**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР___
(підпис) (ініціали, прізвище)

# Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технологічного процесу сепарації зерна з модернізацією зерноочисної машини СЗК-25»

Виконав: студент _4 курсу, групи 41-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Гавриленко Ярослав Вікторович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник доцент Петриченко Є.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії
Освітня програма «Бакалавр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
**Зав. кафедри**
**_____ Володимир ДІДУР**
**«___» _____ 2026 р.**

# З А В Д А Н Н Я
# НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Гавриленку Ярославу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення технологічного процесу сепарації зерна з модернізацією зерноочисної машини СЗК-25»
керівник проекту Петриченко Євгеній Анатолійович, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від
" 01 " травня 2026 р. № 01-06/129

2. Строк подання студентом проекту 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: характеристика зерноочисної машини СЗК-25; технологічна схема процесу сепарації зерна; аналіз недоліків базового технологічного процесу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
аналіз стану досліджуваного питання; експериментальні дослідження; питання охорони праці; техніко-економічне обґрунтування проекту.

5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; загальна будова та принцип роботи зерноочисного сепаратора СЗК-25; технологічний процес сепарації зернового матеріалу на СЗК-25; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Прокопенко Е.В., доцент | | |

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту | Строк виконання етапів проекту | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу | 15.10.2025 р. | |
| 2. | Розділ 1. Технологічна частина | 19.11.2025 р. | |
| 3. | Розділ 2. Конструкторсько-технологічна частина | 18.12.2025 р. | |
| 4. | Розділ 3. Охорона праці | 12.02.2026 р. | |
| 5. | Розділ 4. Техніко-економічна частина | 09.03.2026 р. | |
| 6. | Виконання ілюстративної частини проекту | 15.04.2026 р. | |
| 7. | Представлення проекту керівнику на перевірку | 18.05.2026 р. | |

**Студент** _____ Гавриленко Я.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

**Керівник проекту** _____ Петриченко Є.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

# ЗМІСТ

**1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА** ..... 5
1.1 Значення процесу сепарації зерна у післязбиральній обробці ..... 5
1.2 Характеристика зерноочисної машини СЗК-25 ..... 5
1.3 Технологічна схема процесу сепарації зерна ..... 7
1.4 Аналіз недоліків базового технологічного процесу ..... 9
1.5 Обґрунтування модернізації зерноочисної машини СЗК-25 ..... 10
**2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.** ..... 13
2.1 Загальна будова та принцип роботи зерноочисного сепаратора СЗК-25 ..... 13
2.2 Технологічний процес сепарації зернового матеріалу на СЗК-25 ..... 16
2.3 Обґрунтування необхідності модернізації зерноочисної машини СЗК-25 ..... 18
2.4 Опис конструктивної розробки ..... 20
2.5 Перевірочний розрахунок підвісок ..... 21
2.6 Розрахунок шпонкового з'єднання ..... 24
2.7 Розрахунок клинопасової передачі ..... 26
**3 ОХОРОНА ПРАЦІ** ..... 31
3.1 Загальна характеристика умов праці під час сепарації зерна ..... 31
3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів ..... 31
3.3 Вимоги безпеки перед початком роботи ..... 32
3.4 Вимоги безпеки під час роботи зерноочисної машини ..... 32
3.5 Заходи щодо зменшення запиленості та пожежної небезпеки ..... 33
3.6 Електробезпека під час експлуатації СЗК-25 ..... 34
3.7 Вимоги безпеки після закінчення роботи ..... 34
**4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА** ..... 35
**ВИСНОВОК** ..... 39
**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ** ..... 40

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Значення процесу сепарації зерна у післязбиральній обробці

Післязбиральна обробка зерна є важливою складовою технологічного процесу виробництва зернової продукції. Після надходження від комбайнів зернова маса містить не лише основне зерно, а й значну кількість домішок: частини соломи, колосків, полову, насіння бур’янів, пил, мінеральні домішки, пошкоджені та щуплі зерна. Наявність таких домішок погіршує умови зберігання зерна, знижує його товарну якість, ускладнює сушіння та може спричинити самозігрівання зернової маси [1, 4].

Сепарація зерна — це процес розділення зернової суміші на окремі фракції за фізико-механічними властивостями її компонентів. До таких властивостей належать розміри частинок, форма, густина, стан поверхні, аеродинамічні характеристики та пружність. У практиці післязбиральної обробки найчастіше застосовують повітряно-решітну сепарацію, яка поєднує очищення зерна повітряним потоком і просіюванням через решета [2, 5].

Основним завданням сепарації є видалення із зернової маси великих, дрібних і легких домішок, а також доведення зерна до кондицій, які відповідають вимогам подальшого зберігання, переробки або використання як насіннєвого матеріалу. Для пшениці якісні показники зерна регламентуються чинними стандартами, зокрема ДСТУ 3768:2019, де визначаються вимоги до зерна залежно від його призначення [1].

Ефективність сепарації залежить від рівномірності подачі зернової маси, правильного добору решіт, швидкості повітряного потоку, вологості зерна, вмісту домішок і технічного стану робочих органів машини. Якщо зерно подається нерівномірно або повітряний потік відрегульований неправильно, частина домішок може залишатися в очищеному зерні, а повноцінне зерно — потрапляти у відходи [3, 6].

## 1.2 Характеристика зерноочисної машини СЗК-25

Зерноочисна машина СЗК-25 призначена для очищення зерна зернових, зернобобових і круп’яних культур від домішок, що відрізняються від основної культури розмірами, масою та аеродинамічними властивостями. Машина може використовуватися у складі зерноочисних ліній, зернотоків, елеваторних комплексів і насіннєвих пунктів [7, 8].

За технологічним призначенням СЗК-25 належить до повітряно-решітних зерноочисних машин. Її робочий процес базується на послідовному проходженні зернової

маси через завантажувальний пристрій, аспіраційний канал, решітний стан і систему вивантаження очищеного зерна та відходів. У процесі роботи легкі домішки видаляються повітряним потоком, великі домішки сходять із верхніх решіт, а дрібні частинки проходять крізь отвори відповідних решіт [5, 7].

Загальна будова та принцип роботи зерноочисної машини СЗК-25 наведені на рисунку 1.1.




Рисунок 1.1 – Загальна будова та принцип роботи зерноочисної машини СЗК-25

До основних вузлів машини СЗК-25 належать: завантажувальний механізм, приймальний бункер, розподільний пристрій, аспіраційний канал, вентилятор, решітний стан, приводний механізм, система очищення решіт, вивантажувальні транспортери, рама та захисні кожухи.

Під час роботи вихідна зернова суміш надходить у приймальний бункер і через завантажувальний механізм подається до розподільного пристрою. Розподільний пристрій забезпечує рівномірне подавання матеріалу по всій ширині робочої зони машини. Далі зернова маса проходить через аспіраційний канал, де за допомогою повітряного потоку відокремлюються легкі домішки: пил, полова, дрібні рослинні рештки та інші легкі частинки.

Після попереднього повітряного очищення зерно надходить на решітний стан. На решетах відбувається сортування матеріалу за розмірами: великі домішки не проходять крізь отвори решіт і виводяться окремим потоком, дрібні домішки проходять через підсівні решета, а очищене зерно спрямовується до вивантажувального транспортера. Система очищення решіт запобігає забиванню отворів і забезпечує стабільну пропускну здатність машини.

Орієнтовна продуктивність машини у режимі попереднього очищення становить до 25 т/год, що відповідає її маркуванню. У режимі більш ретельного очищення або підготовки насіннєвого матеріалу продуктивність може бути меншою, оскільки підвищуються вимоги до якості розділення зернової маси [7].

Основними перевагами машин такого типу є відносна простота конструкції, можливість роботи з різними культурами, регулювання режимів очищення, порівняно невисокі експлуатаційні витрати та можливість використання в умовах сільськогосподарського підприємства. Водночас на практиці ефективність роботи СЗК-25 значною мірою залежить від правильного налаштування повітряного режиму, стану решіт, герметичності аспіраційної системи та рівномірності завантаження [4, 8].

### 1.3 Технологічна схема процесу сепарації зерна

Технологічний процес сепарації зерна на машині СЗК-25 можна подати у вигляді такої послідовності операцій (рис 1.1):

1. приймання зернової маси після комбайнового збирання;
2. подача зерна до завантажувального пристрою машини;
3. рівномірний розподіл зернового матеріалу по ширині робочої зони;
4. видалення легких домішок в аспіраційному каналі;
5. розділення зернової суміші на решетах;
6. відведення великих і дрібних домішок;
7. вивантаження очищеного зерна;
8. контроль якості очищення;
9. направлення зерна на сушіння, зберігання або подальше калібрування.

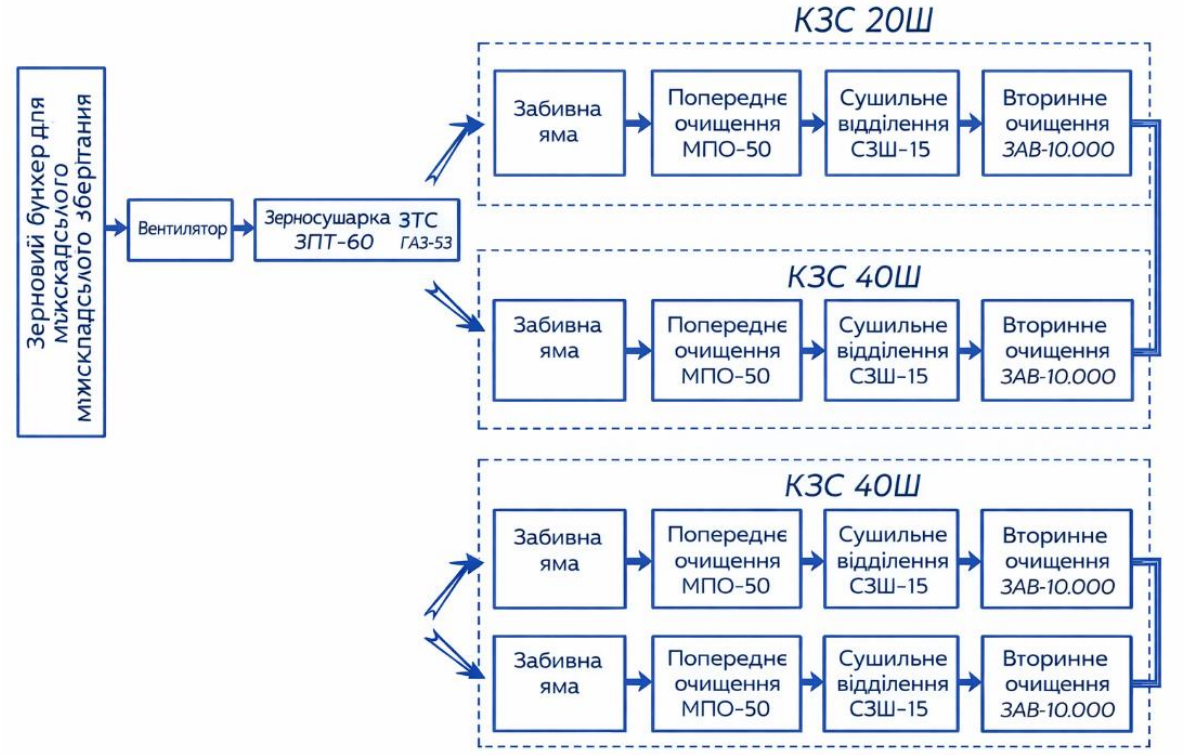



Рисунок 1.1 – Технологічна схема післязбиральної обробки зерна на підприємстві

На першому етапі зернова маса надходить до приймального бункера. Важливо забезпечити рівномірну подачу матеріалу, оскільки перевантаження робочих органів призводить до погіршення якості очищення. При нерівномірному шарі зерна легкі домішки не повністю видаляються повітряним потоком, а решета працюють із різним навантаженням по ширині [5].

Далі зернова маса проходить через аспіраційний канал. Тут повітряний потік відокремлює пил, полову, частинки соломи та інші легкі домішки. Швидкість повітря має бути такою, щоб легкі домішки виносилися з потоку, але повноцінне зерно залишалося в основній фракції. Надмірна швидкість повітря спричиняє втрати зерна, а недостатня — погіршує очищення [6, 9].

