

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра харчових технологій

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до кваліфікаційної роботи  
ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
на тему:

**Удосконалення ділянки калібрування  
технологічної лінії з підготовки насіннєвого  
зерна кукурудзи**

**Виконав:** здобувач вищої освіти 4 курсу,  
групи ХТ-1-22 освітньо-професійної програми  
«Харчові технології» зі спеціальності 181  
«Харчові технології»

\_\_\_\_\_ Павло НАЙДЬОН

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олег ТЕРТИШНИЙ

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
харчових технологій,  
кандидат технічних наук, доцент  
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«01» травня 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Найдьону Павлу Григорович

1. Тема роботи: «Удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії з підготовки насінневого зерна кукурудзи».

Керівник роботи: Тертишний Олег Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року № 875.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія первинної обробки зерна кукурудзи, зокрема насінневого. 2. Наукова, нормативна, навчальна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Загальна частина. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Охорона праці захист навколишнього середовища. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки. Бібліографія.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина.  
4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Карта безпеки праці. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1-6    | Доцент ТЕРТИШНИЙ Олег                     | 01.05.26       | 08.06.26         |

## 7. Дата видачі завдання 01 травня 2026 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                            | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Вступ                                                          | 01.05-04.05.26                | виконано |
| 2     | Загальна частина                                               | 05.05-07.05.26                | виконано |
| 3     | Технологічна частина                                           | 08.05-14.05.26                | виконано |
| 4     | Проектна частина                                               | 15.05-21.05.26                | виконано |
| 5     | Впровадження елементів системи НАССР                           | 22.05-31.05.26                | виконано |
| 6     | Охорона праці захист навколишнього середовища                  | 01.06-02.06.26                | виконано |
| 7     | Техніко-економічне обґрунтування                               | 02.06-03.06.26                | виконано |
| 8     | Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел | 04.06-05.06.26                | виконано |
| 9     | Підготовка демонстраційного матеріалу                          | 05.06-08.06.25                | виконано |

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Павло НАЙДЬОН  
( підпис )

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Олег ТЕРТИШНИЙ  
( підпис )

## РЕФЕРАТ

**Тема: «Удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи»**

**Кваліфікаційна робота містить:** 75 сторінки, 11 рисунків, 19 таблиці, 0 додатків, 29 літературних джерел.

**Метою дипломної роботи** є удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес підготовки насіннєвого зерна кукурудзи, зокрема операції калібрування зернової маси у складі технологічної лінії насіннєвого виробництва.

**Предметом дослідження** є обладнання для калібрування та його вплив на ефективність розділення зерна, якість фракціонування й вихід кондиційного насіння.

*У роботі проаналізовано особливості технологічного процесу післязбиральної підготовки насіннєвої кукурудзи, наведено характеристику основної сировини, розглянуто вимоги до якості насіннєвого зерна та обґрунтовано необхідність модернізації ділянки калібрування. Запропоноване удосконалення передбачає покращення процесу розділення зернової маси на фракції за аеродинамічними характеристиками, що дозволяє зменшити кількість некондиційного матеріалу, підвищити однорідність насіння та забезпечити більш ефективну роботу наступних технологічних операцій.*

*Реалізація удосконаленої ділянки калібрування сприятиме підвищенню продуктивності технологічної лінії, покращенню якості готової продукції, зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню економічної ефективності виробництва насіннєвого матеріалу.*

**Ключові слова:** КУКУРУДЗА, ВОЛОГІСТЬ, КАЛІБРУВАННЯ, ЗЕРНІВКА, НОРІЯ, ЗЕРНОВА СУМІШ, НАСІННЯ, КАЛІБРУВАЛЬНА МАШИНА, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

## ЗМІСТ

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                            | 7  |
| 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....                                                                               | 10 |
| 1.1 Аналіз ринку виробництва насіннєвого зерна кукурудзи в Україні та перспективи його розвитку ..... | 10 |
| 1.2 Характеристика сировини для виробництва насіннєвого зерна кукурудзи...                            | 14 |
| Висновки за розділом .....                                                                            | 19 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....                                                                          | 21 |
| 2.1 Опис діючої технологічної лінії .....                                                             | 21 |
| 2.2 Пропозиції щодо удосконалення технологічної лінії з виробництва насіннєвого зерна кукурудзи ..... | 24 |
| 2.3 Опис модернізованої технологічної лінії .....                                                     | 26 |
| 2.4 Характеристика готового продукту .....                                                            | 28 |
| Висновки за розділом .....                                                                            | 34 |
| 3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....                                                                              | 37 |
| 3.1 Технологічний розрахунок.....                                                                     | 37 |
| 3.2 Коротка характеристика обраного обладнання .....                                                  | 39 |
| 3.4 Розрахунок площ та компонування обладнання основних виробничих приміщень .....                    | 43 |
| Висновки за розділом .....                                                                            | 49 |
| 4 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР .....                                                          | 51 |
| Висновки за розділом .....                                                                            | 54 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....                                               | 55 |
| 5.1 Розробка карти безпеки праці для оператора лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи.....    | 55 |
| 5.2 Утилізація відходів виробництва насіннєвого зерна кукурудзи.....                                  | 57 |
| Висновки за розділом .....                                                                            | 60 |
| 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....                                                              | 61 |
| 6.1 Вихідні дані до розрахунку та обґрунтування доцільності удосконалення ..                          | 61 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 6.2 Розрахунок річної продуктивності лінії .....                | 61 |
| 6.3 Розрахунок витрат електроенергії .....                      | 63 |
| 6.4 Розрахунок виходу кондиційного насіння .....                | 64 |
| 6.5 Розрахунок додаткового прибутку .....                       | 65 |
| 6.6. Розрахунок амортизаційних відрахувань .....                | 66 |
| 6.7 Розрахунок витрат на ремонт і технічне обслуговування ..... | 67 |
| 6.8 Розрахунок річного економічного ефекту .....                | 67 |
| 6.9 Розрахунок строку окупності капітальних вкладень .....      | 68 |
| 6.10 Розрахунок рентабельності капітальних вкладень .....       | 68 |
| Висновки за розділом .....                                      | 69 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....                                         | 70 |
| БІБЛІОГРАФІЯ.....                                               | 72 |

## ВСТУП

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена тим, що на багатьох підприємствах з підготовки насіння кукурудзи ділянки калібрування не завжди забезпечують необхідну якість фракціонування зернової маси. Це може бути пов'язано із фізичним зношенням обладнання, недостатньою ефективністю ситових поверхонь, невідповідністю режимів роботи машин властивостям конкретної партії зерна, нерівномірним завантаженням робочих органів, підвищеним травмуванням насіння та втратами кондиційного матеріалу. Унаслідок цього знижується вихід якісного насіння, збільшуються витрати на переробку, погіршується товарний вигляд готової продукції та ускладнюється подальше використання насіння під час сівби.

Калібрування насіннєвого зерна кукурудзи має велике технологічне значення, оскільки зернівки кукурудзи характеризуються різною формою, лінійними розмірами, масою та аеродинамічними властивостями. У межах однієї партії можуть міститися крупні, середні та дрібні зернівки, а також пошкоджені, щуплі, недорозвинені зерна, частинки качанів, обгорток та інші домішки. Для забезпечення високої якості готового насіння необхідно не лише видалити домішки, а й розділити основну масу зерна на фракції, придатні для подальшого протруювання, фасування та використання в сівалках. Саме тому удосконалення ділянки калібрування є важливим напрямом підвищення ефективності всієї технологічної лінії.

Особливого значення проблема якісної підготовки насіння набуває в умовах інтенсивного землеробства, коли до посівного матеріалу висуваються підвищені вимоги. Сучасні технології вирощування кукурудзи передбачають використання високоякісного, вирівняного та обробленого насіння, яке забезпечує точність висіву, рівномірність густоти стояння рослин і зниження втрат урожаю. Невирівняне насіння може призводити до нерівномірного висіву, пропусків або загушення посівів, різної глибини загортання, неоднакового розвитку рослин і, як наслідок, зниження продуктивності посівів. Тому якісне калібрування є не лише

технологічною, а й агрономічною передумовою ефективного виробництва кукурудзи.

Удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії може передбачати впровадження більш ефективного калібрувального обладнання, оптимізацію схеми руху зернового матеріалу, підбір раціональних ситових поверхонь, регулювання режимів подачі, підвищення рівномірності завантаження машин, зниження травмування насіння та покращення умов обслуговування обладнання. Такі заходи дають змогу підвищити продуктивність лінії, збільшити вихід кондиційного насіння, зменшити кількість відходів і забезпечити стабільну якість готової продукції.

Раціонально підібране обладнання і правильно організований технологічний процес дозволяють зменшити кількість повторних пропусків зерна через машини, скоротити втрати часу, знизити зношування робочих органів та підвищити надійність роботи лінії. Крім того, удосконалення ділянки калібрування сприяє покращенню умов праці обслуговуючого персоналу, зменшенню запиленості виробничого приміщення та підвищенню загальної культури виробництва.

Метою дипломної роботи є удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати значення насіннєвої кукурудзи та вимоги до її якості; розглянути особливості технологічного процесу підготовки насіннєвого зерна; оцінити роботу існуючої ділянки калібрування; визначити основні недоліки в організації процесу фракціонування; обґрунтувати доцільність модернізації обладнання або технологічної схеми; запропонувати удосконалений варіант ділянки калібрування; виконати необхідні технологічні, проектні та техніко-економічні розрахунки; розглянути питання охорони праці та безпеки виробничого процесу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес підготовки насіннєвого зерна кукурудзи, зокрема операції калібрування зернової маси у складі технологічної лінії насіннєвого виробництва.

Предметом дослідження є обладнання для калібрування та його вплив на ефективність розділення зерна, якість фракціонування й вихід кондиційного насіння.

Отже, удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи є актуальним і практично важливим завданням. Його вирішення сприятиме підвищенню ефективності насіннєвого виробництва, забезпеченню аграрних підприємств якісним посівним матеріалом і створенню передумов для отримання високих та стабільних урожаїв кукурудзи.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз ринку виробництва насіннєвого зерна кукурудзи в Україні та перспективи його розвитку

Кукурудза залишається однією з провідних зернових культур України, тому ринок насіннєвого зерна кукурудзи має стратегічне значення для аграрного сектору. Попит на насіння формується насамперед площею посівів кукурудзи, рівнем технологічного забезпечення господарств, потребою у високопродуктивних гібридах, розвитком точного висіву та необхідністю адаптації гібридів до змін клімату. У 2025 році площа посіву кукурудзи в Україні становила близько 3,84 млн га, що майже відповідає рівню 2024 року – 3,89 млн га. Станом на 1 січня 2026 року було зібрано 27,77 млн т кукурудзи з 89 % площ, а середня врожайність становила 7,13 т/га.

Виробництво насіннєвого зерна кукурудзи є більш технологічно складним порівняно з вирощуванням товарного зерна. Воно потребує використання батьківських форм, просторової ізоляції насінницьких ділянок, контролю сортової чистоти, своєчасного видалення нетипових рослин, дбайливого збирання, сушіння, очищення, калібрування, протруювання та фасування. Саме тому удосконалення ділянки калібрування є важливим елементом підвищення конкурентоспроможності насіннєвого матеріалу.

За даними FAOSTAT, у 2024 році виробництво кукурудзи в Україні становило 26,864 млн т, що на 13,4 % менше, ніж у 2023 році. Історичний максимум виробництва було зафіксовано у 2021 році – 42,110 млн т. У 2025 – 2026 маркетинговому році оцінки врожаю кукурудзи змінювалися залежно від погодних умов: FAS USDA у листопаді 2025 року оцінювала виробництво кукурудзи в Україні на рівні 31,0 млн т, що пов'язувалося з кращими погодними умовами наприкінці літа та восени 2025 року (рисунки 1.1).

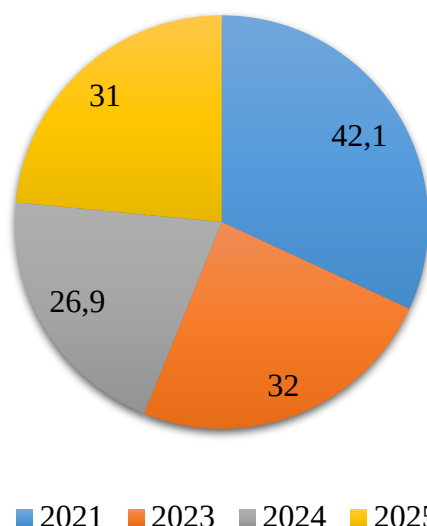


Рисунок 1.1 – Динаміка виробництва кукурудзи в Україні, млн т

Наведені дані свідчать, що виробництво кукурудзи в Україні залишається значним, хоча й залежить від воєнних, логістичних, кліматичних та економічних чинників. Для ринку насіннєвого зерна це означає збереження високого попиту на якісний посівний матеріал, особливо на гібриди з високою врожайністю, посухостійкістю, швидкою вологовіддачею та стійкістю до хвороб.

Для насіннєвого виробництва важливим є не лише загальний обсяг вирощування кукурудзи, а й стабільність попиту на посівний матеріал. За умови площі посіву кукурудзи близько 3,8 – 3,9 млн га щорічна потреба в посівному матеріалі залишається значною. Якщо прийняти, що одна стандартна посівна одиниця гібридної кукурудзи містить близько 80 тис. насінин і приблизно відповідає нормі висіву на 1 га, то орієнтовна потреба українського ринку може становити близько 3,8 – 3,9 млн посівних одиниць на рік. Це розрахункова оцінка, оскільки фактична потреба залежить від густоти висіву, групи стиглості гібриду, зони вирощування та технології господарства (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Орієнтовна оцінка потреби в насінні кукурудзи в Україні

| Показник                                | Орієнтовне значення            |
|-----------------------------------------|--------------------------------|
| Площа посіву кукурудзи у 2024 р.        | 3,89 млн га                    |
| Площа посіву кукурудзи у 2025 р.        | 3,84 млн га                    |
| Орієнтовна посівна одиниця              | 80 тис. насінин                |
| Умовне покриття однієї посівної одиниці | близько 1 га                   |
| Орієнтовна річна потреба ринку          | 3,8 – 3,9 млн посівних одиниць |

Ринок насіння кукурудзи в Україні має кілька характерних особливостей. По-перше, він є висококонкурентним: на ньому працюють як українські селекційні установи й насінницькі підприємства, так і міжнародні компанії. По-друге, попит поступово зміщується в бік гібридів, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних зон, із доброю вологовіддачею, стійкістю до посухи та стабільною врожайністю. По-третє, зростає значення якості післязбиральної доробки насіння: очищення, калібрування, протруювання і фасування.

