УкрДУЗТ. 2018. 295 с.
10. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Березовецький А.П., Тимочко В.О., Городецький І.М.; за ред. І.П.Пістуна. Львів. Тріада плюс. 2017. Ч.1. 620 с.
11. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П.,; за ред. І.П.Пістуна. Львів. Тріада плюс. 2015. Ч.11. 224 с.

12. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text> (дата звернення 16.09.2022).
13. Войналович О.В., Білько Т.О. Виробнича санітарія: Навч. посіб. Київ. НУБП. 2009. 170 с.
14. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ. Урожай. 1993. 270 с.
15. Царенко О.М., Войтюк Д.Г. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Київ: РВВ «Мета», 2003. – 441 с.
16. Бакум М.В., Горбатовський О.М., Манчинський В.Ю., Манчинський Ю.О., Сергееєва А.В. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум. Харків. РВВ ХНТУСГ, 2005. -193 с.
17. Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник. Дніпропетровськ. РВВ ДДАУ. 2009. -84 с.
18. Головченко Г. С., Калнагуз О. М., Сіренко Ю. В. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Конспект лекцій. Суми. РВВ СНАУ. 2012. – 59 с.