Після аспіраційного очищення матеріал надходить на решітний стан. Верхнє решето переважно відокремлює великі домішки, які не проходять крізь отвори. Нижні решета призначені для виділення дрібних домішок, щуплого зерна та частинок, менших за зерно основної культури. Вибір решіт залежить від культури, її вологості, розміру зерна та призначення очищення [2, 5].

Якість сепарації оцінюють за такими показниками:

– вміст домішок у очищеному зерні;

– втрати повноцінного зерна у відходах;

– продуктивність машини;

– рівномірність подачі матеріалу;

– стабільність роботи аспіраційної системи;

– енергоємність процесу.

Загальна ефективність очищення може бути визначена за формулою:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} 100 \quad (1.1)$$

де $E$ — ефективність очищення, %;

$C_1$ — вміст домішок у зерновій масі до очищення, %;

$C_2$ — вміст домішок після очищення, %.

Втрати повноцінного зерна у відходах визначають за формулою:

$$P = \frac{m_з}{m_в} 100 \quad (1.2)$$

де $P$ — втрати зерна у відходах, %;

$m_з$ — маса повноцінного зерна у відходах, кг;

$m_в$ — загальна маса відходів, кг.

Продуктивність зерноочисної машини визначають за залежністю:

$$Q = \frac{m}{t} \quad (1.3)$$

де $Q$ — продуктивність машини, т/год;

$m$ — маса очищеного зерна, т;

$t$ — тривалість роботи, год.

## 1.4 Аналіз недоліків базового технологічного процесу

У процесі експлуатації зерноочисної машини СЗК-25 можуть виникати недоліки, які знижують якість сепарації та продуктивність технологічної лінії. Найбільш характерними є:

– нерівномірна подача зернової маси на решітний стан;

– забивання решіт вологим або засміченим зерном;

– недостатня ефективність аспіраційного очищення;

– втрати повноцінного зерна разом із легкими домішками;

– підвищена запиленість робочої зони;

– збільшений рівень шуму та вібрації;

– зношування приводних і робочих органів;

– складність точного регулювання повітряного потоку.

Нерівномірність подачі зерна є однією з головних причин зниження ефективності очищення. Якщо матеріал надходить на решета нерівномірним шаром, частина робочої поверхні перевантажується, а інша залишається недостатньо задіяною. Це призводить до зменшення пропускної здатності решіт і погіршення відокремлення домішок [5].

Забивання решіт особливо характерне при роботі з вологим зерном або матеріалом із підвищеним вмістом дрібних органічних домішок. У такому разі зменшується жива площа решіт, погіршується просіювання, підвищується навантаження на приводний механізм і зростає енергоємність процесу [6].

Недостатня ефективність аспіраційної системи може бути пов’язана з негерметичністю повітропроводів, зношуванням вентилятора, неправильним положенням регулювальних заслінок або відсутністю стабільного повітряного потоку. У результаті легкі домішки не повністю видаляються із зернової маси, що негативно впливає на якість очищення та умови подальшого зберігання зерна [4, 9].

## 1.5 Обґрунтування модернізації зерноочисної машини СЗК-25

Модернізація зерноочисної машини СЗК-25 спрямована на підвищення ефективності технологічного процесу сепарації зерна, зменшення втрат повноцінного зерна, покращення умов праці оператора та зниження експлуатаційних витрат. Доцільність модернізації пояснюється тим, що навіть за достатньої продуктивності базова машина потребує удосконалення системи подачі, аспірації та очищення решіт [3, 5].

У межах дипломного проєкту доцільно передбачити модернізацію таких елементів:

– встановлення удосконаленого розподільника зернової маси;

– покращення системи регулювання повітряного потоку;

– удосконалення механізму очищення решіт;

– герметизацію аспіраційного каналу;

– встановлення пиловловлювального пристрою або циклона;

– покращення захисних кожухів приводних механізмів;

– зменшення рівня вібрації за рахунок балансування рухомих частин.

Одним із найбільш доцільних напрямів модернізації є встановлення регульованого розподільника зернового потоку перед решітним станом. Такий пристрій забезпечує рівномірний розподіл матеріалу по ширині решета, зменшує локальне перевантаження робочої поверхні та підвищує ефективність просіювання. У результаті збільшується

корисна площа решіт і покращується якість очищення [5, 8].

Другим важливим напрямом є удосконалення аспіраційної системи. Для цього можна передбачити регулювальну заслінку з фіксацією положення, ущільнення повітропроводів і встановлення пиловловлювача. Це дозволить стабілізувати швидкість повітряного потоку, зменшити втрати зерна у легких відходах і знизити запиленість робочої зони [9, 10].

Також доцільним є покращення системи очищення решіт. Використання щіткового або кулькового механізму очищення знижує імовірність забивання отворів решіт, особливо при роботі з вологим зерном. Це забезпечує стабільнішу продуктивність машини та зменшує потребу у частих зупинках для ручного очищення [6].

### 1.5.1 Очікуваний ефект від модернізації

Удосконалення технологічного процесу сепарації зерна з модернізацією зерноочисної машини СЗК-25 дає змогу отримати такі результати:

- підвищити ефективність очищення зерна;
- зменшити втрати повноцінного зерна у відходах;
- забезпечити рівномірне завантаження решітного стану;
- стабілізувати роботу аспіраційної системи;
- зменшити запиленість робочої зони;
- скоротити кількість простоїв, пов’язаних із забиванням решіт;
- підвищити безпеку роботи обслуговуючого персоналу;
- знизити експлуатаційні витрати на післязбиральну обробку зерна.

Очікуване зниження втрат зерна можна визначити за формулою:

$$\Delta \mathrm{P} = \mathrm{P}_1 - \mathrm{P}_2 \tag{1.4}$$

де $\Delta P$ — зменшення втрат зерна, %;

$P_1$ — втрати зерна до модернізації, %;

$P_2$ — втрати зерна після модернізації, %.

Річну економію зерна від зменшення втрат можна визначити:

$$\mathrm{M}_\mathrm{e} = \frac{Q_\mathrm{p} \cdot \Delta \mathrm{P}}{100} \tag{1.5}$$

де $M_e$ — маса зекономленого зерна, т;

$Q_p$ — річний обсяг очищення зерна, т;

$\Delta P$ — зменшення втрат зерна, %.

Отже, модернізація СЗК-25 є технічно обґрунтованою, оскільки вона спрямована на підвищення якості очищення зернової маси, зменшення виробничих втрат і покращення умов експлуатації машини. Запропоновані зміни можуть бути реалізовані в умовах ремонтної майстерні господарства без значного ускладнення конструкції машини.

# 2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.

## 2.1 Загальна будова та принцип роботи зерноочисного сепаратора СЗК-25

Зерноочисний сепаратор СЗК-25 призначений для очищення зернового матеріалу від домішок, які відрізняються від основної культури за розмірами, масою, формою, аеродинамічними властивостями та наявністю металевих включень. Машина застосовується у складі зерноочисних ліній, на токах, елеваторах, зерносховищах і в господарствах, де виникає потреба у післязбиральній доробці зерна перед сушінням, зберіганням або подальшою переробкою.

Конструктивно сепаратор СЗК-25 поєднує два основні способи очищення зернової маси: решітне сепарування та пневматичне розділення. Решітний сепаратор забезпечує виділення великих і дрібних домішок за геометричними розмірами, а пневмосепараційний канал використовується для відокремлення легких частинок, пилу, полови та інших домішок, які мають меншу швидкість витання порівняно з повноцінним зерном.

До складу сепаратора входять такі основні вузли: станина, решітний кузов, комплект решітних рамок, привідний механізм, траверса з балансирними пристроями, магнітно-аспіраційна камера, приймальний бункер, розподільний лоток, пневмосепараційний канал, аспіраційний трійник, регулювальні заслінки, лотки для відведення домішок і очищеного зерна, а також захисні огородження.

Станина є несучою частиною машини. Вона сприймає основні навантаження, що виникають під час роботи сепаратора, і забезпечує правильне взаємне розміщення всіх його вузлів. Станина складається з передньої та задньої стійок, з’єднаних боковинами й поперечними зв’язками. На ній закріплюються решітний кузов, аспіраційні елементи, привідні механізми та обмежувачі коливань.

Решітний кузов є основним робочим органом машини. Він установлений на гнучких підвісках, які забезпечують можливість виконання коливального руху. У кузові розміщені решітні рамки, що встановлюються по напрямних і фіксуються притискними пристроями. Така конструкція дає змогу швидко замінювати решета залежно від культури, що очищується, та характеру домішок у зерновій масі.

Решітні рамки мають секційну будову. Вони поділені поздовжніми та поперечними перегородками на окремі відсіки, у яких розміщуються гумові кульки. Під час роботи машини кульки здійснюють хаотичні удари по нижній поверхні решіт, завдяки чому отвори очищуються від застряглих зерен, частинок соломи, насіння бур’янів та інших

домішок. Це дає змогу підтримувати стабільну пропускну здатність решіт і зменшувати кількість зупинок машини для ручного очищення.

Привід решітного кузова здійснюється від електродвигуна, встановленого на передній стінці кузова. Через клинопасову передачу обертання передається на шків із дебалансним вантажем. Під час обертання дебаланса виникає відцентрова сила, яка спричиняє кругові коливальні рухи решітного стану. Саме ці коливання забезпечують переміщення зернової маси по поверхні решіт, її розшарування та просіювання.

У верхній частині машини розташована магнітно-аспіраційна камера. Вона виконує дві важливі функції: затримує металеві домішки за допомогою магнітів і забезпечує попереднє виділення легких домішок повітряним потоком. Наявність магнітного захисту є важливою умовою надійної роботи машини, оскільки металеві включення можуть пошкоджувати решета, привідні елементи та інше технологічне обладнання.

На вході в решітний кузов встановлено розподільний лоток. Його призначення полягає в рівномірному розподілі зернової маси по ширині решіт. Від рівномірності подачі значною мірою залежить якість очищення, оскільки перевантаження окремих ділянок решета призводить до погіршення просіювання та збільшення втрат повноцінного зерна у відходах.

Для підключення сепаратора до аспіраційної системи на задній стінці станини передбачено патрубок. Через нього відводиться повітряна суміш, що містить пил, полову та інші легкі домішки. Інтенсивність повітряного потоку регулюється заслінками та дроселем. Правильне налаштування аспірації має велике значення, оскільки недостатній повітряний потік не забезпечує повного видалення легких домішок, а надмірний може виносити разом із відходами повноцінне зерно.

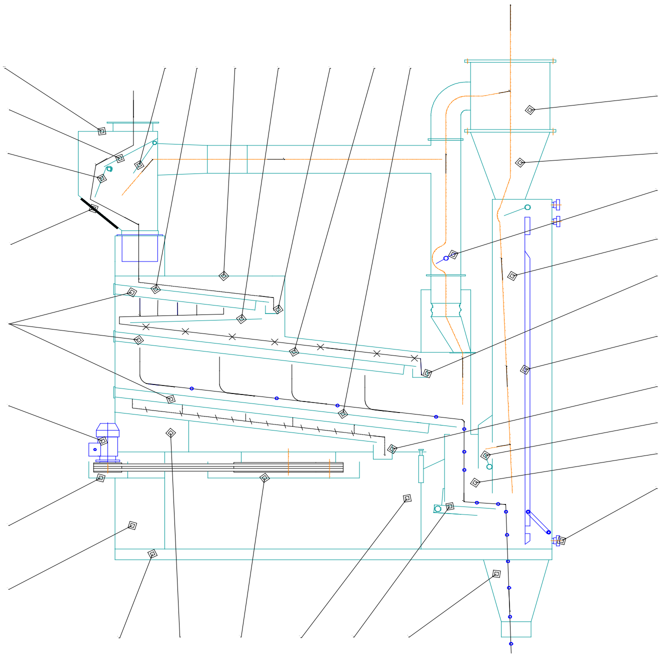
Під час пуску та зупинки сепаратора можливе збільшення амплітуди коливань кузова. Щоб запобігти ударам кузова об елементи станини, у конструкції машини передбачені гумові обмежувачі та амортизатори. Вони зменшують ударні навантаження, підвищують довговічність вузлів і покращують безпечність експлуатації машини.