Перспективи розвитку ринку насіннєвого зерна кукурудзи в Україні є позитивними, але залежать від кількох умов. Насамперед необхідне збереження площ під кукурудзою, стабілізація логістики, доступ виробників до сучасної техніки, розвиток селекції та модернізація насіннєвих заводів. Окреме значення має якість калібрування, оскільки саме ця операція забезпечує однорідність фракцій, стабільну роботу сівалок точного висіву, зменшення пропусків і двійників під час сівби.

Для підприємств, що займаються підготовкою насіннєвого зерна кукурудзи, перспективними напрямками є впровадження сучасних калібрувальних машин, фотосепараторів, аспіраційних систем, автоматизованого контролю вологості, систем бережного транспортування зерна та обладнання для якісного протруювання (таблиця 1.2). Це дозволяє зменшити травмування насіння, підвищити вихід кондиційних фракцій і забезпечити відповідність готової продукції вимогам ринку.



Рисунок 1.2 – Перспективні напрями удосконалення виробництва насінневої кукурудзи

Отже, ринок виробництва насінневого зерна кукурудзи в Україні має значний потенціал розвитку. Його основою є стабільний внутрішній попит, великі площі вирощування кукурудзи, наявність селекційних і насінницьких підприємств, а також зростаючий експортний інтерес до українського насіння. Водночас подальший розвиток галузі потребує технічного оновлення насінневих заводів,

підвищення якості калібрування, зменшення травмування зерна та впровадження сучасних систем контролю якості. У зв'язку з цим удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи є актуальним і економічно доцільним напрямом модернізації виробництва.

## 1.2 Характеристика сировини для виробництва насіннєвого зерна кукурудзи

Згідно з ДСТУ 4525:2006, зерно кукурудзи повинно бути у здоровому стані, не мати ознак самозігрівання, псування або теплового пошкодження під час сушіння. Воно повинно мати запах, властивий здоровому зерну, без затхлого, солодового, пліснявого чи іншого стороннього запаху, а також колір, характерний для відповідного типу кукурудзи. У кожній партії кукурудзи під час приймання визначають стан зерна, запах, колір, типовий склад, вологість, зернову і смітну домішки, зараженість шкідниками, крупність та схожість.

Для насіннєвого зерна кукурудзи, крім загальних товарних показників, особливе значення мають чистота, схожість, енергія проростання, вирівняність за розмірами, маса 1000 зерен, відсутність травмованих, щуплих, пророслих, запліснявілих і уражених зернівок. Це пов'язано з тим, що якість насіння безпосередньо впливає на точність висіву, рівномірність сходів і подальший розвиток рослин. У межах підготовки насіннєвого матеріалу зерно повинно пройти очищення, сушіння за безпечних температурних режимів, сортування і калібрування.

Кукурудзу за ботанічними і біологічними ознаками, кольором та формою зерна поділяють на типи. Зокрема, стандарт виділяє зубоподібну жовту, зубоподібну білу, кременисту жовту, кременисту білу, напівзубоподібну жовту, напівзубоподібну білу, розлусну жовту, розлусну білу та некласифіковану кукурудзу. Якщо в партії вміст зерна іншого типу перевищує встановлену норму, таку кукурудзу визначають як некласифіковану із зазначенням типового складу у відсотках (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Типи кукурудзи згідно з ДСТУ 4525:2006

| Тип  | Назва типу             | Основні ознаки зерна                                                                     |
|------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| I    | Зубоподібна жовта      | Жовте або оранжеве зерно, переважно видовжене, зі скошеними боками і вдавненою верхівкою |
| II   | Зубоподібна біла       | Біле, палеве або блідо-рожеве зерно видовженої форми з вдавненою верхівкою               |
| III  | Кремениста жовта       | Жовте або оранжеве зерно з округлою верхівкою, без вдавнення, блискуче                   |
| IV   | Кремениста біла        | Біле, палеве або блідо-рожеве зерно з округлою верхівкою, блискуче                       |
| V    | Напівзубоподібна жовта | Жовте або оранжеве зерно перехідної форми від зубоподібної до кременистої                |
| VI   | Напівзубоподібна біла  | Біле, палеве або блідо-рожеве зерно перехідної форми                                     |
| VII  | Розлусна жовта         | Жовте, гладке, переважно видовжене зерно з дзьобоподібною або округлою верхівкою         |
| VIII | Розлусна біла          | Біле гладке зерно видовженої форми                                                       |
| IX   | Некласифікована        | Суміш типів або кукурудза, що не відповідає ознакам попередніх типів                     |

Основні нормативні показники якості зерна кукурудзи наведені в таблиці 1.3. Вони відрізняються залежно від напрямку використання: для харчових концентратів і продуктів, продуктів дитячого харчування, крупи та борошна, крохмалю і патоки, а також кормових потреб.

Таблиця 1.3 – Вимоги до зерна кукурудзи згідно з ДСТУ 4525:2006

| Показник                                   | Харчові<br>концентрати і<br>продукти | Продукти<br>дитячого<br>харчування | Крупи,<br>борошно | Крохмаль і патока                 | Кормові потреби                   |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1                                          | 2                                    | 3                                  | 4                 | 5                                 | 6                                 |
| Типовий склад                              | I – VIII типи                        | I – VIII типи                      | I – IX типи       | I – IX типи                       | I – IX типи                       |
| Вологість, %, не більше                    | 15,0                                 | 15,0                               | 15,0              | 15,0                              | 15,0                              |
| Зернова домішка, %, не більше              | 7,0                                  | 3,0                                | 7,0               | 7,0                               | 15,0                              |
| Пророслі зерна, %, не більше               | 2,0                                  | Не дозволено                       | 2,0               | У межах зернової<br>домішки       | 5,0                               |
| Пошкоджені зерна, %, не<br>більше          | 1,0                                  | Не дозволено                       | 1,0               | У межах зернової<br>домішки       | У межах зернової<br>домішки       |
| Зерна і насіння інших<br>культурних рослин | Не дозволено                         | Не дозволено                       | Не дозволено      | Не дозволено                      | До 2,0                            |
| Смітна домішка, %, не більше               | 1,0                                  | 1,0                                | 2,0               | 3,0                               | 5,0                               |
| Зіпсовані зерна, %, не більше              | 0,5                                  | Не дозволено                       | 1,0               | 1,0                               | 1,0                               |
| Мінеральна домішка, %, не<br>більше        | 0,3                                  | 0,3                                | 0,3               | 0,3                               | 1,0                               |
| Галька, шлак, руда, %, не<br>більше        | 0,1                                  | 0,1                                | 0,1               | У межах<br>мінеральної<br>домішки | У межах<br>мінеральної<br>домішки |
| Шкідлива домішка, %, не<br>більше          | 0,2                                  | Не дозволено                       | 0,2               | 0,2                               | 0,2                               |

| 1                                                               | 2            | 3            | 4            | 5            | 6                                                                |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------------------------------------|
| Сажка і ріжки, %, не більше                                     | 0,15         | Не дозволено | 0,15         | 0,15         | 0,15                                                             |
| Гірчак повзучий і в'язіль<br>різнокольоровий, %, не більше      | 0,1          | Не дозволено | 0,1          | 0,1          | 0,1                                                              |
| Триходесма сива, геліотроп<br>опушеноплідний, насіння<br>рицини | Не дозволено | Не дозволено | Не дозволено | Не дозволено | Не дозволено                                                     |
| Зараженість шкідниками                                          | Не дозволено | Не дозволено | Не дозволено | Не дозволено | Не дозволено, крім<br>зараженості<br>кліщем не вище I<br>ступеня |

Крім наведених показників, стандарт установлює вимоги до кукурудзи в качанах. Кукурудзу в качанах необхідно постачати на підприємства в очищеному від обгорток стані, а вміст качанів з обгортками не повинен перевищувати 2 %. Під час приймання кукурудзи в качанах якість і вихід зерна визначають за зерном, отриманим після лабораторного обмолоту проби качанів (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Показники, які визначають під час приймання партії кукурудзи

| Показник               | Мета визначення                                                                    |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Стан зерна             | Виявлення ознак самозігрівання, псування, злежування або теплового пошкодження     |
| Запах                  | Виявлення затхлого, пліснявого, солодового або іншого стороннього запаху           |
| Колір                  | Оцінювання відповідності зерна здоровому стану та певному типу кукурудзи           |
| Типовий склад          | Визначення належності зерна до певного типу                                        |
| Вологість              | Встановлення придатності зерна до зберігання або потреби в сушінні                 |
| Зернова домішка        | Оцінювання кількості битих, пророслих, пошкоджених та інших неповноцінних зерен    |
| Смітна домішка         | Визначення кількості мінеральних, органічних, шкідливих та інших сторонніх домішок |
| Зараженість шкідниками | Встановлення санітарного стану партії                                              |
| Крупність              | Оцінювання розмірної характеристики зерна                                          |
| Схожість               | Визначення життєздатності зерна, особливо важливої для насіннєвого матеріалу       |

У стандарті також передбачено, що за згодою зернових складів або інших суб'єктів господарювання допускається приймання кукурудзи з вологістю, вмістом зернової чи смітної домішки вище граничних норм, якщо є можливість довести таке зерно до встановлених показників якості. Для експортування кукурудза повинна бути здоровою, мати нормальний запах і колір та бути незараженою шкідниками; інші показники якості визначаються умовами контракту між постачальником і покупцем.

Отже, вимоги ДСТУ 4525:2006 спрямовані на забезпечення стабільної якості зерна кукурудзи залежно від напрямку його використання. Для дипломної роботи, присвяченої удосконаленню ділянки калібрування насіннєвого зерна кукурудзи, найбільш важливими показниками є вологість, зернова та смітна домішка, крупність, схожість, зараженість шкідниками, а також відсутність пророслих, пошкоджених і зіпсованих зернівок. Саме ці показники визначають придатність зерна до подальшого очищення, сушіння, калібрування та використання як якісного посівного матеріалу.

### Висновки за розділом

Проаналізовано, що виробництво насіннєвого зерна кукурудзи є технологічно складнішим, ніж вирощування товарного зерна, оскільки потребує дотримання сортової чистоти, якісного сушіння, очищення, калібрування, протруювання та фасування. Особливе значення має саме калібрування, адже воно забезпечує однорідність фракцій, стабільну роботу сівалок точного висіву, зменшення пропусків і двійників під час сівби.

Встановлено, що основними чинниками розвитку ринку насіннєвої кукурудзи є попит на високопродуктивні гібриди, адаптація до кліматичних змін, розвиток точного землеробства, підвищення вимог до якості посівного матеріалу та необхідність технічного оновлення насіннєвих заводів. Перспективними напрямками є впровадження сучасних калібрувальних машин, фотосепараторів, аспіраційних систем, автоматизованого контролю якості та систем бережного транспортування зерна.

Розглянуто вимоги до зерна кукурудзи згідно з ДСТУ 4525:2006, відповідно до яких зерно повинно бути здоровим, без ознак самозігрівання, псування, теплового пошкодження, стороннього запаху та зараження шкідниками. Для насіннєвого зерна особливо важливими є вологість, чистота, крупність, схожість, енергія проростання, вирівняність за розмірами та відсутність пошкоджених, пророслих і зіпсованих зернівок.

Отже, удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи є актуальним і практично обґрунтованим. Його впровадження дозволить підвищити вихід кондиційного насіння, зменшити травмування зернівок, покращити фракційний склад готової продукції та забезпечити стабільну якість посівного матеріалу відповідно до вимог ринку і чинних стандартів.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Опис діючої технологічної лінії

Як приклад в Науково-виробничому фермерському господарстві «Світ» технологічний процес підготовки насіннєвого зерна кукурудзи здійснюється за умови виконання технологічних операцій у певній послідовності, блок-схема приймання та обробки насіннєвого зерна кукурудзи приведена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Блок-схема приймання та обробки насіннєвого зерна кукурудзи

Діюча технологічна схема підготовки насіннєвого зерна кукурудзи в НВФГ «Світ» приведена на рисунку 2.2.

Висушені кукурудзяні початки транспортером подаються до молотарки кукурудзяних початків МКП-30 (1). В молотарці відбувається відокремлення зерна кукурудзи від стрижнів та продування отриманого зерна повітряним потоком, стрижні кукурудзи потрапляють до бункеру відходів 2. Наступною операцією за діючою технологічною схемою є первинне очищення зерна кукурудзи в повітряному сепараторі РЗ-БАБ (3), де відбувається остаточне відокремлення легких домішок, що містяться у зерні. Пройшовши первинне очищення зерно за допомогою норії НЗ-25 (14) подається до бункерних вагів (4), для ведення обліку сировини.

Після зважування технологічний процес умовно можна розділити на два потоки:

- перший потік – зерно кукурудзи пройшовши первинне очищення та зважування подається норією НЗ-25 (14) до силосного корпус (5) на зберігання;
- другий потік – зерно кукурудзи пройшовши первинне очищення та зважування у вагах 4 подається на подальшу обробку.

Пройшовши через перекидний клапан (10) воно потрапляє до проміжного бункера (6), де накопичується з метою здійснення наступних технологічних операцій.

Наступним етапом в технологічній схемі є повторне очищення зерна кукурудзи, відбувається це на барабанному сепараторі SB (7). В цій машині зерно очищається від домішок, що відрізняються від нього геометричними розмірами та формою.