Принцип роботи сепаратора СЗК-25 ґрунтується на послідовному очищенні зернової маси. Спочатку зерно через приймальний патрубок надходить у магнітно-аспіраційну камеру. Тут із нього видаляються металеві включення та частина легких домішок. Після цього зернова маса потрапляє на розподільний лоток, який спрямовує її рівномірним шаром на решітний стан.

Під дією кругових коливань решітного кузова зернова суміш переміщується по решетах і розділяється на фракції. Великі домішки, розміри яких перевищують отвори приймального або сортувального решета, не проходять крізь нього та виводяться через спеціальний лоток. Основне зерно разом із дрібними домішками проходить через відповідні отвори та надходить на нижні решета. Дрібні домішки просипаються крізь підсівне решето, потрапляють на днище сепаратора і видаляються через окремий відвідний лоток.

Очищене від великих і дрібних домішок зерно надходить у приймач пневмосепараційного каналу. У цьому каналі зернова маса додатково обробляється повітряним потоком. Легкі частинки підхоплюються повітрям і виносяться в аспіраційну систему, а повноцінне зерно опускається вниз і виводиться з машини.

Таким чином, робота сепаратора СЗК-25 базується на комплексному використанні механічного та повітряного способів очищення. Це забезпечує видалення з зернової маси основних видів домішок і підготовку зерна до подальшого зберігання, сушіння або переробки.



– вихідна зернова суміш

– грубі параметри

– суміш повітря з якими домішками

– великі домішки

– дрібні домішки

– очищене зерно

Рисунок 2.1 – Будова та технологічна схема роботи сепаратора СЗК-25

1 — відбійник; 2 — заслінка; 3 — магніти; 4 — станина; 5 — решітні рамки; 7 — траверса; 8 — огородження; 9 — магнітно-аспіраційна камера; 10 — розподільний лоток; 11 — приймальне решето; 12 — сортувальне решето; 13 — підсівне решето; 14 — лоток для великих домішок; 15 — лоток для дрібних домішок; 16 — обмежувач; 17 — лоток; 18 — збірник; 19 — пневмосепараційний канал; 20 — приймальна коробка; 21 — перехідник; 22 — регулювальні рукоятки; 23 — рухомий екран; 24 — аспіраційний трійник; 25 — дросель; 26 — рама; 27 — аспіраційний клапан.

## 2.2Технологічний процес сепарації зернового матеріалу на СЗК-25

Технологічний процес сепарації зерна на машині СЗК-25 являє собою послідовність операцій, спрямованих на очищення зернової маси від домішок і розділення її на окремі фракції. Якість виконання цього процесу залежить від фізико-механічних властивостей зерна, вмісту домішок, вологості матеріалу, правильності добору решіт, режиму аспірації та технічного стану машини.

Після збирання зернова маса має неоднорідний склад. До неї входять повноцінне зерно основної культури, щупле та пошкоджене зерно, насіння бур’янів, частинки соломи, колосків, полова, пил, мінеральні включення й випадкові металеві предмети. Така суміш не може бути одразу закладена на тривале зберігання, оскільки домішки погіршують сипкість, підвищують вологість окремих ділянок насипу, сприяють самозігріванню та розвитку мікроорганізмів. Тому сепарація є обов’язковим етапом післязбиральної доробки зерна.

Робочий процес очищення на СЗК-25 можна умовно поділити на кілька основних етапів:

1. подача зернової суміші в приймальний пристрій;
2. попереднє очищення в магнітно-аспіраційній камері;
3. рівномірний розподіл матеріалу по ширині решітного стану;
4. відділення великих домішок на приймальному решеті;
5. розділення основної маси зерна на сортувальному решеті;
6. виділення дрібних домішок на підсівному решеті;

7. додаткове очищення зерна в пневмосепараційному каналі;

8. виведення очищеного зерна та відходів із машини.

На першому етапі зернова маса подається в приймальний бункер або патрубок. Подача повинна бути стабільною та рівномірною, без різких перевантажень. Нерівномірне завантаження призводить до порушення технологічного режиму, оскільки частина решітного полотна може бути перевантажена, а інша — недостатньо використана.

У магнітно-аспіраційній камері із зернового потоку вилучаються металеві частинки та легкі домішки. Металеві включення затримуються магнітами, а легкі частинки частково відокремлюються повітряним потоком. Це знижує навантаження на решітний стан і захищає робочі органи машини від пошкоджень.

Після цього зернова суміш надходить на розподільний лоток. Його завдання — сформувати рівномірний шар матеріалу по всій ширині решіт. Рівномірність шару є однією з найважливіших умов якісного очищення, адже при надмірній товщині шару частина дрібних домішок не встигає пройти крізь отвори решіт, а при надто малій товщині знижується продуктивність машини.

На приймальному решеті відокремлюються великі домішки. До них належать частини колосків, грудочки землі, великі частинки соломи, рослинні залишки та інші включення, розміри яких перевищують розміри зерна основної культури. Такі домішки переміщуються по поверхні решета та сходом виводяться через окремий лоток.

Сортувальне решето виконує основну операцію розділення зернової суміші. Через його отвори проходить зерно разом із частиною дрібних домішок, а більші частинки відводяться у відходи. Ефективність роботи цього решета залежить від правильного вибору форми та розміру отворів. Для різних культур застосовують решета з круглими, довгастими або іншими отворами, що відповідають геометричним розмірам зерна.

На підсівному решеті відокремлюються дрібні домішки, щупле зерно та частинки, менші за основну зернову фракцію. Вони проходять крізь отвори решета, потрапляють на днище машини й виводяться через лоток для дрібних домішок. Очищене зерно, яке не проходить через підсівне решето, спрямовується до пневмосепараційного каналу.

У пневмосепараційному каналі зерно додатково очищується повітряним потоком. Тут відокремлюються легкі домішки, які залишилися після решітного очищення: пил, полова, оболонки, легке щупле зерно. Повітряний режим повинен бути підібраний так, щоб легкі домішки видалялися, але повноцінне зерно не виносилося в аспіраційну

систему.

Для оцінювання якості роботи сепаратора застосовують такі показники:

- продуктивність машини, т/год;
- вміст домішок у зерні до очищення, %;
- вміст домішок після очищення, %;
- втрати повноцінного зерна у відходах, %;
- ступінь очищення зернової маси, %;
- стабільність роботи машини впродовж зміни;
- рівень запиленості робочої зони.

**2.3Обґрунтування необхідності модернізації зерноочисної машини СЗК-25**

Необхідність модернізації зерноочисної машини СЗК-25 зумовлена потребою підвищення якості сепарації зерна, зменшення втрат повноцінного зерна, зниження запиленості робочої зони та забезпечення стабільної роботи машини за різної вологості й засміченості зернового матеріалу.

У процесі експлуатації СЗК-25 можуть виникати характерні недоліки, які негативно впливають на технологічні показники роботи машини. До основних із них належать:

- нерівномірна подача зерна на решітний стан;
- забивання отворів решіт вологим або засміченим матеріалом;
- недостатня ефективність пневмосепараційного каналу;
- втрати повноцінного зерна разом із легкими домішками;
- підвищена запиленість робочої зони;
- зношування привідних елементів;
- підвищений рівень вібрації та шуму;
- складність точного регулювання повітряного потоку.

Однією з головних причин зниження ефективності сепарації є нерівномірний розподіл зернової маси по ширині решіт. Якщо матеріал надходить на решітний стан нерівномірно, окремі ділянки решіт перевантажуються, а інші працюють неповністю. У результаті погіршується просіювання, збільшується кількість домішок в очищеному зерні та зростає ймовірність потрапляння повноцінного зерна у відходи.

Другим важливим недоліком є забивання отворів решіт. Це явище особливо характерне під час роботи з вологим зерном, дрібним насінням бур’янів або зерновою масою з високим вмістом органічних домішок. Забиті отвори зменшують робочу площу

решета, погіршують якість очищення та знижують продуктивність машини. Навіть за наявності гумових кульок система самоочищення не завжди забезпечує повне очищення решіт при складних умовах роботи.

Недостатня ефективність аспіраційної системи також впливає на якість сепарації. Якщо швидкість повітряного потоку недостатня, пил, полова та легкі домішки залишаються в очищеному зерні. Якщо ж повітряний потік надмірний, разом із легкими домішками можуть виноситися повноцінні зерна. Тому система регулювання повітряного режиму повинна забезпечувати точне та стабільне налаштування.

Модернізація сепаратора СЗК-25 може бути спрямована на вдосконалення таких конструктивних елементів:

- розподільного пристрою зернового потоку;
- системи очищення решіт;
- пневмосепараційного каналу;
- механізму регулювання повітряного потоку;
- аспіраційної системи;
- захисних огороджень і пилозахисних елементів;
- вузлів, що впливають на рівень вібрації.

У межах дипломного проєкту доцільно запропонувати модернізацію розподільного лотка та системи аспірації. Удосконалений розподільний пристрій повинен забезпечувати рівномірне подавання зернового матеріалу по всій ширині решітного стану. Це дасть змогу краще використовувати робочу поверхню решіт і підвищити якість очищення.

Модернізація аспіраційної системи може передбачати встановлення більш зручного регулювального механізму заслінки, герметизацію повітропроводів і покращення конструкції пневмосепараційного каналу. Це дозволить стабілізувати швидкість повітряного потоку, знизити втрати повноцінного зерна та зменшити кількість пилу в робочій зоні.

Також доцільним є вдосконалення системи очищення решіт. Для цього можна застосувати більш ефективні гумові кульки, змінити їх кількість або розташування в секціях решітних рамок, а також перевірити відповідність амплітуди коливань режиму роботи машини. Покращення очищення решіт забезпечить стабільну пропускну здатність і зменшить простої обладнання.

Очікуваними результатами модернізації є:

– підвищення ефективності очищення зерна;
– зменшення втрат повноцінного зерна у відходах;
– підвищення продуктивності машини;
– стабілізація роботи решітного стану;
– зниження запиленості робочої зони;
– зменшення потреби в ручному очищенні решіт;
– покращення умов праці оператора;
– підвищення надійності роботи сепаратора.

**2.4Опис конструктивної розробки**

Сучасна післязбиральна обробка зерна характеризується тим, що зерноочисні машини працюють у складі потокових ліній, агрегатів і комплексів. У таких умовах особливого значення набуває надійність обладнання, оскільки несправність навіть однієї машини може призвести до зупинки всієї технологічної лінії. Крім того, відхилення кінематичних або технологічних параметрів окремих робочих органів негативно впливають на якість очищення зерна.

Сепаратор СЗК-25 належить до високоефективних машин свого класу. За відносно компактних габаритів він забезпечує значний ступінь очищення зерна від домішок як на етапі попереднього, так і остаточного очищення. Проте в умовах даного господарства його продуктивності недостатньо для повного обсягу післязбиральної обробки, тому пропонується модернізація машини.

Конструкція рами сепаратора дозволяє без істотних змін збільшити габаритні розміри решітного стану до 910×720 мм і встановити решета з меншими отворами. Це сприятиме зниженню навантаження на друге решето та дасть можливість підвищити подачу матеріалу на перше решето без зниження ефективності очищення.

Визначимо пропускну здатність решета:

$$Q_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot F_{\text{р}} \cdot g_{\text{р}} \cdot 3{,}6 \cdot \tau_{\text{см}} \qquad (2.1)$$

де: $K_{\text{р}}$ — коефіцієнт, що залежить від основної культури; приймаємо $K_{\text{р}} = 1$.

$g_{\text{р}}$ — рекомендоване питоме навантаження на решето; приймаємо $g_{\text{р}} = 1{,}9$.

$\tau_{\text{см}}$ — коефіцієнт використання машини протягом зміни; $\tau_{\text{см}} = 0{,}8$.

$F_{\text{р}}$ — площа решета.

Збільшення габаритів решета закономірно спричинило зростання його площі.

Площу решета визначаємо за формулою:

$$F_{\text{р}} = \text{а} \cdot b \tag{2.2}$$

де: $a$ — довжина решета, мм;

$b$ — ширина решета, мм.

Для первинного решета:

$$F_{\text{р}} = 910 \cdot 400 = 0{,}364 \text{ м}^2$$

Площу нового решета визначаємо за формулою (2.2):

$$F_{\text{р}} = 910 \cdot 720 = 0{,}6552 \text{ м}^2$$

Пропускну здатність базового решета визначаємо за формулою (2.1):

$$Q_{\text{р}} = 1 \cdot 0{,}364 \cdot 1{,}9 \cdot 3{,}6 \cdot 0{,}8 = 1{,}994 \text{ т/ч}$$

Пропускну здатність нового решета визначаємо за формулою (2.1):

$$Q_{\text{р}} = 1 \cdot 0{,}6552 \cdot 1{,}9 \cdot 3{,}6 \cdot 0{,}8 = 3{,}585 \text{ т/ч}$$

Пропускна здатність першого решета зросла на 79,8 %. Завдяки цьому з’являється можливість збільшити подачу матеріалу на машину без погіршення якості очищення на першому решеті. Крім того, зменшується надходження домішок на друге решето.

Друга частина конструктивної модернізації передбачає встановлення похилої напрямної дошки під сортувальним решетом. Таке рішення дозволяє перенести подачу матеріалу з другого решета на початок третього. У результаті збільшується час перебування зерна на робочій поверхні решета, що сприяє підвищенню якості очищення.

Після впровадження модернізації маса сепаратора СЗК-25 зросла. У зв’язку з цим необхідно виконати перевірочні розрахунки окремих деталей машини, на які безпосередньо впливає зміна маси.

### 2.5Перевірочний розрахунок підвісок

Підвіски виготовляють з однонаправленого склопластику. Один їхній кінець жорстко закріплюється на рамі машини, а інший — на кузові. Під час коливальних рухів кузова підвіска працює на вигин. Зігнуту підвіску можна розглядати як дві балки, защемлені одним кінцем і навантажені силою $P$ на відстані ½ довжини від місця закріплення (рис. 2.2) [12, с. 58].

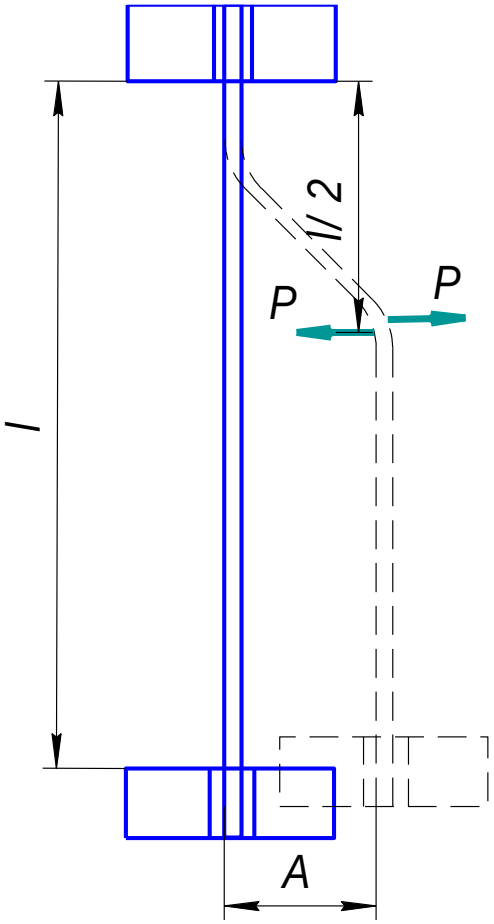



Рисунок 2.2 – Розрахункова схема підвіски кузова

Стріла прогину балки дорівнює половині амплітуди А коливань кузова.

Рівняння для визначення стріли прогину такої балки має вигляд:

$$\frac{A}{2} = \frac{P(\frac{l}{2})^2}{3EI} \quad \text{або} \quad A = \frac{Pl^2}{12EI}$$

де: $A$ — амплітуда коливань, м;

$P$ — сила вигину підвіски, Н;

$l$ — довжина підвіски між кріпленнями, м;

$E$ — модуль пружності однонаправленого склопластику;

$I = b\Delta^3/12$ — момент інерції перерізу підвіски, м⁴;

$b$ — ширина підвіски, м;

$\Delta$ — товщина підвіски, м.

Умова міцності підвіски на вигин виражається формулою:

$$Pl = 2W\sigma_з \tag{2.3}$$

де: $W = b\Delta^2/6$ — момент опору перерізу підвіски, м³;

$\sigma_з$ — допустиме напруження при згині, Па.

Із наведених рівнянь знаходимо:

$$\sigma_з = \frac{3AE}{l^2}\Delta \quad (2.4)$$

Окрім вигину, підвіски зазнають розтягування під дією складової ваги решітного стану, а стійки — стискання.

Напруження розтягу (стиску) визначається за формулою:

$$\sigma_{р.с.} = \frac{G \cdot cos\beta}{i \cdot b \cdot \Delta} \quad (2.5)$$

де: $G$ — вага кузова із зерном, Н;

$\beta$ — кут між напрямком підвісок і вертикаллю;

$i$ — кількість підвісок.

Сумарне напруження визначається за формулою:

$$\sigma = \sigma_з + \sigma_{р.с.} \quad (2.6)$$

Із рівнянь (2.4) і (2.5) випливає, що зі збільшенням $\Delta$ (за сталої ширини підвіски $b$) напруження вигину $\sigma_з$ зменшується, а напруження розтягу (стиску) σр.с зростає. Унаслідок цього змінюється і сумарне напруження σ. Найменше значення σ досягається за умови рівності $\sigma_з = \sigma_{р.с.}$, або: $\frac{3AE}{l^2}\Delta = \frac{G \cdot cos\beta}{i \cdot b \cdot \Delta}$.

Розв'язавши рівняння відносно $\Delta$, отримаємо:

$$\Delta = l\sqrt{\frac{G \cdot cos\beta}{3AibE}} \quad (2.7)$$

Ширину підвіски зазвичай приймають у межах 0,04…0,06 м. Визначивши Δ за рівнянням (2.7), обчислюємо σиз, σр.с та σ за рівняннями (2.4), (2.5) і (2.6). Значення σ не повинно перевищувати: для дерев'яних підвісок — $80 \cdot 10^5$ Па, для сталевих — $500 \cdot 10^5$ Па, для склопластикових — $450 \cdot 10^5$ Па [12].

Виконаємо розрахунок підвісок кузова для машини СЗК-25. Матеріал підвісок — склопластик. Кріплення до рами та кузова — жорстке, без шарнірів.

Товщину підвіски визначаємо з рівняння (2.7). Приймаємо: $l = 0{,}765$ м, $i = 4$, $A = 0{,}009$ м, $b = 0{,}04$ м, $E = 596$ МПа, $\beta = 0°$.

Для розрахунків необхідно знати вагу кузова із зерном — $G$.

$$G = P_{р.с.} + P_з \quad (2.8)$$

де: $P_{р.с.}$ — вага кузова без зерна, Н; приймаємо $P_{р.с.} = 6800$ Н.

$P_з$ — вага зерна, що знаходиться на решітному стані, Н. Середня товщина шару зерна становить 0,0025 м [12], а питома вага (вагова густина) зерна — 7900 Н/м³. Тоді вагу зерна, що перебуває на решітному стані, можна визначити за формулою:

$$\mathrm{P}_з = 3 \cdot m \cdot k \cdot h \cdot \rho_З \quad (2.9)$$

де: $m$ — ширина решітного стану, приймаємо $m = 0{,}720$ м;

$k$ — довжина решітного стану, приймаємо $k = 0{,}910$ м;

$h$ — товщина шару зерна на решеті, $h = 0{,}015$ м;

$\rho_З$ — густина зерна, кг/м³.

Підставивши наведені вихідні дані у формули, виконуємо розрахунок і визначаємо вагу решітного стану:

$$\mathrm{P}_з = 3 \cdot 0{,}72 \cdot 0{,}91 \cdot 0{,}015 \cdot 7900 = 72 \text{ кг}$$

$$G = 6800 + 720 = 7520 \text{ Н}$$

Підставивши ці значення у розрахункові формули, отримаємо:

$$\Delta = 0{,}765\sqrt{\frac{7520 \cdot 1}{3 \cdot 0{,}009 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 596 \cdot 10^6}} = 0{,}0041 \text{ м}$$

Прийнявши $\Delta = 0{,}0041$ м, за рівняннями (2.6), (2.7) і (2.8) визначаємо сумарне напруження:

$$\sigma_з = \frac{3 \cdot 0{,}0041 \cdot 0{,}009 \cdot 596 \cdot 10^6}{0{,}765^2} = 11{,}27 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$\sigma_{\text{р.с.}} = \frac{7520}{4 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}0041} = 11{,}43 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma = 1{,}127 \cdot 10^5 + 114{,}3 \cdot 10^5 = 115{,}43 \cdot 10^5 \text{Па} < 450 \cdot 10^5 \text{Па}$$

Отримане значення $\sigma$ є меншим за допустиме ($450 \times 10^5$ Па) [12], отже обрані підвіски повністю відповідають вимогам міцності.

**2.6Розрахунок шпонкового з'єднання**

Виконаємо розрахунок шпонкового з'єднання вала електродвигуна та ведучого шківа в машині СЗК-25. У даному з'єднанні застосовується призматична шпонка. Посадка маточини на вал здійснюється з натягом. Крутний момент передається з вала на маточину через вузькі бічні грані шпонки. Унаслідок цього на них виникають напруження зминання $\sigma_{\text{см}}$, а в поздовжньому перерізі шпонки — напруження зрізу $\tau$. Шпонка заглиблена у вал на половину своєї висоти, при цьому напруження σсм вважають рівномірно розподіленим по висоті та довжині шпонки (рис. 2.3).

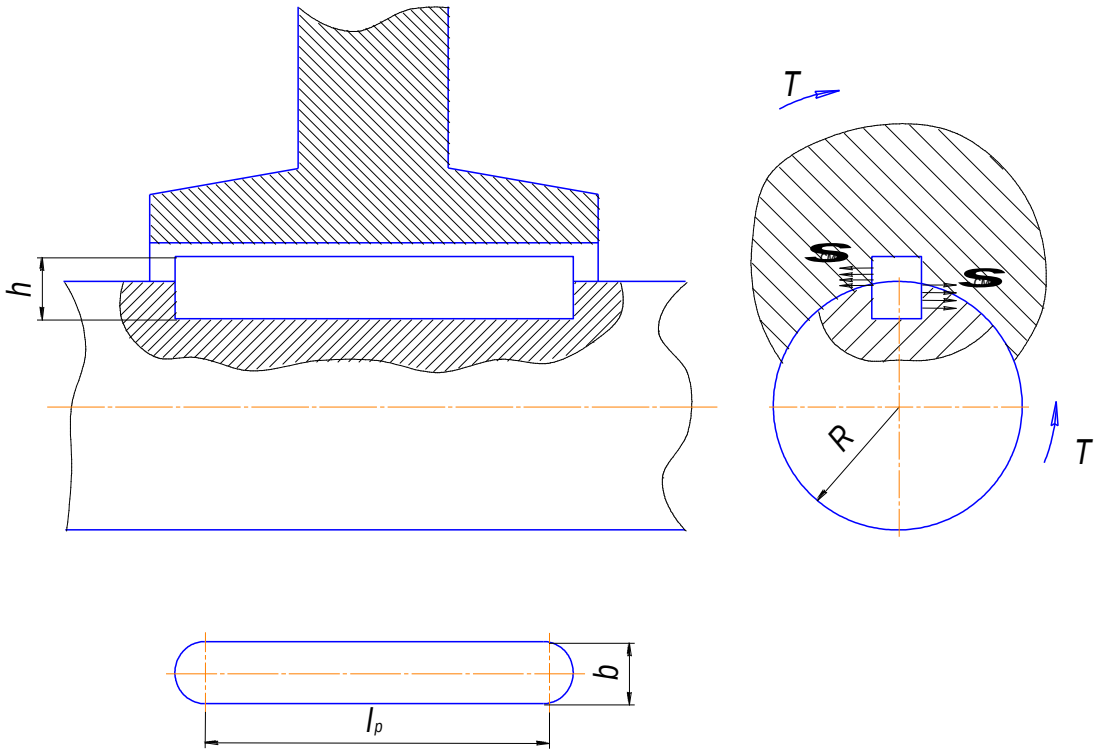



Рисунок 2.3 – Схема для розрахунку шпонкового з’єднання.