Після повторного очищення зерно кукурудзи надходить до калібрувальної машини решітного типу Petkus k-531 (8) де відбувається калібрування зерна кукурудзи за розмірами. В результаті калібрування отримуємо дві фракції зерна, що в подальшому можливо використовувати для насіннєвих цілей.

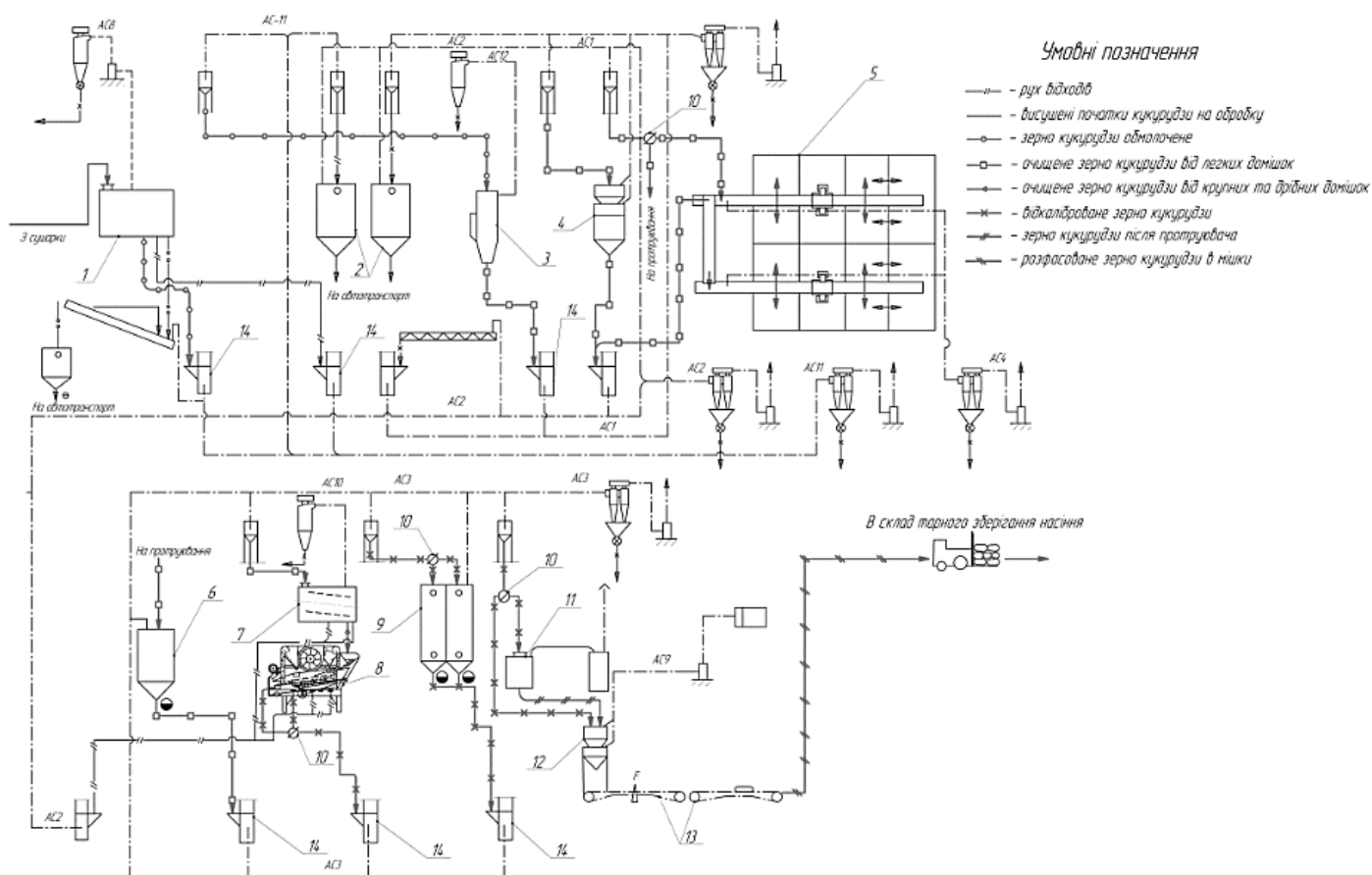


Рисунок 2.2 – Діюча технологічна лінія з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи в НВФГ «Світ»

1 – молотарка кукурудзяних початків; 2 – бункер для відходів; 3 – сепаратор повітряний; 4 – ваги; 5 – силосний корпус; 6 – проміжний бункер; 7 – машина повторного очищення зерна; 8 – калібрувальна машина решітного типу; 9 – бункери; 10 – перекидний клапан; 11 – протруювач; 12 – дозатор; 13 – транспортер; 14 – норія.

Після калібрування кожна фракція зерна потрапляє до бункера (9) де накопичується. Наступною технологічною операцією є протруювання у протруювачі безперервної дії фірми Petkus CT25 (11). Операція протруювання здійснюється у разі необхідності, за попередньою домовленістю з замовником.

Після протруювання зерно кукурудзи надходить до дозатора (12), де фасується в мішки по 20 кг і транспортером (13) подається до складу тарного зберігання, а потім на реалізацію.

## 2.2 Пропозиції щодо удосконалення технологічної лінії з виробництва насіннєвого зерна кукурудзи

Основним завданням кваліфікаційної роботи є усунення проблеми не якісного калібрування зерна кукурудзи, шляхом підбору більш ефективного та надійного технологічного обладнання для калібрування насіннєвого зерна кукурудзи та перерахунку основних технологічних показників лінії, що в свою чергу принесе значний прибуток. А саме ми пропонуємо встановити замість повітряно-решітного сепаратора Petkus k-531 без трієрного блока, який здійснює операцію калібрування за геометричними розмірами, як наслідок посівні властивості зерна є досить низькими, встановивши, аеродинамічний сепаратор Макко-5 фірми «Техагросервіс» ці показники значно зростають, а саме підвищується схожість насіння, маса 1000 зерен та чистота (таблиця 2.1), а отже зросте і урожайність такого насіння, що в цілому призведе до значного економічного ефекту.

Сепаратор Макко широко використовується як на великих елеваторних комплексах, так і в невеликих фермерських господарствах, що займаються підготовкою зерна продовольчого та насіннєвого призначення. Основною перевагою цього обладнання є можливість високоточного калібрування зернового матеріалу за питомою вагою з однорідністю сепарації до  $\pm 3\%$ . Це дає змогу виділяти більш повноцінні фракції насіння з кращими якісними показниками.

За ефективністю розділення сепаратор Макко перевищує традиційні сепаратори та калібрувальні машини, що застосовуються у зерноочисних лініях. Обладнання є простим в експлуатації, надійним, легко інтегрується в діючі технологічні лінії очищення й калібрування та може замінювати окремі машини наявного виробничого комплексу. Сепаратор здатний працювати з насіннєвим матеріалом різного ступеня засміченості та вологості без істотного зниження якості сепарації і продуктивності. Крім того, він характеризується низькою енергоємністю, що підвищує економічну доцільність його використання [26].

При калібруванні насіннєвого зерна кукурудзи на даному сепараторі можна отримані наступні показники його якості, що приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники якості насіннєвого зерна кукурудзи при його калібруванні на сепараторі Makko-5

| Показники            | Фракції           |       |       |       |       |
|----------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|                      | Вихідний матеріал | II    | III   | IV    | V     |
| Чистота, %           | 92,6              | 99,6  | 99,5  | 66,7  | 34,1  |
| Залишки насіння      | 47                | 0     | 0     | 77    | 42    |
| Схожість, %          | 84                | 92    | 89    | 75    | 74    |
| Вологість, %         | 12,4              | 12,3  | 12,4  | 12,0  | 12,4  |
| Маса 1000 насінин, г | 136,0             | 176,0 | 156,2 | 111,8 | 105,8 |
| Доля фракції, %      | 100               | 73    | 13    | 8     | 6     |

В результаті були отримані II та III фракції (рисунок 2.3) насіння з чистотою 99,6 – 99,5 % відповідно, також у цих фракціях відсутнє насіння інших культурних рослин, усі вони потрапили у IV та V фракції (рисунок 2.3) II фракція має високу схожість – 92 %, що на 8 % вище вихідного матеріалу. Крім того, II та III фракції мають високу масу 100 насінин [6].



Рисунок 2.3 – Фото з зображенням насіннєвого зерна кукурудзи після розділу на фракції на сепараторі Makko-5

Завдяки сепарації на машині Makko-5, стало можливим не тільки якісно очистити насіння, але й отримати насіннєвий матеріал кукурудзи, що відповідає державним стандартам України. Чого не можна сказати про сепаратор Petkus k-531.

Порівняльна технічна характеристика машин приведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна технічна характеристика аеродинамічного сепаратора Makko-5 та Petkus k-531

| № | Показник                                    | Makko-5        | Petkus k-531   |
|---|---------------------------------------------|----------------|----------------|
| 1 | Продуктивність в режимі калібрування, т/год | 2,5            | 2,0            |
| 2 | Габаритні розміри, мм                       | 2350×2400×1210 | 3060×2100×2210 |
| 3 | Потужність, кВт                             | 0,55           | 4,0            |
| 4 | Маса, кг                                    | 800            | 1300           |

З наведених характеристик запропонованого до встановлення технологічного обладнання, можна зробити висновок, що сепаратор Makko-5 мають достатньо високу продуктивність при калібруванні зерна, не високу потужність та багато інших переваг і буде добре виконувати свої функції в технологічній лінії. Також виробництво насіннєвого зерна кукурудзи при його калібруванні з використанням запропонованого обладнання дасть змогу отримати більший вихід продукції високої якості, а подальшому значні прибутки для підприємства.

### 2.3 Опис модернізованої технологічної лінії

Удосконалена технологічна схема підготовки насіннєвого зерна кукурудзи в НВФГ «Світ» приведена на рисунку 2.4.

Висушені кукурудзяні початки транспортером подаються до молотарки кукурудзяних початків МКП-30 (1). В молотарці відбувається відокремлення зерна кукурудзи від стрижнів та продування отриманого зерна повітряним потоком, стрижні кукурудзи потрапляють до бункеру відходів 2. Наступною операцією за діючою технологічною схемою є первинне очищення зерна кукурудзи в

повітряному сепараторі РЗ-БАБ (3), де відбувається остаточне відокремлення легких домішок, що містяться у зерні. Пройшовши первинне очищення зерно за допомогою норії НЗ-25 (14) подається до бункерних вагів (4), для ведення обліку сировини.

Після зважування технологічний процес умовно можна розділити на два потоки:

- перший потік – зерно кукурудзи пройшовши первинне очищення та зважування подається норією НЗ-25 (14) до силосного корпус (5) на зберігання;
- другий потік – зерно кукурудзи пройшовши первинне очищення та зважування у вагах 4 подається на подальшу обробку.

Пройшовши через перекидний клапан (10) воно потрапляє до проміжного бункера (6), де накопичується з метою здійснення наступних технологічних операцій.

Наступним етапом в технологічній схемі є повторне очищення зерна кукурудзи, відбувається це на барабанному сепараторі SB (7). В цій машині зерно очищається від домішок, що відрізняються від нього геометричними розмірами та формою.

Після повторного очищення зерно кукурудзи надходить до аеродинамічного сепаратора Макко-5 (8), який працює в режимі калібрування зерна, де відбувається калібрування зерна кукурудзи за аеродинамічними властивостями. В результаті калібрування отримуємо дві фракції зерна, що в подальшому можливо використовувати для насінневих цілей.

Після калібрування кожна фракція зерна потрапляє до бункера (9) де накопичується. Наступною технологічною операцією є протруювання у протруювачі безперервної дії фірми Petkus СТ25 (11). Операція протруювання здійснюється у разі необхідності, за попередньою домовленістю з замовником.

Після протруювання зерно кукурудзи надходить до дозатора (12), де фасується в мішки по 20 кг і транспортером (13) подається до складу тарного зберігання, а потім на реалізацію.

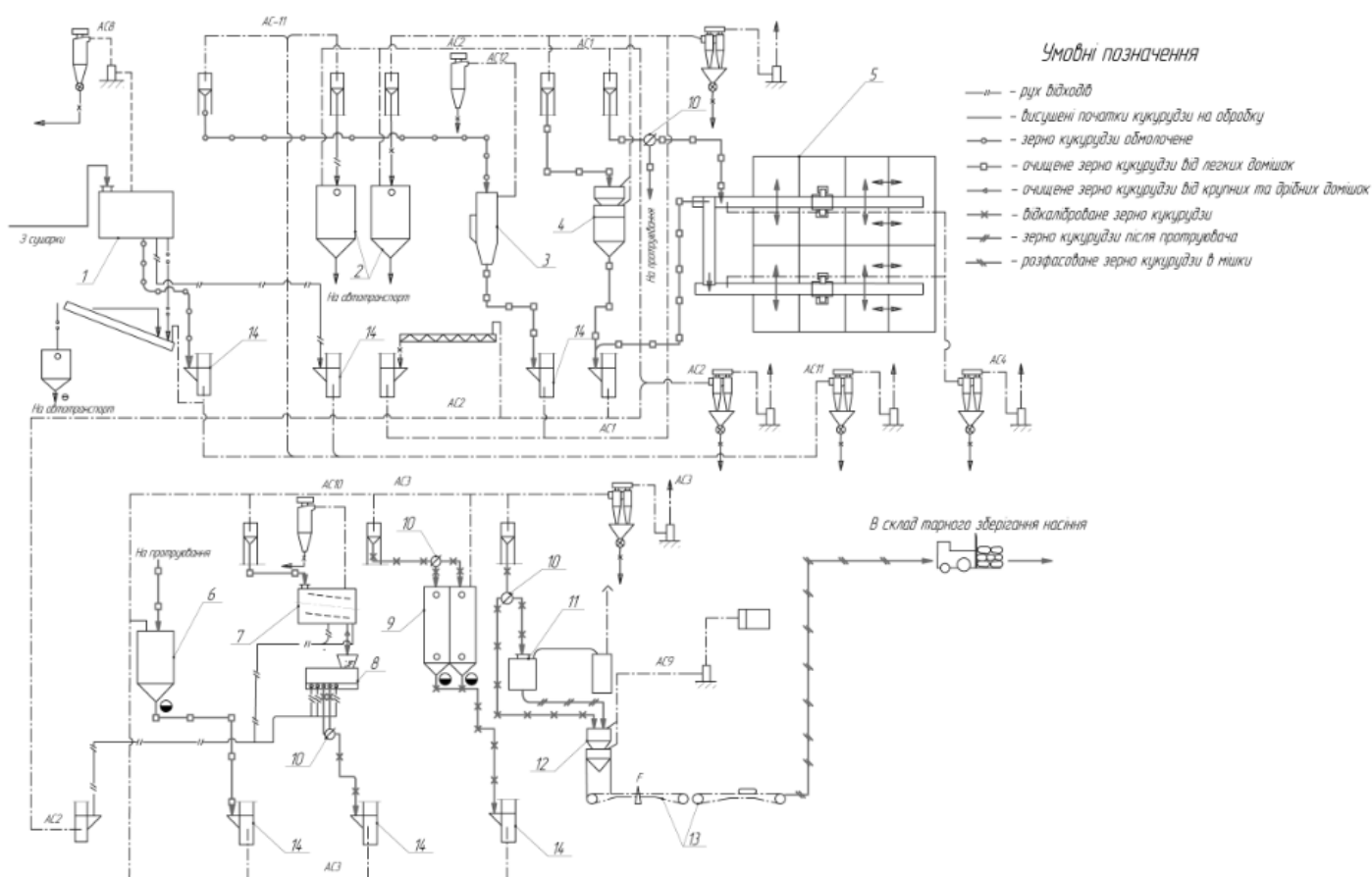


Рисунок 2.3 – Удосконалена технологічна лінія з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи в НВФГ «Світ»

1 – молотарка кукурудзяних початків; 2 – бункер для відходів; 3 – сепаратор повітряний; 4 – ваги; 5 – силосний корпус; 6 – проміжний бункер; 7 – машина повторного очищення зерна; 8 – аеродинамічний сепаратор в режимі калібрування; 9 – бункери; 10 – перекидний клапан; 11 – протруювач; 12 – дозатор; 13 – транспортер; 14 – норія.