Умови міцності можна подати в такому вигляді:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4\text{T}}{hdl_p} \leq [\sigma_{\text{см}}] \tag{2.9}$$

де: $T$ — крутний момент, що діє на шпонку, Н·м;

$h$ — висота шпонки, м;

$l_{\text{р}}$ — довжина посадкової частини, м;

$d$ — діаметр вала, м;

$[\sigma_{\text{см}}]$ — допустиме напруження зминання; для посадки з натягом у чавунній маточині приймається $[\sigma_{\text{см}}]$ = 200 МПа.

$$\tau = \frac{2\text{T}}{bdl_p} \leq [\tau] \text{ Па} \tag{2.10}$$

де: $b$ — ширина шпонки, м.

У стандартних шпонок розміри $b$ і $h$ підібрані таким чином, що навантажувальна здатність з’єднання визначається не напруженнями зрізу, а напруженнями зминання. Тому під час розрахунків, як правило, застосовують лише формулу (2.17).

Виконаємо розрахунок шпонкового з’єднання. Використовується стандартна шпонка зі шпонкової сталі за ГОСТ 8787-68 розміром 6×6×40 мм. Шпонку встановлено на електродвигуні типу АІР 71В4У3 потужністю 0,75 кВт при частоті обертання $n = 1500$ об/хв [23]. Крутний момент становить: $T = 750 / 47{,}12 = 15{,}91$ Н·м.

Напруження зминання визначаємо за формулою (2.9):

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4 \cdot 159,1}{0,006 \cdot 0,04 \cdot 0,022} = 120,53 \text{ МПа}$$

Отримане значення $\sigma_{\text{см}}$ є меншим за допустиме 200 МПа [12].

**2.7Розрахунок клинопасової передачі**

Клинопасова передача включає два шківи. Шків меншого діаметра встановлено на валу електродвигуна, а шків більшого діаметра — на ексцентриковому валу машини СЗК-25. Кріплення шківів на валах виконано шпонковим. Клинопас охоплює шківи та забезпечує передачу руху за рахунок зчеплення.

Основні показники працездатності пасових передач такі: тягова здатність, що визначається силою тертя між пасом і шківом; довговічність паса, яка за нормальних умов роботи зазвичай обмежується руйнуванням унаслідок втоми. За заданою потужністю підбирають тип паса [12, табл. 23]. Після вибору типу паса призначають розрахунковий діаметр шківа меншого розміру.

Розрахунковим вважають діаметр шківа, визначений по нейтральному шару паса.

За заданими частотами обертання $n_1$ (меншого шківа) і $n_2$ (більшого шківа), а також за обраним діаметром меншого шківа $D_1$ (мм), діаметр більшого шківа знаходять за формулою:

$$D_2 = \frac{D_1}{n_2} n_1 \tag{2.11}$$

Отримане значення округлюють до найближчого стандартного розміру [12, с. 129].

Знаючи міжосьову відстань і діаметри шківів, визначають орієнтовну розрахункову довжину паса (по нейтральному шару).

$$L_0 = 2l_0 + 1,57(D_1 + D_2) + (D_2 - D_1)^2/4l_0 \tag{2.12}$$

де: $l_0$ — орієнтовна міжосьова відстань, мм;

$D_1$ і $D_2$ — діаметри меншого та більшого шківів відповідно, мм.

За таблицею [12, табл. 24], у якій наведено стандартні довжини клинових пасів, підбирають пас найближчої розрахункової довжини $L$ (мм), після чого визначають уточнену міжосьову відстань l між валами:

$$L = \frac{L}{4} - 0,393(D_1 - D_2) + \sqrt{[\frac{L}{4} - 0,393(D_1 - D_2)]^2 - 0,125(D_2 - D_1)^2} \tag{2.13}$$

Після цього визначають необхідну кількість пасів:

$$Z = \frac{N}{N_0 k_1 k_2} \tag{2.14}$$

де: $N$ — передавана потужність, кВт;

$N_0$ — потужність, що припадає на один пас (визначається за таблицею [12, табл. 25]);

$k_1$ і $k_2$ — поправкові коефіцієнти.

Для вибору значення $N_0$ попередньо обчислюють швидкість руху паса:

$$v = \frac{v\pi_1 D_1}{60 \cdot 1000} \tag{3.15}$$

Щоб вибрати коефіцієнт $k_1$, попередньо визначають кут $\alpha$ (у градусах) охоплення пасом меншого шківа передачі:

$$\alpha = 180 - \frac{57(D_2 - D_1)}{l} \tag{3.16}$$

Значення поправкового коефіцієнта $k_1$ залежно від кута охоплення визначають за таблицею [12, с. 131].

Для умов роботи зерноочисно-сушильних пунктів коефіцієнт $k_2$ приймають рівним 0,8.

Виконаємо розрахунок клинопасової передачі, що входить до приводу зерноочисної машини СЗК-25. Вихідні дані: електродвигун АІР71В4У3, передавана потужність $N = 0{,}75$ кВт; частота обертання електродвигуна $n_1 = 1500$ хв$^{-1}$ [23]; орієнтовна міжосьова відстань між шківами 600 мм; частота обертання шківа на ексцентриковому валу $n_2 = 560$ хв$^{-1}$.

Діаметр більшого шківа передачі визначаємо за формулою (2.11):

$$D = 130 \cdot \frac{1500}{350} = 560 \text{ мм}$$

Одержане значення округлюємо до стандартного та приймаємо $D_2 = 560$ мм.

Міжосьову відстань між шківами визначаємо за формулою (2.13):

$$L = \frac{2360}{4} - 0{,}393(560 + 130) +$$

$$\sqrt{\left[\frac{2360}{4} - 0{,}393(560 + 130)\right]^2 - 0{,}125(560 - 130)^2} = 599 \text{ мм}$$

Кількість пасів, необхідних для приводу, визначаємо за формулами (2.15), (2.16) та (2.14):

$$v = \frac{3{,}14 \cdot 130 \cdot 1500}{60 \cdot 1000} = 10{,}2 \text{ м/с}$$

За таблицею визначаємо потужність, що припадає на один пас: $N_0 = 1{,}4$ кВт.

$$\alpha = 180 - \frac{57 \cdot (560 - 130)}{599} = 139 \text{ град}$$

Приймаємо коефіцієнт $k_1 = 0{,}96$. Таким чином, необхідну кількість пасів $Z$

визначаємо: $Z = \frac{0,75}{1,3 \cdot 0,96 \cdot 0,8} = 0,81$.

На рисунку 2.4 наведено порівняння частот обертання шківів клинопасової передачі. Як видно з графіка, частота обертання ведучого шківа, встановленого на валу електродвигуна, становить $n_1 = 1500$ хв$^{-1}$, тоді як частота обертання веденого шківа на ексцентриковому валу дорівнює $n_2 = 560$ хв$^{-1}$. Це свідчить про зниження частоти обертання у передачі та забезпечення необхідного режиму роботи решітного стану.

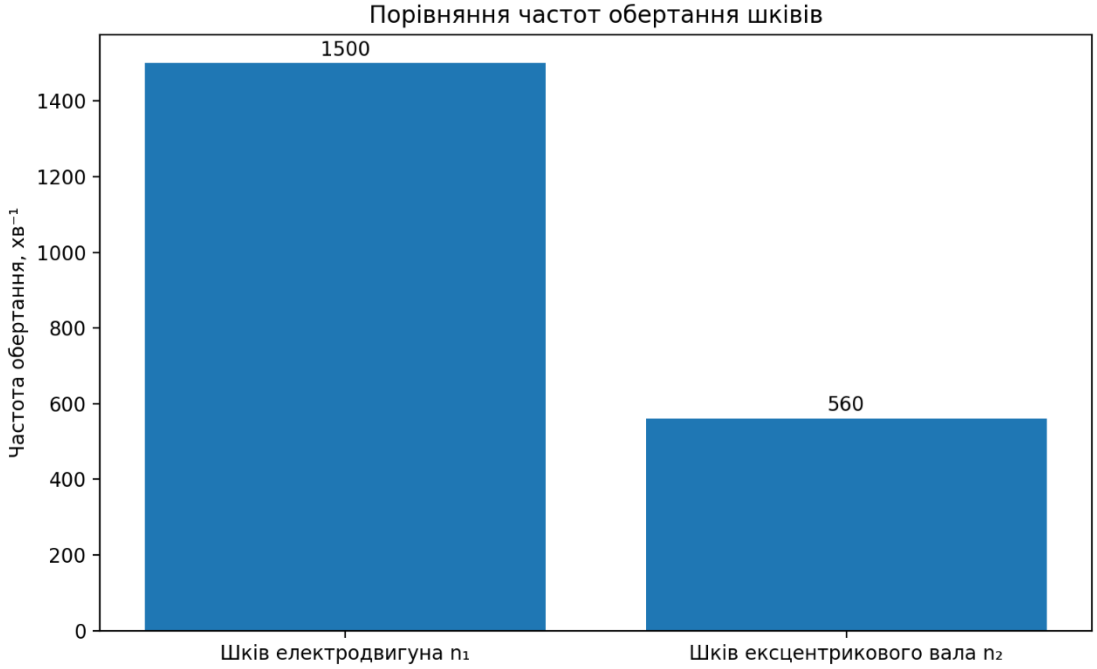



Рисунок 2.4 – Порівняння частот обертання шківів клинопасової передачі

На рисунку 2.5 показано співвідношення діаметрів шківів клинопасової передачі. Менший шків має діаметр $D_1 = 130$ мм, а більший — $D_2 = 560$ мм. Таке співвідношення діаметрів забезпечує необхідне передаточне відношення приводу та узгоджується з конструктивною схемою зерноочисної машини СЗК-25.

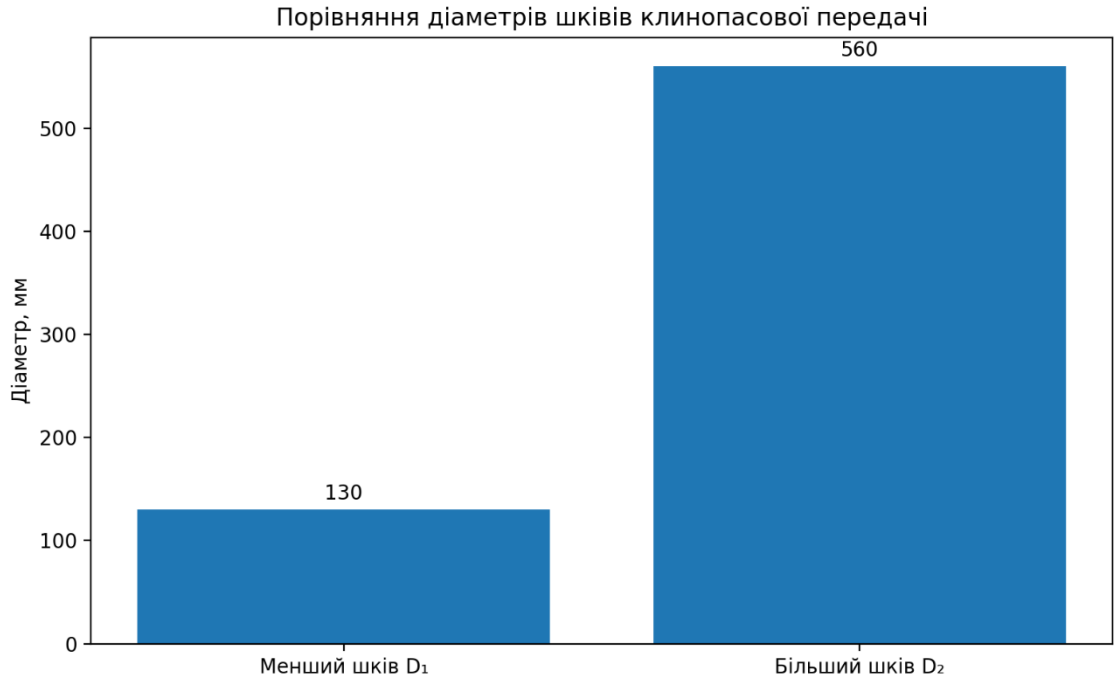



Рисунок 2.5 – Порівняння діаметрів шківів клинопасової передачі

На рисунку 2.6 подано графічну залежність кута охоплення меншого шківа від міжосьової відстані між валами. За прийнятої міжосьової відстані $l = 599$ мм кут охоплення становить $\alpha = 139 \circ$. Отримане значення відповідає нормальним умовам роботи клинопасової передачі та забезпечує достатню силу тертя між пасом і шківом.

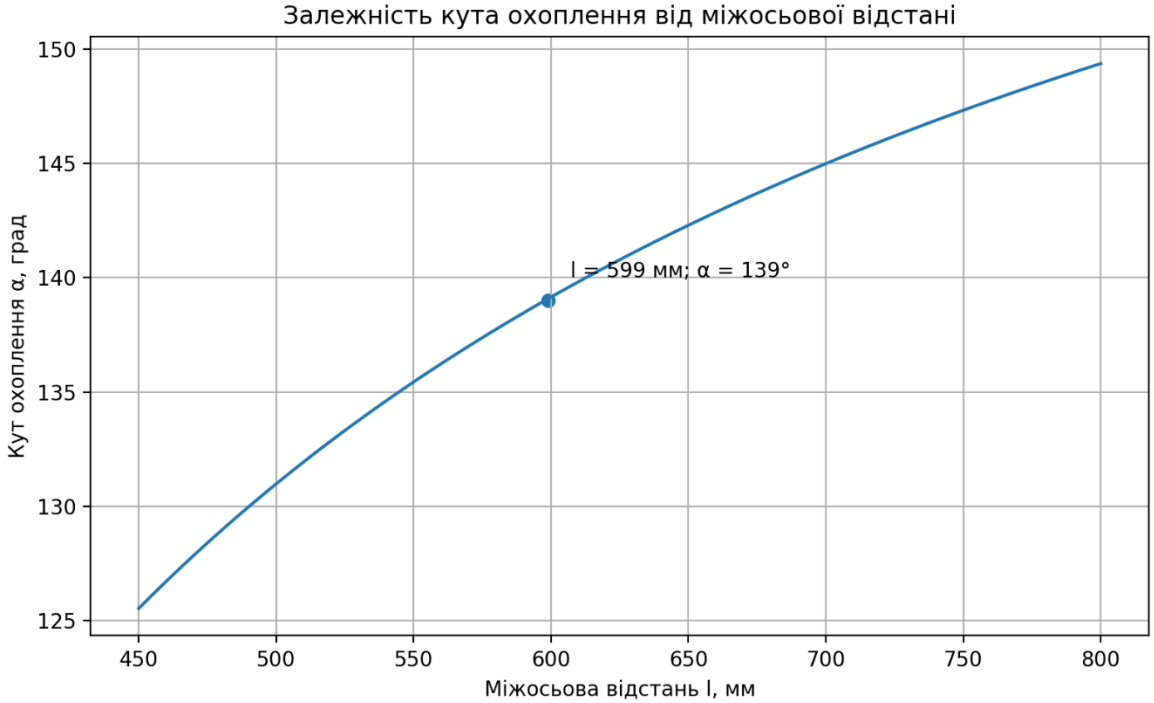



Рисунок 2.6 – Залежність кута охоплення пасом меншого шківа від міжосьової відстані

На рисунку 2.7 наведено залежність необхідної кількості пасів від передаваної потужності. За розрахункової потужності $N = 0{,}75$ кВт кількість пасів становить $Z =$

0,81. Оскільки отримане значення менше одиниці, для практичного виконання приводу приймають один клиновий пас, що є достатнім для передавання заданої потужності в умовах роботи машини.

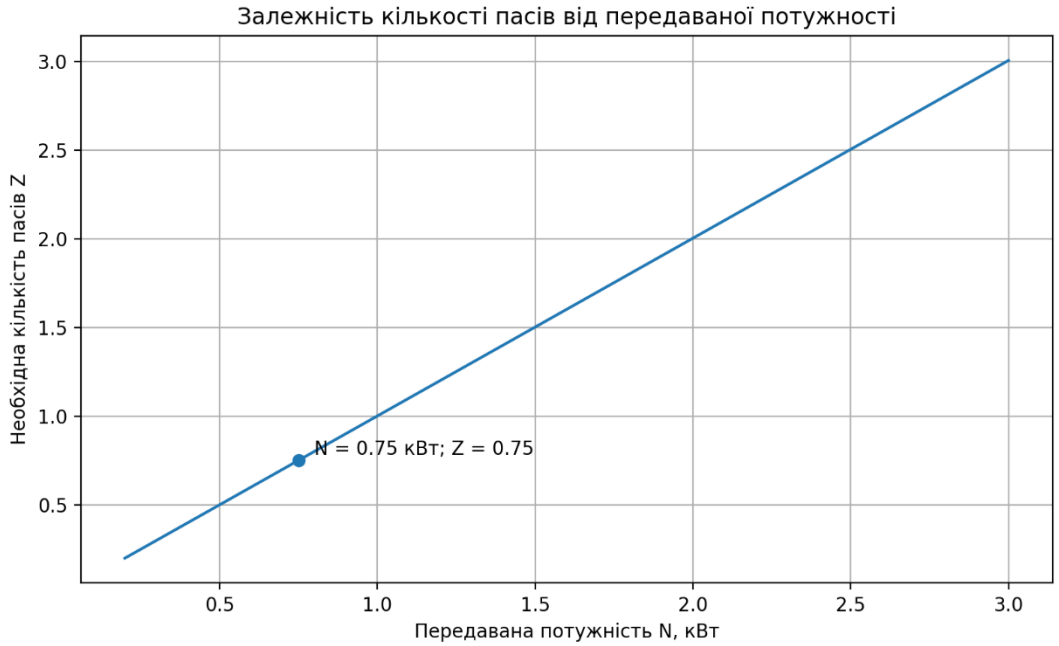



Рисунок 2.5 – Залежність кількості пасів від передаваної потужності

Отже, побудовані графіки підтверджують правильність прийнятих параметрів клинопасової передачі приводу зерноочисної машини СЗК-25. Графічне подання результатів дає можливість наочно оцінити співвідношення основних кінематичних і конструктивних параметрів, а також зробити висновок про працездатність і доцільність застосування прийнятої передачі.

# 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

## 3.1 Загальна характеристика умов праці під час сепарації зерна

Процес сепарації зерна на зерноочисній машині СЗК-25 пов’язаний із дією на працівників низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів. До них належать рухомі та обертові частини машини, підвищена запиленість повітря, шум, вібрація, небезпека ураження електричним струмом, можливість травмування під час очищення решіт, а також ризик виникнення пожежі або вибуху пилоповітряної суміші [10, 11, 12].

Робоче місце оператора зерноочисної машини повинно бути організоване так, щоб забезпечити безпечне керування машиною, зручний доступ до органів регулювання, можливість візуального контролю за технологічним процесом і своєчасне аварійне вимкнення обладнання. Експлуатація машини має здійснюватися відповідно до інструкції заводу-виробника, правил охорони праці та вимог електробезпеки [11, 13].

Особливу увагу необхідно приділяти безпеці під час роботи з рухомими механізмами. Приводні паси, шківи, вали, ланцюгові передачі, вентилятор і коливальні частини решітного стану повинні бути закриті захисними кожухами. Знімати огородження, виконувати регулювання або очищення робочих органів під час роботи машини забороняється [11].

## 3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації зерноочисної машини СЗК-25 можуть виникати такі небезпечні фактори:

– механічне травмування рухомими частинами машини;

– затягування одягу або рук у приводні механізми;

– ураження електричним струмом;

– падіння працівника під час обслуговування завантажувальних або вивантажувальних пристроїв;

– травмування під час усунення забивання решіт;

– пожежа або вибух зернового пилу.

До шкідливих виробничих факторів належать:

– підвищена концентрація зернового пилу в повітрі;

– підвищений рівень шуму;

– вібрація від роботи решітного стану та вентилятора;

– недостатня освітленість робочої зони;

– фізичне навантаження на оператора;

– несприятливий мікроклімат у приміщенні зернотоку.

Зерновий пил є одним із найбільш небезпечних факторів у приміщеннях післязбиральної обробки. Він подразнює органи дихання, знижує видимість у робочій зоні, осідає на електрообладнанні та конструкціях, а за певної концентрації може утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні суміші [14]. Тому аспіраційна система машини повинна бути справною, а пил необхідно регулярно видаляти з обладнання, підлоги та будівельних конструкцій.

Шум виникає внаслідок роботи електродвигунів, вентилятора, приводних механізмів і коливальних робочих органів. Його тривалий вплив може призводити до втоми, зниження уваги та погіршення слуху працівників. Виробничий шум нормується відповідно до чинних санітарних норм [12].

### 3.3 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи оператор повинен пройти інструктаж з охорони праці, перевірити справність машини, наявність захисних кожухів, заземлення електрообладнання, справність пускової апаратури та аварійного вимикача. Працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисними окулярами, респіратором, рукавицями та засобами захисту слуху [11, 13].

Перед запуском СЗК-25 необхідно:

– перевірити надійність кріплення вузлів і деталей;

– переконатися у справності електродвигунів і кабельних ліній;

– перевірити наявність і справність заземлення;

– оглянути решета та переконатися у відсутності сторонніх предметів;

– перевірити натяг приводних пасів;

– переконатися, що захисні кожухи встановлені на своїх місцях;

– перевірити справність аспіраційної системи;

– переконатися, що в небезпечній зоні немає сторонніх осіб.

Пуск машини дозволяється виконувати лише після подання попереджувального сигналу. Завантаження зернової маси слід розпочинати тільки після виходу машини на сталий режим роботи.

### 3.4 Вимоги безпеки під час роботи зерноочисної машини

Під час роботи СЗК-25 оператор повинен постійно контролювати рівномірність

подачі зерна, роботу аспіраційної системи, стан вивантаження очищеного зерна та відходів, рівень шуму, вібрації та температуру електродвигунів. Не допускається перевантаження машини, оскільки це може призвести до забивання решіт, підвищення навантаження на привод і аварійної зупинки [7, 11].

Під час роботи забороняється:

- відкривати захисні кожухи;
- очищати решета руками без зупинки машини;
- виконувати ремонт або регулювання рухомих механізмів;
- торкатися обертових частин;
- перебувати біля вивантажувальних транспортерів у небезпечній зоні;
- працювати без засобів індивідуального захисту;
- експлуатувати машину з несправною аспірацією;
- залишати працююче обладнання без нагляду.

У разі появи стороннього шуму, підвищеної вібрації, запаху горілої ізоляції, іскріння, забивання робочих органів або порушення нормального технологічного процесу машину необхідно негайно зупинити. Повторний запуск дозволяється лише після виявлення та усунення причини несправності.

### 3.5 Заходи щодо зменшення запиленості та пожежної небезпеки

Для зменшення запиленості робочої зони необхідно забезпечити ефективну роботу аспіраційної системи. Повітропроводи повинні бути герметичними, вентилятор — справним, а пиловловлювачі — регулярно очищуватися. У місцях інтенсивного утворення пилу доцільно встановлювати місцеві відсмоктувачі [9, 14].

Пил із поверхонь обладнання, підлоги та будівельних конструкцій необхідно прибирати регулярно. Забороняється здувати пил стисненим повітрям, оскільки це сприяє утворенню пилоповітряної суміші. Для прибирання слід використовувати промислові пилососи або вологий спосіб, якщо це не суперечить умовам експлуатації обладнання.

Для запобігання пожежі необхідно:

- не допускати накопичення зернового пилу;
- контролювати справність електрообладнання;
- не використовувати пошкоджені кабелі;
- не виконувати зварювальні роботи без наряду-допуску;
- не палити у приміщенні зернотоку;

– забезпечити наявність вогнегасників;

– проводити регулярний огляд підшипників і приводів для запобігання перегріванню.