## 2.4 Характеристика готового продукту

Насіннєве зерно кукурудзи повинно характеризуватися високою чистотою, доброю схожістю, високою енергією проростання, вирівняністю за розмірами, відсутністю механічних пошкоджень, ураження хворобами, пліснявіння та ознак самозігрівання. Якість такого зерна значною мірою залежить від умов вирощування, строків збирання, способу обмолоту, режимів сушіння, очищення,

сортуння, калібрування та зберігання. Особливо важливим є збереження життєздатності зародка, оскільки саме він визначає здатність насіння до проростання і подальшого формування рослини.

Зернівка кукурудзи складається з плодової та насінневої оболонки, ендосперму і зародка. Зародок у кукурудзі є відносно великим і може становити до 10 – 15 % маси зернівки. Він містить значну кількість біологічно цінних речовин, зокрема білків, жирів і цукрів. Водночас зародок є найбільш вразливою частиною зернівки, оскільки легко пошкоджується під час механічного транспортування, очищення, сушіння та калібрування. Пошкодження зародка призводить до зниження схожості, погіршення енергії проростання та зменшення посівної придатності насіння.

За формою, будовою зерна та біологічними ознаками розрізняють кілька основних типів кукурудзи: кременисту, зубоподібну, цукрову, крохмалисту, восковидну, розлусну та плівчасту. У виробничих умовах найбільше поширення мають зубоподібна і кремениста форми. Зубоподібна кукурудза має видовжену зернівку з характерною вм'ятиною у верхній частині, а кремениста – більш округлу, гладку та щільну зернівку. Такі морфологічні особливості необхідно враховувати під час вибору робочих органів сепараторів і калібрувальних машин, оскільки форма і розміри зернівок безпосередньо впливають на ефективність розділення насінневої маси.

Фізико-механічні властивості зерна кукурудзи мають важливе значення для організації технологічного процесу його підготовки. До основних показників належать натура, маса 1000 зерен, вологість, сипкість, кут природного укусу, шпаруватість, розміри зернівок і стійкість до механічного пошкодження. Натура зерна кукурудзи, як правило, знаходиться в межах 680 – 820 г/л, кут природного укусу становить 30 – 40°, шпаруватість зернової маси – 35 – 55 %, а маса 1000 зерен може коливатися у широких межах залежно від гібриду, крупності та умов вирощування (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Показники посівної придатності насіння кукурудзи

| Показники                                                                 | Індекс придатності   |                    |                |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|----------------|
|                                                                           | високий              | середній           | низький        |
| 1. Схожість, %<br>- лабораторна<br>- холодне пророщування                 | 97 – 100<br>85 - 100 | 93 – 96<br>70 – 84 | 92<br>нижче 70 |
| 2. Енергія проростання, %<br>- всього<br>- різниця зі схожістю, не більше | 94 – 100<br>3        | 88 – 96<br>5       | 82 – 92<br>10  |
| 3. Кількість сильних ростків<br>довжиною не більше 5 см                   | 90 – 100             | 80 – 90            | не менше<br>80 |
| 4. Травмування зародку (механічне), %                                     | менше 10             | 10 – 20            | більше 20      |
| 5. Тріщинуватість насіння (теплова), %                                    | менше 30             | 30 – 50            | більше 50      |
| 6. Чистота фізична, % не менше                                            | 99                   | 98                 | 98             |
| 7 Вологість зерна, %м не більше                                           | 14,0                 | 14,0               | 14,0           |

Особливістю насінневого зерна кукурудзи є нерівномірність розмірів і маси зернівок навіть у межах однієї партії. У зерновій масі можуть міститися крупні, середні та дрібні зерна, а також щуплі, биті, тріснуті, недорозвинені або пошкоджені зернівки. Така неоднорідність негативно впливає на якість висіву, особливо при використанні сівалок точного висіву. Невирівняне насіння може спричиняти пропуски, двійники, нерівномірну глибину загортання та неоднаковий розвиток рослин. Саме тому калібрування є обов'язковою операцією під час підготовки насінневої кукурудзи.

Хімічний склад зерна кукурудзи визначає його поживну, технологічну та біологічну цінність. Основну частину зернівки становить крохмаль, який зосереджений переважно в ендоспермі. Білки, жири та цукри у більшій кількості містяться в зародку. За даними, наведеними у вихідному матеріалі, у зерні кукурудзи може міститися 12,3 – 13,8 % білка, 45,2 – 60,0 % крохмалю, 1,74 – 8,0 % цукрів, 7,9 – 14,4 % жиру та 1,28 – 1,37 % зольних речовин (таблиця 2.4). Наявність значної кількості жиру в зародку зумовлює підвищену чутливість зерна до пошкодження і псування, особливо за підвищеної вологості.

Таблиця 2.4 – Основні фізико-механічні властивості зерна кукурудзи

| Показник                   | Орієнтовне значення                     | Технологічне значення                                                        |
|----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Натура зерна               | 680 – 820 г/л                           | Характеризує виповненість і якість зернової маси                             |
| Кут природного укусу       | 30 – 40°                                | Враховується під час проєктування бункерів, самопливів і транспортних систем |
| Шпаруватість зернової маси | 35 – 55 %                               | Впливає на процеси вентилявання, сушіння та зберігання                       |
| Маса 1000 зерен            | Залежить від гібриду та крупності       | Є важливим показником посівної якості та вирівняності                        |
| Частка зародка             | до 10 – 15 % маси зернівки              | Визначає чутливість насіння до механічних пошкоджень                         |
| Вологість зерна            | Залежить від умов збирання і зберігання | Впливає на збереженість, схожість і потребу в сушінні                        |

Насіннєве зерно кукурудзи під час надходження на підприємство може мати підвищену та нерівномірну вологість. Це пов'язано з біологічними особливостями культури, строками збирання та умовами післязбирального досягання. Підвищена вологість є небажаною, оскільки вона активізує дихання зерна, розвиток мікроорганізмів і процеси самозігрівання. Для насіннєвого матеріалу це особливо небезпечно, адже навіть незначне порушення режимів зберігання може призвести до зниження схожості.

За вологістю кукурудзу в зерні поділяють на суху, середньої сухості, вологу та сиру. Сухим вважається зерно з вологістю до 14,0 % включно, середньої сухості – понад 14,0 до 15,5 %, вологим – понад 15,5 до 17,0 %, сирим – понад 17,0 % (таблиця 2.5). Такий поділ має важливе практичне значення, оскільки визначає можливість подальшого зберігання зерна, необхідність сушіння та допустиму висоту насипу.

Таблиця 2.5 – Стан зерна кукурудзи за вологістю

| Стан зерна        | Вологість, %          | Характеристика стану                                              |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Сухе              | до 14,0<br>включно    | Придатне для зберігання за умови контролю температури і вологості |
| Середньої сухості | понад 14,0 до<br>15,5 | Потребує періодичного контролю стану зернової маси                |
| Вологе            | понад 15,5 до<br>17,0 | Потребує активного вентильовання або сушіння                      |
| Сире              | понад 17,0            | Непридатне для тривалого зберігання без сушіння                   |

Зернова маса кукурудзи, що надходить на підприємство, складається з основного зерна, зернової та смітної домішки. До основного зерна належать повноцінні зернівки, які за характером пошкоджень не віднесені до домішок. До смітної домішки належать мінеральні й органічні домішки, частинки стрижнів, стебел, листків, обгорток качанів, насіння бур'янів, мертві комахи, а також зерна з ознаками пліснявіння або значного псування. До зернової домішки належать биті, щуплі, роздавлені, пророслі, пошкоджені та недорозвинені зернівки.

Для насіннєвого зерна наявність домішок є особливо небажаною. Смітна домішка погіршує сипкість зернової маси, ускладнює сушіння, транспортування та зберігання. Зернова домішка знижує однорідність партії, погіршує якість калібрування і може негативно впливати на посівні властивості насіння. Тому перед калібруванням зерно обов'язково піддають попередньому та основному очищенню (таблиця 2.6).

За рівнем засміченості зерно кукурудзи поділяють на чисте, середньої чистоти та засмічене. Чистим вважають зерно з вмістом смітної домішки до 1,0 % і зернової домішки до 2,0 %. До зерна середньої чистоти належать партії з вмістом смітної домішки понад 1,0 до 3,0 % і зернової домішки понад 2,0 до 5,0 %. Засміченим вважають зерно, у якому вміст смітної домішки перевищує 3,0 %, а зернової – 5,0 % (таблиця 2.7).

Таблиця 2.6 – Склад насіннєвої зернової маси кукурудзи

| Складова зернової маси | Характеристика                                                                     | Вплив на якість насіння                                 |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Основне зерно          | Цілі та придатні зернівки кукурудзи                                                | Формує основну частину насіннєвого матеріалу            |
| Смітна домішка         | Мінеральні й органічні домішки, частинки рослин, насіння бур'янів, зіпсовані зерна | Погіршує зберігання, очищення та санітарний стан партії |
| Зернова домішка        | Биті, щуплі, пророслі, роздавлені та пошкоджені зернівки                           | Знижує вирівняність, схожість і посівну якість          |

Таблиця 2.7 – Стан кукурудзи за засміченістю

| Стан зерна        | Вміст смітної домішки, % | Вміст зернової домішки, % | Технологічна оцінка                                                             |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Чисте             | до 1,0 включно           | до 2,0 включно            | Придатне для подальшої обробки з мінімальним навантаженням на очисне обладнання |
| Середньої чистоти | понад 1,0 до 3,0         | понад 2,0 до 5,0          | Потребує ретельного очищення перед калібруванням                                |
| Засмічене         | понад 3,0                | понад 5,0                 | Потребує інтенсивного очищення, можливе зниження виходу кондиційного насіння    |

Важливим показником якості насіннєвого зерна є його вирівняність. Партія насіння повинна мати однорідний фракційний склад, оскільки це забезпечує рівномірну роботу висівних апаратів. Під час калібрування кукурудзу розділяють на окремі фракції за розмірами, формою та масою зернівок. Виділення однорідних фракцій дозволяє підвищити точність висіву, зменшити кількість пропусків і двійників, забезпечити рівномірну густоту стояння рослин та покращити умови для формування врожаю. Основні вимоги до насіннєвого зерна кукурудзи представлені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Основні вимоги до насіннєвого зерна кукурудзи

| Показник                         | Вимога до насіннєвого матеріалу                   | Значення для виробництва                                   |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Чистота                          | Мінімальний вміст смітної та зернової домішки     | Забезпечує високу якість партії та стабільність зберігання |
| Схожість                         | Висока здатність насіння до проростання           | Визначає придатність насіння до сівби                      |
| Енергія проростання              | Швидке і дружнє проростання                       | Забезпечує рівномірні сходи                                |
| Вирівняність                     | Однорідність за розмірами та масою                | Підвищує точність роботи сівалок                           |
| Вологість                        | Безпечний рівень для зберігання                   | Запобігає самозігріванню та розвитку мікрофлори            |
| Відсутність пошкоджень           | Мінімальна кількість битих і травмованих зернівок | Сприяє збереженню життєздатності зародка                   |
| Відсутність зараження шкідниками | Зараженість не допускається                       | Забезпечує санітарну безпечність і збереженість партії     |

Отже, насіннєве зерно кукурудзи є цінним, але водночас складним об'єктом післязбиральної обробки. Його якість залежить від біологічних особливостей культури, фізико-механічних властивостей зернівок, вологості, засміченості, рівня пошкодження та умов зберігання. Для отримання якісного посівного матеріалу необхідно забезпечити своєчасне очищення, сушіння, сортування і калібрування зерна. Саме калібрування дозволяє сформувати однорідні фракції насіння, підвищити точність висіву та створити передумови для одержання рівномірних сходів і високої врожайності кукурудзи.

#### Висновки за розділом

Проаналізовано діючу технологічну лінію підготовки насіннєвого зерна кукурудзи в НВФГ «Світ», яка включає обмолот кукурудзяних початків, первинне

очищення на сепараторі РЗ-БАБ, зважування, повторне очищення на барабанному сепараторі SB, калібрування, протруювання, фасування та подальше зберігання готової продукції. Встановлено, що основною проблемою діючої лінії є недостатньо якісне калібрування зерна на машині Petkus K-531, що обмежує отримання вирівняних фракцій насіння з високими посівними властивостями.

Запропоновано удосконалити ділянку калібрування шляхом заміни калібрувальної машини Petkus K-531 на аеродинамічний сепаратор Макко-5. Доцільність такого рішення обґрунтована кращими технічними показниками обладнання: продуктивність Макко-5 у режимі калібрування становить 2,5 т/год, тоді як у Petkus K-531 – 2,0 т/год; потужність Макко-5 складає лише 0,55 кВт проти 4,0 кВт у Petkus K-531; маса обладнання також менша – 800 кг проти 1300 кг.

Доведено, що використання сепаратора Макко-5 дозволяє підвищити якість насіннєвого матеріалу. Після калібрування отримано найбільш придатні для насіннєвих цілей II та III фракції, чистота яких становить відповідно 99,6 % і 99,5 %, а схожість – 92 % і 89 %. При цьому схожість II фракції на 8 % вища порівняно з вихідним матеріалом, що підтверджує ефективність запропонованої модернізації.

Описано удосконалену технологічну схему, у якій після повторного очищення зерно подається на аеродинамічний сепаратор Макко-5, що працює в режимі калібрування за аеродинамічними властивостями. Такий підхід дозволяє формувати якісніші та однорідніші фракції насіння, зменшити частку щуплих, пошкоджених і некондиційних зернівок, а також підвищити вихід продукції, придатної для насіннєвого використання.

Встановлено, що готове насіннєве зерно кукурудзи повинно мати високу чистоту, добру схожість, достатню енергію проростання, безпечну вологість, однорідність за розмірами та мінімальний рівень травмування зародка. Для забезпечення цих показників необхідне дотримання раціональних режимів сушіння, очищення, калібрування, протруювання і зберігання. Особливо важливим є зниження механічного пошкодження зернівок, оскільки зародок становить до 10 – 15 % маси зернівки і значною мірою визначає посівну придатність насіння.

Отже, удосконалення ділянки калібрування технологічної лінії шляхом встановлення сепаратора Makko-5 є технічно та технологічно обґрунтованим. Запропонована модернізація сприятиме підвищенню чистоти, схожості, маси 1000 насінин, однорідності фракційного складу, зменшенню енерговитрат і збільшенню виходу якісного насіннєвого матеріалу кукурудзи.

### 3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Технологічний розрахунок

Оскільки в складі лінії було замінено технологічне обладнання для калібрування зерна кукурудзи, слід виконати перевірочний розрахунок продуктивності. На підприємстві діє однозмінний графік, тривалість зміни 8 годин.

Річна продуктивність технологічної лінії підготовки насіннєвого зерна кукурудзи після удосконалення складає 1165,5 тон на рік. Взявши до уваги, що робочий період підприємства протягом року складає 259 днів то добова продуктивність удосконаленої технологічної лінії складає 4,5 т/добу.

Продуктивність лінії по сировині складе  $Q_{n.c.}$ , т/добу [6]

$$Q_{n.c.} = 1,2 \cdot Q_z, \quad (3.1)$$

де  $Q_z$  – загальна продуктивність лінії в цілому по готовому продукту, т/добу.

$$Q_{n.c.} = 1,2 \cdot 4,5 = 5,4 \text{ т/добу}$$

Годинна продуктивність підготовчого відділення  $Q_{n.zod.}$

$$Q_{zod} = \frac{Q_{n.c.}}{8}, \quad (3.2)$$

$$Q_{zod} = \frac{5,4}{8} = 0,67 \text{ т/год.}$$

Розрахунок кількості аеродинамічних сепараторів, що працюють в режимі калібрування зерна, будемо проводити за наступною формулою: [6, 7]

$$n_{\text{м}} = \frac{q_{\text{год}}}{q_{\text{м}}}, \quad (3.3)$$

де  $q_{\text{м}}$  – годинна продуктивність машини (згідно технічної характеристики), кг/год.

$$n_{\text{м}} = \frac{0,67}{2,5} = 0,3$$

Приймаємо один аеродинамічний сепаратор Макко-5.

Знаючи необхідну кількість машин та їх продуктивність (з технічної характеристики) ми можемо розрахувати час роботи машини на протязі доби за формулою [6]:

$$t_p = \frac{m_{\text{зм}}}{q_{\text{м}} \cdot n_{\text{м}}}, \quad (3.4)$$

де  $t_p$  – час роботи;

$m_{\text{зм}}$  – кількість сировини, що переробляється за добу (повинна відповідати добовій продуктивності), кг;

$q_{\text{м}}$  – добова продуктивність машини, кг/добу;

$n_{\text{м}}$  – кількість машин або установок.

$$t_p = \frac{5,4}{2,5 \cdot 1} = 2,2 \text{ год.}$$

Наступним етапом буде розрахунок ступеня завантаженості технологічного обладнання.

Ступінь завантаження технологічного устаткування визначають по формулі:

$$K_{зав} = \frac{m_{зм}}{(q_m \cdot n_m \cdot квч \cdot t_{зм})} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де  $K_{зав}$  – ступінь завантаження технологічного устаткування;

$m_{зм}$  – кількість сировини, що переробляється, на добу, кг;

$q_m$  – годинна продуктивність машини, кг/год;

$n_m$  – кількість машин певного виду;

$квч$  – коефіцієнт, що враховує використання часу зміни, 0,8;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$K_{зав} = \frac{5,4}{2,5 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 8} \cdot 100 = 33,7\%$$

### 3.2 Коротка характеристика обраного обладнання

Барабанний сепаратор SB є високопродуктивною зерноочисною машиною, призначеною для видалення із зернової маси домішок за допомогою решітних робочих органів і повітряного потоку [7]. Це обладнання застосовують для попереднього, первинного та вторинного очищення зернових, зернобобових, круп'яних культур, а також зерна кукурудзи.

Залежно від етапу технологічної обробки та відповідного налаштування сепаратора забезпечується видалення різних видів домішок. Під час попереднього очищення із зернової маси відокремлюються частини початків, стебел, каміння, пил та інші грубі домішки. На етапі первинного очищення, крім зазначених домішок, видаляються дрібні, щуплі та дроблені зерна основної культури. Під час вторинного очищення відбувається більш повне вилучення домішок, які відокремлюються повітряним потоком і пробивними решетами.

Зерновий матеріал надходить у завантажувальний бункер аспіраційного блока сепаратора. За допомогою регульованої розподільчої заслінки формується рівномірний потік зерна, який широким шаром проходить через аспіраційну

камеру. У цій зоні на матеріал діє інтенсивний повітряний потік, завдяки чому із зерна видаляються пил і легкі домішки. Важча частина домішок осідає на дні осадової камери і вивантажується розвантажувальним шнеком, тоді як найлегші частинки та пил відсмоктуються вентилятором і далі відокремлюються з повітряного потоку за допомогою системи «циклон – шлюзовий затвор» або фільтра.

Для роботи матеріалу лише через аспіраційний блок у нижній частині аспіраційної камери передбачено спеціальну засувку. Якщо вона закрита, зерно спрямовується в обертовий решітний барабан. Усередині барабана розміщені лопатки спеціальної конструкції, які забезпечують рівномірний розподіл зерна по поверхні решіт. Залежно від моделі сепаратора решітний барабан може мати 2, 3, 4 або 5 секцій решіт. Очищення решіт здійснюється у верхній частині циліндра за допомогою роликів [7].

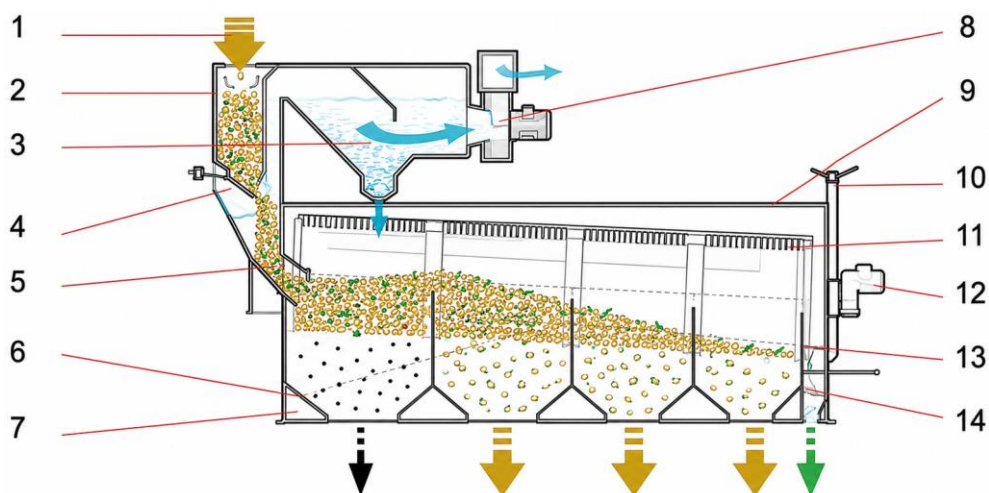


Рисунок 3.1 – Барабанний сепаратор SB

Сепаратор Макко-5 [12] широко застосовується як на великих елеваторних підприємствах, так і в невеликих фермерських господарствах, що здійснюють підготовку зерна продовольчого призначення. Основною перевагою цього обладнання є високоточне розділення зернової маси за питомою вагою. Однорідність насіння після сепарації може становити  $\pm 3\%$ , що дає змогу виділяти

більш повноцінні фракції зерна з підвищеними якісними показниками, зокрема за вмістом білка та клейковини.

За ефективністю розділення сепаратор Макко-5 перевищує низку традиційних сепараторів і калібрувальних машин. Він характеризується простою конструкцією, зручністю обслуговування, надійністю в роботі та можливістю швидкої інтеграції в уже діючі технологічні лінії очищення і калібрування зерна. Обладнання може працювати з насіннєвим матеріалом різного ступеня засміченості та вологості без істотного зниження продуктивності й якості сепарації. Додатковою перевагою є низька енергоємність, що підвищує економічну доцільність його використання.

Сепаратор Макко-5 забезпечує очищення та калібрування різних типів зерна кукурудзи.

Конструктивно-технологічна схема сепаратора Макко-5 з циклоном наведена на рисунку 3.2.

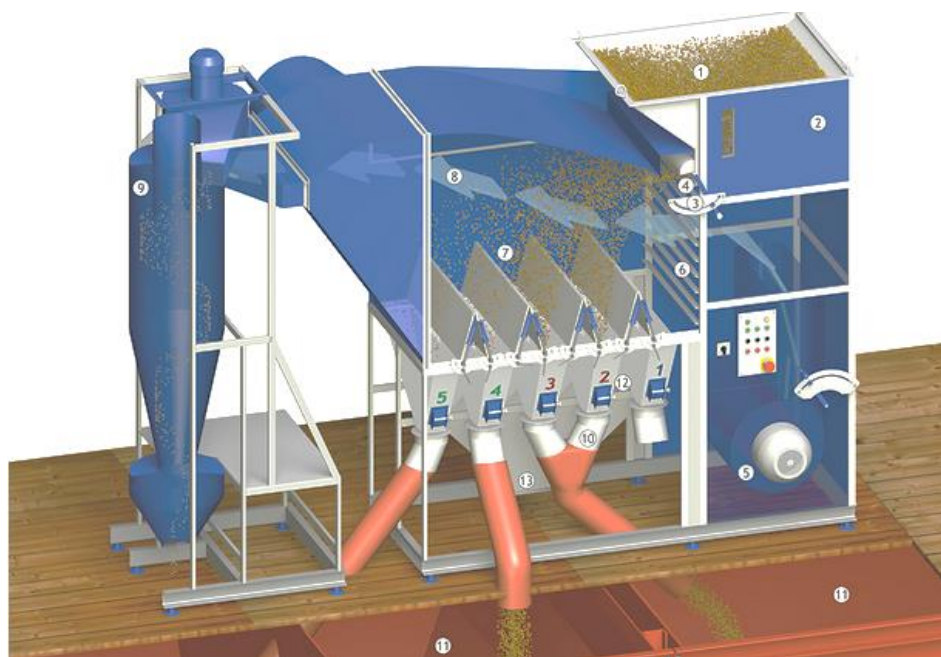


Рисунок 3.2 – Сепаратор Макко-5 з циклоном

- 1 – зерно; 2 – бункер живильник; 3 – регулятор подачі зерна; 4 – віброкоток;  
 5 – вентилятор високого тиску; 6 – генератор; 7 – камера сепарування;  
 8 – повітряні потоки; 9 – циклон; 10 – фракції насіння що потрапляють на подальшу обробку; 11 – приймальні бункери; 12 – зворотні фракції; 13 – бункери звороту

Принцип роботи сепаратора полягає у розділенні вихідної зернової суміші на окремі фракції за питомою вагою під дією регульованого повітряного потоку.

Для наочності на рисунку 3.3 наведено схему розділення зерна в сепараторі Макко-5. Із наведеної схеми видно, що у фракції № 2 та № 3 відводиться насіння з більшою питомою вагою, яке характеризується кращими якісними показниками та може бути використане для подальшої переробки або насіннєвих цілей.