Зерновий пил у поєднанні з джерелом запалювання може створювати вибухонебезпечну ситуацію, тому пиловидалення та справність електрообладнання є одними з головних умов безпечної експлуатації зерноочисної машини [14].

### 3.6 Електробезпека під час експлуатації СЗК-25

Зерноочисна машина СЗК-25 має електричний привод, тому під час її експлуатації необхідно дотримуватися вимог електробезпеки. Електрообладнання повинно мати справне заземлення, захист від короткого замикання та перевантаження. Пускова апаратура має бути розміщена у зручному для оператора місці та захищена від пилу й вологи [13].

До роботи з електрообладнанням допускаються лише працівники, які мають відповідну групу з електробезпеки. Оператору забороняється самостійно відкривати електричні шафи, ремонтувати електродвигуни, замінювати кабелі або виконувати роботи під напругою.

### 3.7 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення роботи необхідно припинити подачу зерна, дочекатися повного проходження матеріалу через машину, вимкнути електродвигуни та відключити обладнання від електромережі. Після повної зупинки робочих органів дозволяється виконувати очищення решіт, аспіраційного каналу, бункерів і транспортерів.

Після роботи оператор повинен:

– очистити машину від залишків зерна та домішок;

– прибрати пил із зовнішніх поверхонь обладнання;

– оглянути стан решіт і приводних механізмів;

– перевірити, чи немає перегрівання підшипників;

– повідомити відповідальну особу про виявлені несправності;

– прибрати робоче місце;

– зняти та очистити засоби індивідуального захисту.

Планове технічне обслуговування машини слід виконувати згідно з графіком. Особливу увагу необхідно приділяти змащуванню підшипників, натягу пасів, стану решіт, кріпленню кожухів, герметичності аспіраційної системи та справності електрообладнання.

# 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Відповідно до запропонованої реконструкції на зерноочисній машині СЗК-25 зерноочисного агрегату КЗС-20 було замінено перше решето та встановлено похилу напрямну дошку під другим решетом.

Номінальна продуктивність машини СЗК-25 становить 25 т/год. Після внесення конструктивних змін продуктивність зросла на 9 % від номінальної і склала $Q_{\text{мод}} = 27{,}25$ т/год.

Річний обсяг зерна, що обробляється машиною до модернізації решітних станів, визначаємо за формулою:

$$\Gamma_{\text{с}} = Q_{\text{с}} \cdot Д \cdot \eta \text{ т} \tag{4.1}$$

де: Д — норма річного завантаження машини, год; $Д = 260$ год;

$\eta = 0{,}8$ — коефіцієнт використання робочого часу.

$$\Gamma_{\text{с}} = 25 \cdot 260 \cdot 0{,}8 = 5200 \text{ т}$$

Річний обсяг зерна (рис.4.2), що обробляється машиною після модернізації решітних станів $\Gamma_{\text{мод}}$, визначаємо за формулою:

$$\Gamma_{\text{мод}} = Q_{\text{м}} \cdot Д \cdot \eta \text{ т} \tag{4.2}$$

$$\Gamma_{\text{мод}} = 27{,}25 \cdot 260 \cdot 0{,}8 = 5668 \text{ т}$$

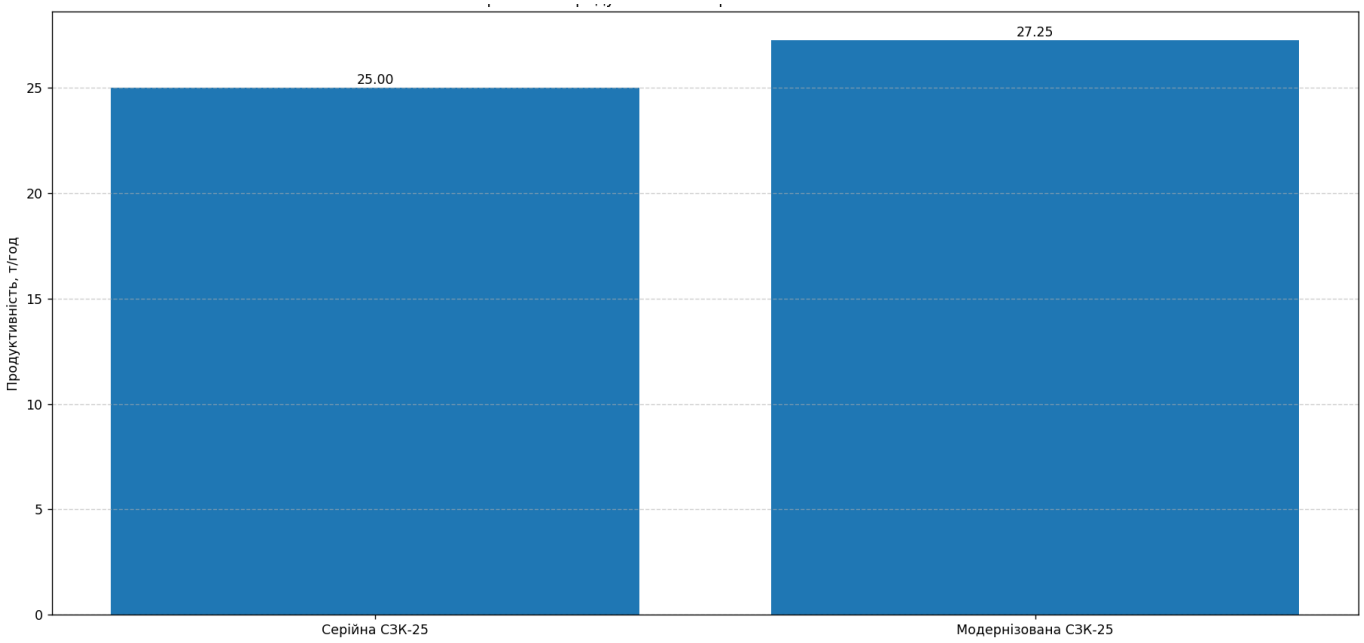



Рисунок 4.1 – Порівняння продуктивності зерноочисної машини СЗК-25

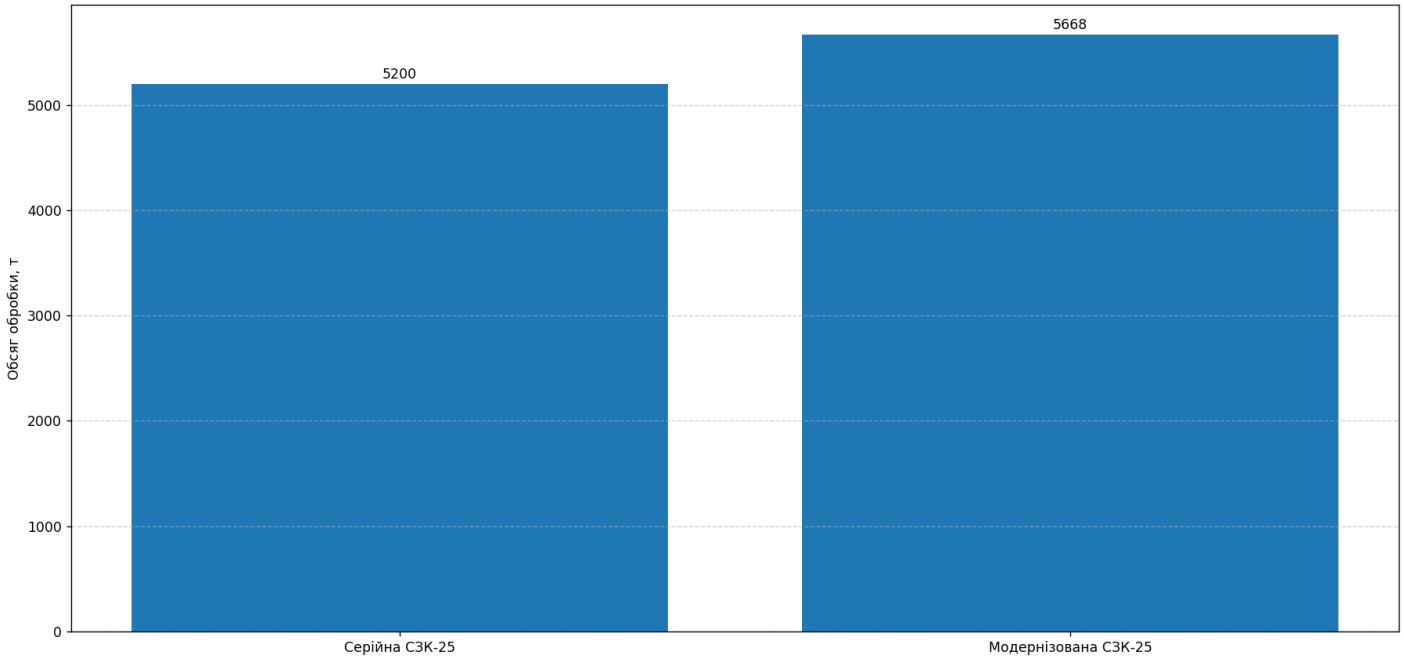



Рисунок 4.2 – Річний обсяг зерна

Економічну ефективність від упровадження модернізації Е, грн, визначаємо за формулою:

$$\text{Е} = (\text{С}_\text{С} - \text{С}_\text{М})\Гamma_\text{М} \tag{4.3}$$

де: С — собівартість обробки однієї тонни зерна на серійній машині СЗК-25, грн/т.

$$\text{С}_\text{С} = S_\text{С} + \text{М}_\text{С} + \text{К}_\text{С} + \text{У}_\text{С} \tag{4.4}$$

де: $S_\text{С}$ — питома заробітна плата, грн/т.

$$S_\text{С} = Z \cdot \text{Д}/\Гamma_\text{С} \tag{4.5}$$

де: $Z$ — оплата праці робітників за одну годину роботи на машині.

$$Z = \text{Т}_{min} \cdot \text{К}_\text{сх} \cdot \text{К}_\text{т.р.}/t \quad \text{грн/т} \tag{4.6}$$

де: $\text{Т}_{min}$ — мінімальна тарифна ставка, грн; $\text{Т}_{min}$ = 83,49 грн;

$\text{К}_\text{сх}$ = 1,3 — коефіцієнт доплати в сільському господарстві;

$\text{К}_\text{т.р.}$ = 2,46 — тарифний коефіцієнт для працівників IV розряду;

$t$ — нормативна кількість робочих годин на місяць, $t = 166$ год.

$$Z = 83{,}49 \cdot 1{,}3 \cdot \frac{2{,}46}{166} = 1{,}61 \text{ грн/год}$$

$$S_\text{С} = 1{,}61 \cdot \frac{260}{5200} = 0{,}08 \text{ грн/т}$$

$M_\text{с}$ — питомі відрахування на реновацію.

$$M_\text{с} = \text{Ц} \cdot \text{Н}/\Гamma_\text{с} \text{ грн/год} \tag{4.7}$$

Ц — балансова вартість агрегату СЗК-25, Ц = 412 000 грн;

Н — нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію, Н = 0,135.

$$M_{\text{с}} = 412000 \cdot \frac{0{,}135}{5200} = 10{,}69 \text{ грн/т}$$

$K$ — питомі відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування.

$$\text{К}_{\text{с}} = \text{Ц} \cdot \rho / \Gamma_{\text{с}} \text{ грн/т} \quad (4.8)$$

де: $\rho$ — нормативний коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування, $\rho = 0{,}12$.

$$\text{К}_{\text{с}} = 412000 \cdot \frac{0{,}12}{5200} = 9{,}5 \text{ грн/т}$$

У — питомі витрати на електроенергію.

$$\text{У}_{\text{С}} = N \cdot \text{Д} \cdot \text{С}_{\text{е}} / \Gamma_{\text{с}} \text{ грн/т} \quad (4.9)$$

де: $N$ — потужність установлених електродвигунів, $N = 0{,}75$ кВт [23];

$C_{\text{е}}$ — вартість 1 кВт·год електроенергії, $C_{\text{е}} = 1{,}6$ грн.

$$\text{У}_{\text{С}} = 0{,}75 \cdot 260 \cdot \frac{1{,}6}{5200} = 0{,}06 \text{ грн/т}$$