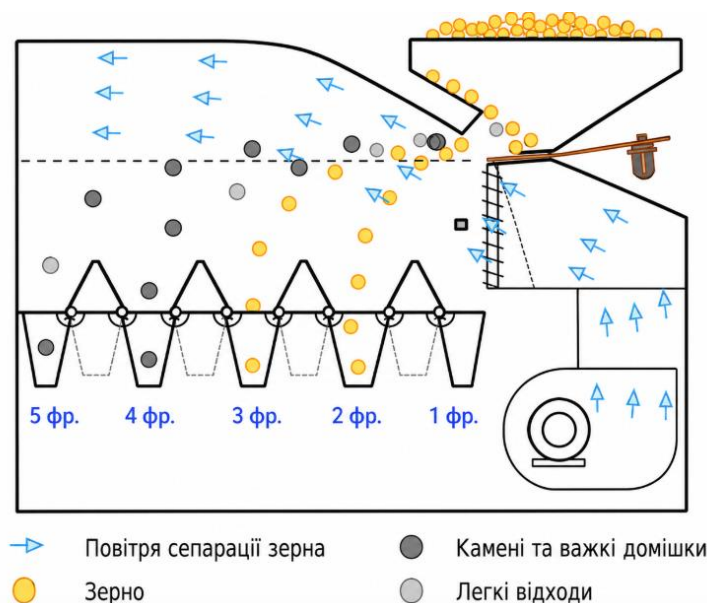


Рисунок 3.3 – Технологічна схема роботи сепаратора Макко-5

Зерно 1 надходить у бункер-живильник 2, після чого за допомогою регулятора подачі 3 рівномірно спрямовується у віброкоток 4. У цій зоні відбувається розпушення зернової маси та її рівномірний розподіл по товщині перед надходженням у камеру сепарування 7 [6].

У камері сепарування 7 зернова маса розшаровується та розділяється за питомою вагою. Цей процес відбувається під дією повітряних потоків 8, які створюються вентилятором високого тиску 5 і формуються струминним генератором 6. Завдяки цьому повноцінне, важче насіння відокремлюється від легших, щуплих, пошкоджених зернівок та домішок.

Після завершення процесу сепарування насіння розподіляється на окремі фракції 10 і надходить у приймальні бункери 11 або направляється безпосередньо

на фасування в мішки. У разі потреби високоточного калібрування частина матеріалу через зворотні фракції 12 спрямовується до бункера повернення 13, звідки повторно подається в завальну яму та далі – у бункер-живильник 2 для повторного сепарування [2].

Циклон 9 призначений для вловлювання пилу, легких домішок і дрібнодисперсних частинок, які надходять разом із вихідною сировиною в процесі сепарування. Його використання покращує санітарний стан виробничого приміщення та зменшує запиленість повітря.

### 3.4 Розрахунок площ та компоновання обладнання основних виробничих приміщень

Компоновання виробничого приміщення цеху з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи виконують відповідно до послідовності технологічного процесу, прийнятої у технологічному розділі роботи. Згідно з удосконаленою схемою, зерно після обмолоту кукурудзяних початків проходить первинне очищення, зважування, повторне очищення, калібрування на аеродинамічному сепараторі Makko-5, накопичення у бункерах, протруювання, дозування, фасування і подальше передавання до складу тарного зберігання .

Компоновання обладнання в цеху повинно забезпечувати прямолінійний або максимально короткий рух зернового матеріалу без зустрічних потоків. Це зменшує кількість транспортних операцій, знижує травмування насіння та полегшує контроль технологічного процесу. Обладнання доцільно розміщувати за ходом технологічного процесу у такій послідовності: молотарка кукурудзяних початків МКП-30, бункер відходів, повітряний сепаратор РЗ-БАБ, бункерні ваги, проміжний бункер, барабанний сепаратор SB, аеродинамічний сепаратор Makko-5, бункери відкаліброваних фракцій, протруювач Petkus СТ25, дозатор, фасувальне місце, транспортер для передавання мішків у складську зону.

Під час компоновання необхідно передбачити вільні проходи для обслуговування і ремонту обладнання. Для основних проходів у виробничій зоні

приймають ширину не менше 1,2 м, а для проходів між окремими машинами та будівельними конструкціями – не менше 0,8 – 1,0 м. Біля башмаків норій проходи повинні бути передбачені з трьох сторін, шириною не менше 0,7 м. Такі рішення забезпечують доступ персоналу до обладнання, можливість огляду, очищення, регулювання і ремонту машин.

Окрему увагу приділяють розміщенню сепаратора Макко-5, оскільки саме він є основним елементом модернізованої ділянки калібрування. Відповідно до технологічного розділу, продуктивність Макко-5 у режимі калібрування становить 2,5 т/год, габаритні розміри – 2350×2400×1210 мм, потужність – 0,55 кВт, маса – 800 кг. Порівняно з Petkus K-531 сепаратор Макко-5 має менші габарити, нижчу масу і значно меншу встановлену потужність, що полегшує його розміщення в існуючому виробничому приміщенні.

Площу виробничого приміщення визначають з урахуванням площі, зайнятої обладнанням, проходів для обслуговування, зон накопичення сировини і готових фракцій, місця фасування, транспортних комунікацій та резерву на монтажньо-ремонтні операції.

Загальну площу виробничого приміщення можна визначити за формулою:

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{обл}} + F_{\text{обсл}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{нак}} + F_{\text{доп}}, \quad (3.6)$$

де  $F_{\text{заг}}$  – загальна площа виробничого приміщення, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{обл}}$  – площа, безпосередньо зайнята технологічним обладнанням, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{обсл}}$  – площа зон обслуговування обладнання, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{тр}}$  – площа транспортних проходів і комунікацій, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{нак}}$  – площа для бункерів, накопичення фракцій та фасування, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{доп}}$  – допоміжна площа на монтаж, ремонт, щити керування та резерв, м<sup>2</sup>.

Площу, зайняту обладнанням, визначають за габаритними розмірами машин:

$$F_{обл} = \sum(L_i \cdot B_i), \quad (3.7)$$

де  $L_i$  – довжина одиниці обладнання, м;

$B_i$  – ширина одиниці обладнання, м.

Для обладнання, габарити якого в роботі не наведено, площу прийнято орієнтовно з урахуванням типових компоувальних рішень для зерноочисних і насінневих ліній (таблиця 3.1). Основний розрахунок деталізовано для ділянки модернізації, тобто для сепаратора Макко-5, оскільки саме він замінює Petkus K-531 і визначає зміну компоування калібрувальної ділянки.

Таблиця 3.1 – Орієнтовний розрахунок площі, зайнятої обладнанням

| №                      | Обладнання                             | Габаритні розміри, м | Кількість, шт. | Площа одиниці, м <sup>2</sup> | Загальна площа, м <sup>2</sup> |
|------------------------|----------------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1                      | Молотарка кукурудзяних початків МКП-30 | 3,0×1,5              | 1              | 4,50                          | 4,50                           |
| 2                      | Бункер для відходів                    | 1,5×1,5              | 1              | 2,25                          | 2,25                           |
| 3                      | Повітряний сепаратор РЗ-БАБ            | 2,5×1,5              | 1              | 3,75                          | 3,75                           |
| 4                      | Бункерні ваги                          | 1,5×1,5              | 1              | 2,25                          | 2,25                           |
| 5                      | Проміжний бункер                       | 1,8×1,8              | 1              | 3,24                          | 3,24                           |
| 6                      | Барабанний сепаратор SB                | 2,5×1,5              | 1              | 3,75                          | 3,75                           |
| 7                      | Аеродинамічний сепаратор Макко-5       | 2,35×2,40            | 1              | 5,64                          | 5,64                           |
| 8                      | Бункери для фракцій                    | 1,5×1,5              | 2              | 2,25                          | 4,50                           |
| 9                      | Протруювач Petkus СТ25                 | 2,0×1,2              | 1              | 2,40                          | 2,40                           |
| 10                     | Дозатор і місце фасування              | 2,0×1,5              | 1              | 3,00                          | 3,00                           |
| 11                     | Транспортери та норії, умовно          | -                    | -              | -                             | 6,00                           |
| Разом площа обладнання |                                        |                      |                |                               | 41,28                          |

З урахуванням проходів, зон обслуговування, накопичення та резерву площу приміщення приймаємо з коефіцієнтом компоновання  $K=2,3$ . Такий коефіцієнт враховує, що фактична площа цеху повинна бути більшою за сумарну площу обладнання через необхідність організації робочих проходів, місць для ремонту, транспортування мішків, доступу до приводів, бункерів, норій і аспіраційних вузлів.

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{обл}} \cdot K, \quad (3.8)$$

$$F_{\text{заг}} = 41,28 \cdot 2,3 = 94,94 \text{ м}^2.$$

Отже, розрахункова площа виробничого приміщення становить приблизно:

$$F_{\text{заг}} \approx 95 \text{ м}^2.$$

Для зручності компоновання обладнання, забезпечення нормативних проходів і можливості подальшого технічного обслуговування приймаємо виробниче приміщення прямокутної форми розміром:

$$12 \cdot 8 = 96 \text{ м}^2.$$

Така площа забезпечує можливість розміщення основного технологічного обладнання в одну послідовну лінію із виділенням зон приймання, очищення, калібрування, протруювання, фасування та передавання продукції на склад.

Прийнята площа виробничого приміщення  $96 \text{ м}^2$  є достатньою для розміщення модернізованої лінії підготовки насіннєвого зерна кукурудзи. Обладнання доцільно розташувати вздовж поздовжньої осі приміщення, що забезпечує послідовний рух зерна від обмолоту до фасування. Такий варіант компоновання зменшує довжину транспортних комунікацій, скорочує кількість перевантажень і сприяє зниженню механічного травмування насіння.

Зону калібрування доцільно розмістити після барабанного сепаратора SB, оскільки саме після повторного очищення зернова маса надходить на сепаратор Makko-5. Біля сепаратора необхідно передбачити вільний доступ до завантажувального пристрою, випускних патрубків фракцій, органів регулювання повітряного потоку та приводу. Це важливо для налаштування режимів калібрування, контролю якості фракцій і своєчасного очищення робочих органів.

Протруювач і дозатор слід розміщувати в кінці технологічної лінії, безпосередньо перед зоною фасування. Це дозволяє уникнути повторного транспортування вже обробленого насіння і зменшити ризик пошкодження або змішування фракцій. Зона фасування повинна мати достатню площу для встановлення мішків, короточасного накопичення розфасованої продукції та передавання її на піддони або до складу тарного зберігання.

Отже, для модернізованої технологічної лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи раціонально прийняти виробниче приміщення площею 96 м<sup>2</sup> з орієнтовними габаритами 12×8 м (рисунок 3.4). Таке компонування забезпечує послідовність технологічного процесу, можливість безпечного обслуговування обладнання, достатні проходи для персоналу, умови для фасування продукції та резерв площі для монтажу і ремонту обладнання.

У модернізованій технологічній лінії передбачено встановлення аеродинамічного сепаратора Makko-5, який замінює калібрувальну машину Petkus K-531. Згідно з технологічним розділом, габаритні розміри сепаратора Makko-5 становлять 2350×2400×1210 мм, тобто його власна висота дорівнює 1,21 м. Однак фактична висота приміщення повинна враховувати не лише висоту сепаратора, а й висоту проміжних бункерів, завантажувальних і розвантажувальних патрубків, аспіраційних повітропроводів, норій, самопливів, а також простір для монтажу та обслуговування обладнання.

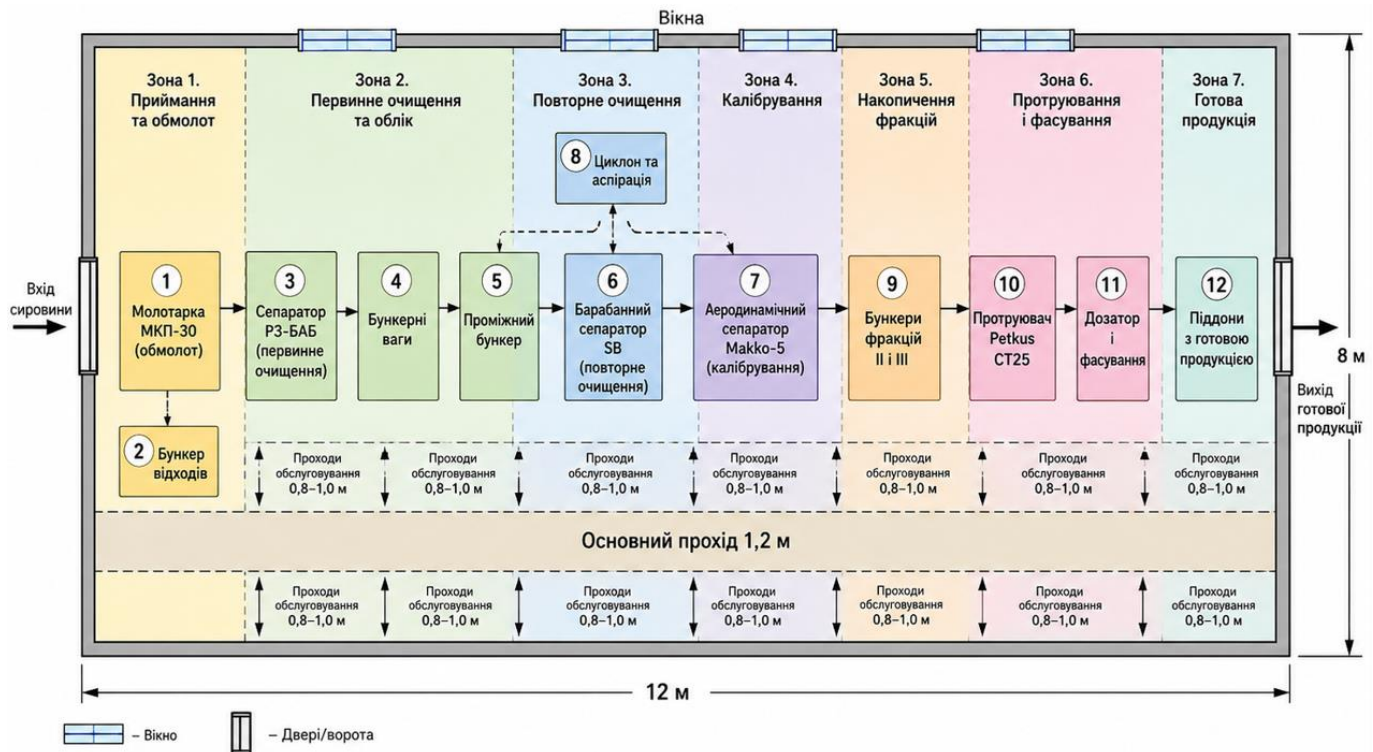


Рисунок 3.4 – Виробниче приміщення цеху з виробництва насіннєвого зерна кукурудзи

Висоту приміщення можна обґрунтувати за формулою:

$$H_{пр} = H_{obl} + H_{зав} + H_{ком} + H_{рез}, \quad (3.9)$$

де  $H_{пр}$  – прийнята висота виробничого приміщення, м;

$H_{obl}$  – максимальна висота основного технологічного обладнання, м;

$H_{зав}$  – висота зони завантаження, бункерів, патрубків і самопливів, м;

$H_{ком}$  – висота, необхідна для розміщення аспіраційних і транспортних комунікацій, м;

$H_{рез}$  – монтажний і експлуатаційний резерв, м.

Для даної технологічної лінії приймаємо  $H_{obl} = 2,4$  м, з урахуванням висоти сепараторів, бункерів, дозувального та допоміжного обладнання;  $H_{зав} = 1,0$  м – для розміщення завантажувальних горловин, самопливів і проміжних патрубків;

$H_{ком} = 1,0 \text{ м}$  – для аспіраційних повітропроводів, вентиляційних каналів і електрокомунікацій;  $H_{рез} = 0,6 \text{ м}$  – як резерв для монтажу, ремонту і безпечного обслуговування.

Тоді:

$$H_{np} = 2,4 + 1,0 + 1,0 + 0,6 = 5,0 \text{ м.}$$

Отже, мінімально обґрунтована технологічна висота приміщення становить близько 5,0 м. Однак з урахуванням перспективи модернізації, можливого встановлення циклона, аспіраційних трубопроводів, збільшення висоти бункерів і забезпечення безпечного обслуговування обладнання доцільно прийняти висоту виробничого приміщення  $H_{np} = 6,0 \text{ м}$ .

Таким чином, для виробничого приміщення цеху з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи приймаємо висоту 6,0 м. Така висота є обґрунтованою, оскільки забезпечує розміщення модернізованої технологічної лінії з сепаратором Макко-5, бункерами, норіями, самопливами, аспіраційною системою та вентиляційними комунікаціями. Крім того, вона створює необхідні умови для безпечного обслуговування обладнання, зменшення запиленості робочої зони, виконання ремонтних робіт і подальшого технічного переоснащення цеху.

#### Висновки за розділом

Виконано перевірочний технологічний розрахунок модернізованої лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи. Встановлено, що річна продуктивність лінії після удосконалення становить 1165,5 т/рік, а за умови роботи підприємства протягом 259 днів добова продуктивність складає 4,5 т/добу. За результатами розрахунку для забезпечення заданої продуктивності достатньо встановлення одного аеродинамічного сепаратора Макко-5.

Обґрунтовано вибір сепаратора Макко-5 як основного обладнання модернізованої ділянки калібрування. Його використання дозволяє розділяти зернову масу за питомою вагою та аеродинамічними властивостями, що сприяє виділенню більш повноцінних фракцій насіння. Наявність циклона у складі обладнання забезпечує вловлювання пилу, легких домішок і дрібнодисперсних частинок, що покращує санітарний стан виробничого приміщення.

Проведено розрахунок площі виробничого приміщення з урахуванням габаритів обладнання, проходів для обслуговування, зон накопичення, фасування, транспортних комунікацій і монтажно-ремонтного резерву. Сумарна площа, зайнята обладнанням, становить 41,28 м<sup>2</sup>, а з урахуванням коефіцієнта компоновання 2,3 розрахункова площа цеху складає близько 95 м<sup>2</sup>. Для зручності компоновання прийнято приміщення розміром 12×8 м, загальною площею 96 м<sup>2</sup>.

Запропоноване компоновання обладнання відповідає послідовності технологічного процесу: обмолот, первинне очищення, зважування, повторне очищення, калібрування, накопичення фракцій, протруювання, дозування та фасування. Таке розміщення забезпечує прямолінійний рух зернового матеріалу, зменшує кількість перевантажень, знижує ризик механічного травмування насіння та полегшує контроль роботи лінії.

Обґрунтовано висоту виробничого приміщення. Мінімальна технологічна висота з урахуванням обладнання, бункерів, самопливів, аспіраційних повітропроводів і монтажного резерву становить близько 5,0 м. Для забезпечення зручного обслуговування, можливості встановлення циклона, аспіраційних комунікацій і подальшої модернізації прийнято висоту приміщення 6,0 м.

Отже, прийняті проєктні рішення щодо вибору обладнання, розрахунку продуктивності, площі та висоти виробничого приміщення є обґрунтованими. Вони забезпечують ефективну роботу модернізованої ділянки калібрування, раціональне розміщення обладнання, безпечне обслуговування лінії та створюють умови для отримання якісного насіннєвого зерна кукурудзи.

#### 4 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР

Впровадження елементів системи НАССР при підготовці насіннєвого зерна кукурудзи є доцільним заходом, спрямованим на забезпечення стабільної якості, безпечності, простежуваності та контрольованості технологічного процесу. Хоча насіннєве зерно кукурудзи не є харчовим продуктом безпосереднього споживання, принципи НАССР можуть бути використані як ефективний інструмент управління ризиками на всіх етапах його післязбиральної підготовки.

Під час розроблення елементів НАССР для цеху з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи необхідно враховувати особливості технологічної лінії. Згідно з прийнятою технологічною схемою, процес включає обмолот кукурудзяних початків, первинне очищення на сепараторі РЗ-БАБ, зважування, повторне очищення на барабанному сепараторі SB, калібрування на аеродинамічному сепараторі Макко-5, накопичення фракцій, протруювання, фасування та передавання готової продукції на склад. Саме на цих етапах можуть виникати біологічні, хімічні, фізичні та технологічні небезпечні чинники, які здатні негативно впливати на якість і посівну придатність насіння.

Основою системи НАССР є попередні програми-передумови. Для цеху з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи до таких програм належать санітарне утримання приміщень, боротьба зі шкідниками, технічне обслуговування обладнання, калібрування засобів вимірювання, контроль якості води та повітря, управління відходами, навчання персоналу, простежуваність партій, контроль постачальників, порядок поводження з протруйниками та засобами індивідуального захисту.

З урахуванням особливостей технологічного процесу доцільно виділити кілька критичних або контрольних точок. Для насіннєвого зерна кукурудзи критичними є ті етапи, де відхилення параметрів може призвести до істотного погіршення якості насіння, зниження схожості, втрати фракційної однорідності або хімічного забруднення (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Контрольні точки при підготовці насіннєвого зерна кукурудзи

| №    | Етап                 | Контрольований показник                                 | Граничне або рекомендоване значення             | Метод контролю                                        | Коригувальні дії                                                           |
|------|----------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 2                    | 3                                                       | 4                                               | 5                                                     | 6                                                                          |
| КТ-1 | Приймання сировини   | Вологість, засміченість, наявність плісняви і шкідників | Приймання лише придатних партій                 | Відбір проб, огляд, лабораторний аналіз               | Відокремити непридатну партію, направити на додаткове сушіння або очищення |
| КТ-2 | Сушіння              | Вологість насіння, температура сушіння                  | Вологість готового насіння не більше 14 %       | Вологомір, термометр, журнал сушіння                  | Змінити режим сушіння, повторно перевірити партію                          |
| КТ-3 | Очищення             | Вміст смітної та зернової домішки                       | Мінімальний вміст домішок перед калібруванням   | Візуальний контроль, лабораторний аналіз              | Повторити очищення, відрегулювати сепаратор                                |
| КТ-4 | Калібрування Makko-5 | Чистота, фракційний склад, схожість                     | II–III фракції з чистотою близько 99,5 – 99,6 % | Відбір проб, контроль фракцій, лабораторне визначення | Відрегулювати повітряний потік, повторити калібрування                     |
| КТ-5 | Протруювання         | Норма внесення препарату, рівномірність покриття        | Відповідно до інструкції виробника препарату    | Контроль дозатора, журнал обробки                     | Зупинити процес, перевірити дозатор, відокремити партію                    |

| 1    | 2          | 3                                               | 4                                          | 5                                                        | 6                                                                            |
|------|------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| КТ-6 | Фасування  | Маса мішка, маркування,<br>ідентифікація партії | Мішки по 20 кг,<br>правильне<br>маркування | Зважування,<br>перевірка етикетки                        | Перефасувати,<br>виправити маркування                                        |
| КТ-7 | Зберігання | Температура, вологість,<br>стан тари, шкідники  | Сухе, чисте,<br>вентильоване<br>приміщення | Періодичний огляд,<br>термометрія,<br>контроль вологості | Провітрити склад,<br>ізолювати пошкоджені<br>партії, провести<br>дезінсекцію |

Окрему увагу слід приділити ділянці калібрування, оскільки вона є основною в межах модернізації технологічної лінії. Встановлення аеродинамічного сепаратора Макко-5 дозволяє розділяти зернову масу за аеродинамічними властивостями і питомою вагою, що сприяє виділенню більш повноцінних фракцій. За результатами технологічного розділу, після калібрування на Макко-5 отримуються II та III фракції з чистотою 99,6 % і 99,5 % відповідно, а схожість II фракції досягає 92 %, що на 8 % вище порівняно з вихідним матеріалом. Тому контроль режиму роботи сепаратора є важливим елементом системи якості.

### Висновки за розділом

Таким чином, впровадження елементів системи НАССР у цеху з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи дозволяє не лише контролювати безпечність і якість продукції, а й підвищити стабільність технологічного процесу. Основними результатами впровадження є своєчасне виявлення небезпечних чинників, зменшення ризику псування і зараження зерна, недопущення змішування фракцій, підвищення простежуваності партій, покращення якості протруювання та забезпечення стабільних посівних показників готового насіння. Особливо важливим є контроль ділянки калібрування, оскільки саме вона визначає однорідність насіннєвого матеріалу, його чистоту, схожість і придатність до точного висіву.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Розробка карти безпеки праці для оператора лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи

Розробка карти безпеки праці для оператора лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи є необхідним елементом організації безпечних умов праці у виробничому цеху. Технологічний процес включає обмолот кукурудзяних початків, первинне очищення зерна на сепараторі РЗ-БАБ, повторне очищення на барабанному сепараторі СВ, калібрування на аеродинамічному сепараторі Макко-5, протруювання, фасування та передавання готової продукції на склад. На кожному з цих етапів оператор може зазнавати впливу рухомих частин обладнання, зернового пилу, шуму, вібрації, електричного струму, хімічних речовин під час протруювання, а також небезпек, пов'язаних із переміщенням мішків і роботою транспортного обладнання.

Карта безпеки праці призначена для інформування оператора про основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, порядок безпечного виконання робіт, необхідні засоби індивідуального захисту, дії у разі аварійних ситуацій та вимоги до контролю безпечності обладнання. Її доцільно розміщувати безпосередньо у виробничому приміщенні біля робочого місця оператора або на інформаційному стенді цеху.

Запропонована карта безпеки (рисунок 5.1) праці дозволяє систематизувати основні вимоги до безпечної роботи оператора лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи. Найбільш небезпечними етапами є обмолот, очищення, калібрування, протруювання та фасування, оскільки вони пов'язані з рухомими частинами обладнання, зерновим пилом, шумом, хімічними речовинами та фізичним навантаженням. Дотримання вимог карти безпеки, використання засобів індивідуального захисту, контроль справності обладнання, аспірації та проходів забезпечує зниження ризику травмування, покращує умови праці й підвищує надійність роботи технологічної лінії.



Рисунок 5.1 – Картка безпеки праці для оператора лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи

## 5.2 Утилізація відходів виробництва насіннєвого зерна кукурудзи

Під час підготовки насіннєвого зерна кукурудзи утворюються різні види відходів, які необхідно своєчасно видаляти з технологічної лінії, сортувати, тимчасово зберігати та передавати на подальше використання або утилізацію. Удосконалена технологічна схема передбачає обмолот кукурудзяних початків, первинне очищення на сепараторі РЗ-БАБ, повторне очищення на барабанному сепараторі СВ, калібрування на сепараторі Макко-5, протруювання, фасування та передавання готового насіння на склад, тому основні відходи формуються саме на етапах обмолоту, очищення, калібрування, аспірації, протруювання і пакування.

Найбільшу частку відходів під час підготовки насіннєвої кукурудзи становлять рослинні рештки: стрижні початків, частинки обгорток, листків, дрібні органічні домішки, щупле та некондиційне зерно. Такі відходи доцільно розділяти за походженням і якісним станом. Рослинні рештки без ознак плісняви та хімічного забруднення можуть бути використані як вторинна сировина: для компостування, виробництва органічних добрив, підстилки для тварин або як паливна біомаса.

Особливу увагу слід приділяти відходам, що утворюються після калібрування на сепараторі Макко-5. За технологічними даними, після сепарації найбільш придатними для насіннєвого використання є II та III фракції, які мають чистоту 99,6 % і 99,5 % відповідно, тоді як IV та V фракції характеризуються нижчими показниками якості та містять значну частку некондиційного матеріалу. Такі фракції не рекомендується використовувати як насіннєві, однак після лабораторного контролю їх можна спрямовувати на кормові або технічні потреби, якщо вони не мають ознак пліснявіння, ураження шкідниками чи хімічного забруднення.