Собівартість обробки однієї тонни зерна на машині СЗК-25 (рис. 4.3) визначаємо за формулою (4.4):

$$C_{\text{с}} = 0{,}08 + 10{,}69 + 9{,}5 + 0{,}06 = 20{,}3 \text{ грн/т}$$

Собівартість обробки однієї тонни зерна на модернізованій машині СЗК-25, $C$, грн/т, визначаємо за формулою:

$$C_{\text{М}} = S_{\text{М}} + \text{М}_{\text{М}} + \text{К}_{\text{М}} + \text{У}_{\text{М}} \quad (4.10)$$

де: $S_{\text{М}}$ — питома заробітна плата робітників на модернізованій машині.

$$S_{\text{М}} = Z \cdot \frac{\text{Д}}{\Gamma_{\text{М}}} \text{ грн/т} \quad (4.11)$$

$$S_{\text{М}} = 1{,}61 \cdot \frac{260}{5668} = 0{,}07 \text{ грн/т}$$

$M_{\text{опт}}$ — питомі відрахування на реновацію модернізованої машини СЗК-25.

$$\text{М}_{\text{М}} = (\text{Ц} + \Delta\text{Ц}) \cdot \text{Н} / \Gamma_{\text{М}} \text{ грн/т} \quad (4.12)$$

$\Delta$Ц — витрати на модернізацію машини СЗК-25, $\Delta\text{Ц} = 12\,000$ грн.

$$\text{М}_{\text{М}} = (412000 + 12000) \cdot \frac{0{,}135}{5668} = 10{,}09 \text{ грн/т}$$

$K_{\text{М}}$ — питомі відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування модернізованої машини СЗК-25.

$$K_{\text{М}} = (\text{Ц} + \Delta\text{Ц}) \cdot \rho / \Gamma_{\text{М}} \text{ грн/т} \quad (4.13)$$

$$K_{\text{М}} = (412000 + 12000) \cdot \frac{0{,}12}{5668} = 8{,}97 \text{ грн/т}$$

У — питомі витрати на електроенергію модернізованої машини СЗК-25.

$$У_М = І \cdot Д \cdot С_е/Г_м \text{ грн/т} \quad (4.14)$$

$$У_М = 0{,}75 \cdot 260 \cdot \frac{0{,}8}{5668} = 0{,}03 \text{ грн/т}$$

$$С_м = 0{,}07 + 10{,}09 + 8{,}97 + 0{,}03 = 19{,}16 \text{ грн/т}$$

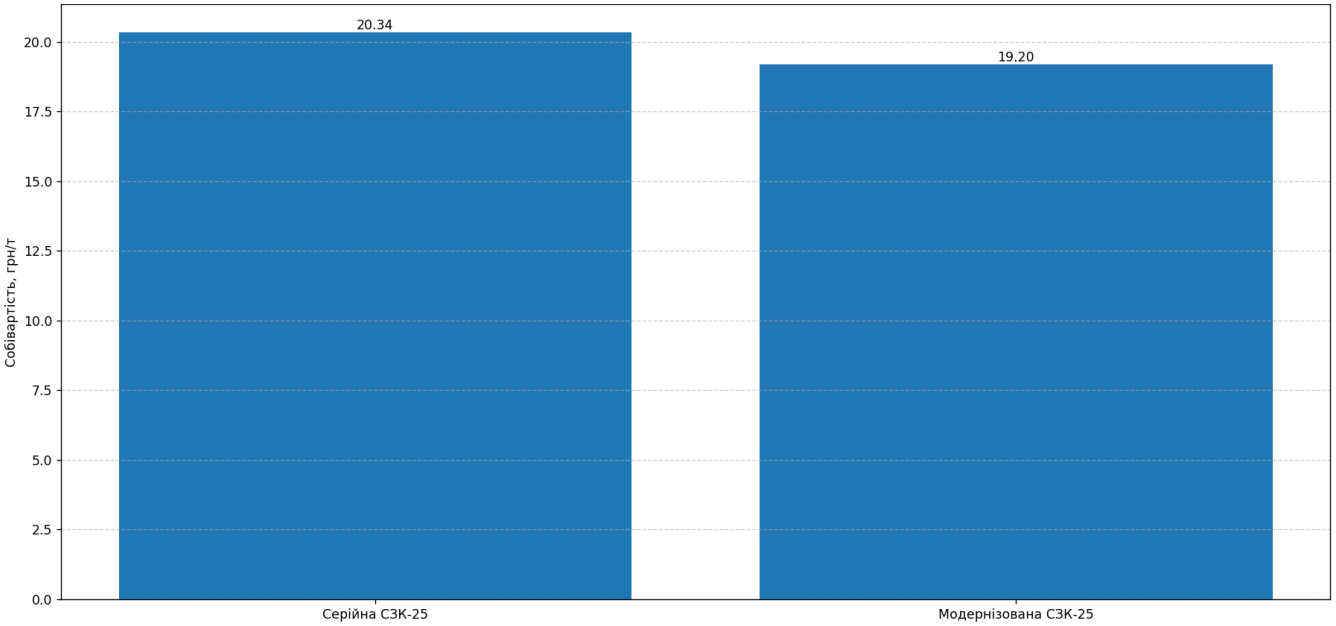



Рисунок 4.3 – Собівартість обробки 1т зерна

За формулою (4.3) визначаємо економічну ефективність від упровадження модернізованої машини СЗК-25:

$$Е = (20{,}3 - 19{,}16) \cdot 6461{,}52 \text{ грн}$$

Визначаємо строк окупності витрат за формулою:

$$Т = ΔЦ/Е \text{ років} \quad (4.15)$$

$$Т = \frac{12000}{6461{,}52} = 1{,}87 \text{ роки}$$

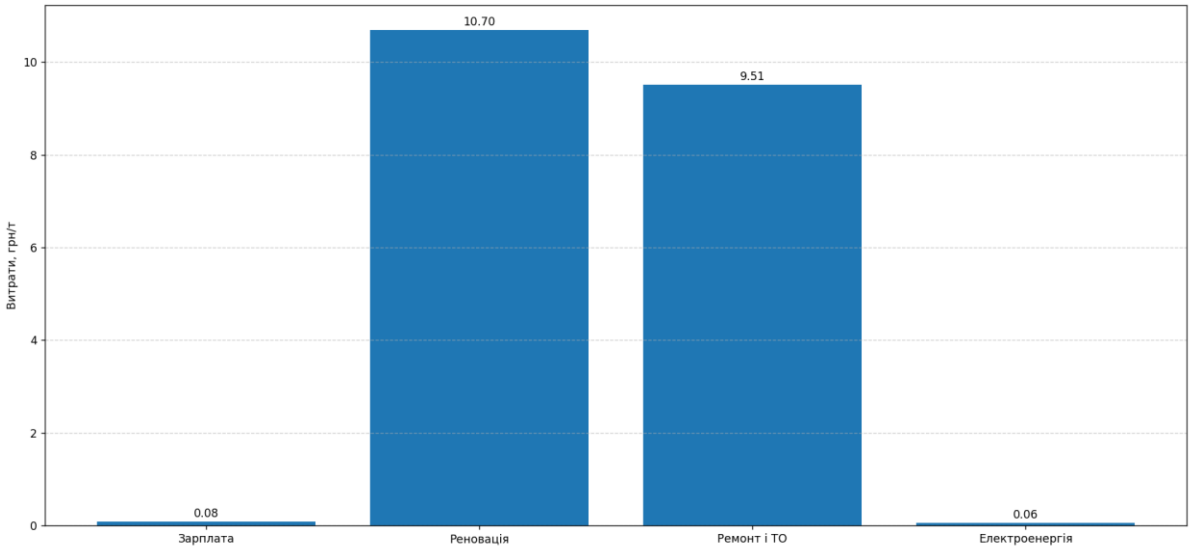



Рисунок 4.4 – Структура собівартості серійної машини СЗК-25

# ВИСНОВОК

У дипломній роботі проведено комплексне дослідження технологічного процесу післязбиральної обробки зерна та обґрунтовано модернізацію зерноочисної машини СЗК-25 з метою підвищення її продуктивності та економічної ефективності. Аналіз існуючої системи післязбиральної обробки показав, що на підприємстві наявні зерноочисно-сушильні комплекси не повністю відповідають виробничим потребам господарства, що призводить до збільшення тривалості обробки зерна та зростання собівартості продукції.

У технологічній частині роботи розглянуто вимоги до якості очищення зерна, особливості організації післязбиральної обробки та виконано розрахунок продуктивності зерноочисно-сушильного обладнання. Встановлено, що підвищення ефективності роботи лінії доцільно здійснювати шляхом модернізації окремих машин, зокрема сепаратора СЗК-25.

У конструкторсько-технологічній частині запропоновано удосконалення конструкції сепаратора шляхом збільшення площі першого решета та встановлення похилої напрямної дошки під другим решетом. Проведені розрахунки показали, що пропускна здатність першого решета зросла майже на 80 %, що дозволяє підвищити подачу матеріалу без погіршення якості очищення. Перевірочні розрахунки підвісок, шпонкового з’єднання та клинопасової передачі підтвердили міцність і надійність модернізованої конструкції.

У розділі з охорони праці проаналізовано умови безпечної експлуатації зерноочисного обладнання, наведено вимоги безпеки під час роботи з машиною СЗК-25, а також виконано розрахунок вентиляції та освітлення операторського пункту. Запропоновані заходи спрямовані на покращення умов праці, зниження виробничого травматизму та забезпечення пожежної безпеки.

Техніко-економічні розрахунки показали, що модернізація забезпечує збільшення продуктивності машини на 9 %, зниження собівартості обробки однієї тонни зерна та отримання відчутного економічного ефекту. Визначений строк окупності витрат свідчить про доцільність упровадження запропонованого технічного рішення в умовах господарства.

Таким чином, поставлена в роботі мета — удосконалення технологічного процесу сепарації зерна шляхом модернізації машини СЗК-25 — досягнута. Запропоновані конструктивні та організаційні рішення підвищують продуктивність зерноочисної лінії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 19 с.

2. ДСТУ 4525:2006. Кукурудза. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 21 с.

3. ДСТУ ISO 7970:2007. Пшениця. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2009.

4. Грищенко В. О., Гаврилюк Г. Р. Післязбиральна обробка та зберігання зерна. Київ : Аграрна освіта, 2018. 256 с.

5. Бойко А. І., Левченко В. І. Машини та обладнання для післязбиральної обробки зерна. Київ : Вища освіта, 2016. 312 с.

6. Погорілий Л. В., Коваль С. М. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку. Київ : Урожай, 2015. 384 с.

7. Сепаратор зерноочисний СЗК-25. Паспорт та інструкція з експлуатації. Харків : Виробниче підприємство сільськогосподарського машинобудування, 2014. 42 с.

8. Лур'є А. Б., Громаков О. І. Зерноочисні машини: будова, регулювання та експлуатація. Харків : ХНТУСГ, 2017. 198 с.

9. Шевченко І. А., Деркач О. Д. Технологічні процеси очищення і сортування зерна. Дніпро : ДДАЕУ, 2020. 164 с.

10. НПАОП 01.0-1.01-12. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Київ : Міністерство надзвичайних ситуацій України, 2012.

11. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Затверджено наказом Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240.

12. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999.

13. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

14. Правила пожежної безпеки в Україні. Затверджено наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417. Київ, 2015.

15. FAO. Grain crop drying, handling and storage. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. 89 p.

16. FAO. Post-harvest operations: cereal grain cleaning and storage. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.

17. Stout B. A., Cheze B. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume III: Plant Production Engineering. St. Joseph, Michigan : ASABE, 1999. 632 p.

18. Henderson S. M., Perry R. L. Agricultural Process Engineering. 3rd ed. Westport : AVI Publishing Company, 1982. 442 p.

19. Brooker D. B., Bakker-Arkema F. W., Hall C. W. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. New York : Springer, 1992. 450 p.

20. Mohsenin N. N. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd ed. New York : Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 891 p.

21. OSHA. Grain Handling Facilities. Standard 29 CFR 1910.272. Washington : Occupational Safety and Health Administration, 2024.

22. ISO 22000:2018. Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. Geneva : International Organization for Standardization, 2018. 32 p.