Відходи, які контактували з протруйниками, повинні збиратися окремо від органічних відходів і некондиційного зерна. До них належать залишки препаратів, забруднена тара, просипи протруєного насіння, використані засоби індивідуального захисту або матеріали для прибирання розливів. Такі відходи не можна використовувати на кормові цілі, компостувати або змішувати з іншими

органічними рештками. Їх необхідно зберігати у закритій промаркованій тарі та передавати спеціалізованим організаціям, які мають право на поводження з відповідними видами відходів (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Схема організації потоків відходів у цеху

| Потік відходів               | Місце утворення        | Місце тимчасового накопичення          | Подальше використання або утилізація                |
|------------------------------|------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Грубі рослинні рештки        | Молотарка МКП-30       | Бункер відходів біля молотарки         | Подрібнення, біопаливо, підстилка або компостування |
| Легкі домішки                | РЗ-БАБ, SB, Makko-5    | Ємності для органічних домішок         | Компостування або утилізація                        |
| Некондиційні зернові фракції | Makko-5                | Окремі бункери або мішки з маркуванням | Кормові чи технічні потреби після контролю          |
| Зерновий пил                 | Аспірація, циклон      | Пилозбірник або бункер циклона         | Утилізація, недопущення накопичення у приміщенні    |
| Хімічно забруднені відходи   | Протруювач Petkus CT25 | Закрита промаркована тара              | Передавання спеціалізованій організації             |
| Пакувальні матеріали         | Дозування і фасування  | Контейнери для тари                    | Повторне використання або переробка                 |

Для ефективного управління відходами у цеху доцільно запровадити систему роздільного збирання. Біля кожної ділянки технологічної лінії необхідно передбачити промарковані ємності: для органічних відходів, некондиційного зерна, пилу, пакувальних матеріалів і хімічно забруднених відходів. Це дозволить уникнути змішування безпечних органічних відходів із небезпечними, спростити їх облік і забезпечити правильне подальше використання (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – шляхи утилізації відходів виробництва насіннєвого зерна кукурудзи

Отже, утилізація відходів виробництва насіннєвого зерна кукурудзи повинна ґрунтуватися на принципах роздільного збирання, мінімізації утворення відходів,

повторного використання органічної сировини та безпечного поводження з хімічно забрудненими матеріалами. Найбільш доцільними напрямками є використання стрижнів і рослинних решток як біомаси або компостної сировини, передавання щуплого та некондиційного зерна на кормові чи технічні потреби після контролю, регулярне видалення зернового пилу через аспіраційну систему, а також спеціалізована утилізація відходів, пов'язаних із протруюванням. Такий підхід дозволяє зменшити екологічне навантаження, покращити санітарний стан цеху, підвищити безпеку праці та забезпечити раціональне використання побічних продуктів технологічного процесу.

### Висновки за розділом

Обґрунтовано необхідність розроблення карти безпеки праці для оператора лінії з підготовки насіннєвого зерна кукурудзи. Запропонована карта безпеки праці систематизує основні вимоги до безпечного виконання робіт, використання засобів індивідуального захисту, контролю справності обладнання, аспіраційної системи та вільності проходів. Її впровадження дозволяє знизити ризик травмування оператора, покращити умови праці та підвищити надійність експлуатації технологічної лінії.

Проаналізовано основні види відходів, що утворюються під час підготовки насіннєвого зерна кукурудзи. Встановлено, що основна частина відходів має органічне походження і може бути використана як вторинна сировина за умови відсутності плісняви та хімічного забруднення.

Отже, запропоновані заходи з охорони праці та утилізації відходів забезпечують підвищення безпечності виробничого процесу, зменшення екологічного навантаження, покращення санітарного стану цеху та раціональне використання побічної сировини при підготовці насіннєвого зерна кукурудзи.

## 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### 6.1 Вихідні дані до розрахунку та обґрунтування доцільності удосконалення

Удосконалення технологічної лінії передбачає заміну калібрувальної машини Petkus K-531 на аеродинамічний сепаратор Makko-5, який встановлюється після барабанного сепаратора СВ і працює в режимі калібрування насіннєвого зерна кукурудзи за аеродинамічними властивостями. Після калібрування фракції зерна надходять у бункери, далі – на протруювання, дозування, фасування у мішки по 20 кг і передавання на склад тарного зберігання. Розрахунки проводили у відповідності до вихідних даних які представлені у таблиці 6.1 та 6.2.

Таблиця 6.1 – Порівняльна характеристика обладнання

| Показник                                    | Petkus K-531   | Makko-5        |
|---------------------------------------------|----------------|----------------|
| Продуктивність у режимі калібрування, т/год | 2,0            | 2,5            |
| Потужність електродвигуна, кВт              | 4,0            | 0,55           |
| Маса обладнання, кг                         | 1300           | 800            |
| Габаритні розміри, мм                       | 3060×2100×2210 | 2350×2400×1210 |

Згідно з технологічним розділом, сепаратор Makko-5 має вищу продуктивність, меншу встановлену потужність і меншу масу порівняно з Petkus K-531, що обґрунтовує доцільність його встановлення в модернізованій лінії.

### 6.2 Розрахунок річної продуктивності лінії

Річна продуктивність обладнання визначається за формулою:

$$Q_p = P \cdot T_{зм} \cdot D \cdot K_g, \quad (6.1)$$

де  $Q_p$  – річна продуктивність, т/рік;

$P$  – продуктивність обладнання, т/год;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, год;

$D$  – кількість робочих днів на рік;

$K_g$  – коефіцієнт використання робочого часу.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку

| Показник                                             | Прийняте значення            |
|------------------------------------------------------|------------------------------|
| Тривалість зміни                                     | 8 год                        |
| Кількість робочих днів на рік                        | 120 днів                     |
| Коефіцієнт використання робочого часу                | 0,90                         |
| Річний фонд роботи обладнання                        | 864 год                      |
| Тариф на електроенергію                              | 8,0 грн/кВт·год              |
| Орієнтовна вартість обладнання Макко-5               | 350000 грн                   |
| Вартість циклона, аспірації, монтажу та налагодження | 204500 грн                   |
| Загальні капітальні вкладення                        | 554500 грн                   |
| Нормативний строк амортизації                        | 10 років                     |
| Витрати на ремонт і технічне обслуговування          | 5 % від капітальних вкладень |
| Умовна додаткова маржа від 1 т кондиційного насіння  | 6000 грн/т                   |

Для сепаратора Макко-5:

$$Q_p = 2,5 \cdot 8 \cdot 120 \cdot 0,90 = 2160 \text{ т/рік.}$$

Для Petkus K-531:

$$Q_p = 2,0 \cdot 8 \cdot 120 \cdot 0,90 = 1728 \text{ т/рік.}$$

Приріст річної продуктивності становить:

$$\Delta Q = 2160 - 1728 = 432 \text{ т/рік.}$$

Відносне збільшення продуктивності:

$$\Delta Q_{\%} = \frac{432}{1728} \cdot 100 = 25,0 \%$$

Отже, встановлення сепаратора Макко-5 дає змогу підвищити пропускну здатність ділянки калібрування на 432 т/рік, або на 25 %.

### 6.3 Розрахунок витрат електроенергії

Питомі витрати електроенергії визначаємо за формулою:

$$E_{num} = \frac{N}{P}, \quad (6.2)$$

де  $E_{num}$  – питомі витрати електроенергії, кВт·год/т;

$N$  – потужність електродвигуна, кВт;

$P$  – продуктивність, т/год.

Для Petkus K-531:

$$E_{num} = \frac{4,0}{2,0} = 2,00 \text{ кВт·год/т}$$

Для Макко-5:

$$E_{num} = \frac{0,55}{2,5} = 0,22 \text{ кВт·год/т.}$$

Економія електроенергії на 1 т зерна:

$$\Delta E_{num} = 2,00 - 0,22 = 1,78 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Річні витрати електроенергії при переробці 2160 т зерна:

$$E_{Petkus} = 2160 \cdot 2,00 = 4320 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

$$E_{Makko} = 2160 \cdot 0,22 = 475,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Річна економія електроенергії:

$$\Delta E = 4320 - 475,2 = 3844,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Грошова економія:

$$E_{el} = 3844,8 \cdot 8,0 = 30758,4 \text{ грн}.$$

Отже, за рахунок меншої встановленої потужності сепаратора Макко-5 річна економія електроенергії становить близько 30,8 тис. грн.

#### 6.4 Розрахунок виходу кондиційного насіння

За результатами калібрування на сепараторі Макко-5 найбільш придатними для насіннєвих цілей є II та III фракції. Їх частка становить відповідно 73 % і 13 %, тобто сумарний вихід кондиційних фракцій дорівнює 86 %. Чистота цих фракцій становить 99,6 % і 99,5 %, а схожість – 92 % і 89 % відповідно.

Для розрахунку приймаємо, що до модернізації вихід кондиційного насіння після калібрування становив орієнтовно 78 %, а після встановлення Макко-5 – 86 %.

Вихід кондиційного насіння до модернізації:

$$Q_{к1} = 2160 \cdot 0,78 = 1684,8 \text{ т.}$$

Вихід кондиційного насіння після модернізації:

$$Q_{к2} = 2160 \cdot 0,86 = 1857,6 \text{ т.}$$

Додатковий вихід кондиційного насіння:

$$\Delta Q_{к} = 1857,6 - 1684,8 = 172,8 \text{ т.}$$

Отже, за рахунок якіснішого калібрування додатково можна отримати близько 172,8 т кондиційного насіннєвого матеріалу на рік.

## 6.5 Розрахунок додаткового прибутку

Додатковий прибуток за рахунок збільшення виходу кондиційного насіння визначаємо за формулою:

$$П_{доо} = \Delta Q_{к} \cdot M, \quad (6.3)$$

де  $П_{доо}$  – додатковий прибуток, грн;

$\Delta Q_{к}$  – додатковий вихід кондиційного насіння, т;

$M$  – умовна додаткова маржа від реалізації 1 т кондиційного насіння, грн/т.

$$П_{доо} = 172,8 \cdot 6000 = 1036800 \text{ грн.}$$

Отже, додатковий прибуток за рахунок підвищення виходу кондиційного насіння становить 1036,8 тис. грн/рік.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунку капітальних вкладень

| Стаття витрат                                       | Сума, грн |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| Придбання сепаратора Макко-5                        | 350000    |
| Циклон та елементи аспіраційної системи             | 80000     |
| Транспортні витрати                                 | 20000     |
| Монтаж і пусконаладжувальні роботи                  | 64500     |
| Підключення до електромережі та місцеві комунікації | 25000     |
| Проектні та організаційні витрати                   | 15000     |
| Разом капітальні вкладення                          | 554500    |

Загальні капітальні вкладення у модернізацію ділянки калібрування становлять  $K = 554500$  грн.

#### 6.6. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування визначаємо за формулою:

$$A = \frac{K}{T}, \quad (6.4)$$

де  $A$  – річна сума амортизації, грн/рік;

$K$  – капітальні вкладення, грн;

$T$  – строк амортизації, років.

$$A = \frac{554500}{10} = 55450 \text{ грн/рік.}$$

Річні амортизаційні відрахування становлять 55,45 тис. грн.

#### 6.7 Розрахунок витрат на ремонт і технічне обслуговування

Витрати на ремонт і технічне обслуговування приймаємо у розмірі 5 % від капітальних вкладень:

$$B_{\text{рем}} = K \cdot 0,05, \quad (6.5)$$

$$B_{\text{рем}} = 554500 \cdot 0,05 = 27725 \text{ грн/рік.}$$

Отже, річні витрати на ремонт і технічне обслуговування становлять 27,7 тис. грн.

#### 6.8 Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$E_p = \Pi_{\text{доп}} + E_{\text{ел}} - A - B_{\text{рем}}, \quad (6.6)$$

де  $E_p$  – річний економічний ефект, грн;

$\Pi_{\text{доп}}$  – додатковий прибуток від збільшення виходу кондиційного насіння, грн;

$E_{\text{ел}}$  – економія витрат на електроенергію, грн;

$A$  – амортизаційні відрахування, грн;

$B_{\text{рем}}$  – витрати на ремонт і технічне обслуговування, грн.

$$E_p = 1036800 + 30758,4 - 55450 - 27725 = 984383,4 \text{ грн.}$$

Отже, річний економічний ефект від удосконалення ділянки калібрування становить близько  $E_p \approx 984,4$  тис.грн/рік.

#### 6.9 Розрахунок строку окупності капітальних вкладень

Строк окупності визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_p}, \quad (6.7)$$

де  $T_{ок}$  – строк окупності, років;

$K$  – капітальні вкладення, грн;

$E_p$  – річний економічний ефект, грн.

$$T_{ок} = \frac{554500}{984383,4} = 0,56 \text{ року.}$$

Отже, строк окупності капітальних вкладень становить близько 0,56 року, тобто приблизно 6 – 7 місяців.

#### 6.10 Розрахунок рентабельності капітальних вкладень

Рентабельність капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$R = \frac{E_p}{K} \cdot 100, \quad (6.8)$$

$$R = \frac{984383,4}{554500} \cdot 100 = 177,5 \text{ \%}.$$

Отже, рентабельність капітальних вкладень становить 177,5 %, що свідчить про високу економічну доцільність запропонованої модернізації.

Узагальнені техніко-економічні показники проєкту представлені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Узагальнені техніко-економічні показники проєкту

| Показник                                                | Значення           |
|---------------------------------------------------------|--------------------|
| Продуктивність ділянки до модернізації                  | 2,0 т/год          |
| Продуктивність ділянки після модернізації               | 2,5 т/год          |
| Приріст продуктивності                                  | 25,0 %             |
| Розрахунковий річний обсяг переробки після модернізації | 2160 т/рік         |
| Питомі витрати електроенергії до модернізації           | 2,00 кВт·год/т     |
| Питомі витрати електроенергії після модернізації        | 0,22 кВт·год/т     |
| Річна економія електроенергії                           | 3844,8 кВт·год     |
| Грошова економія електроенергії                         | 30,8 тис. грн/рік  |
| Вихід кондиційного насіння до модернізації              | 78 %               |
| Вихід кондиційного насіння після модернізації           | 86 %               |
| Додатковий вихід кондиційного насіння                   | 172,8 т/рік        |
| Капітальні вкладення                                    | 554,5 тис. грн     |
| Амортизація                                             | 55,45 тис. грн/рік |
| Витрати на ремонт і технічне обслуговування             | 27,7 тис. грн/рік  |
| Річний економічний ефект                                | 984,4 тис. грн/рік |
| Строк окупності                                         | 0,56 року          |
| Рентабельність капітальних вкладень                     | 177,5 %            |

#### Висновки за розділом

Проведені розрахунки підтверджують техніко-економічну доцільність удосконалення ділянки калібрування. Встановлення сепаратора Makko-5 підвищує продуктивність з 2,0 до 2,5 т/год, зменшує питомі витрати електроенергії з 2,00 до 0,22 кВт·год/т та збільшує вихід кондиційного насіння до 86 %. Очікуваний річний економічний ефект становить 984,4 тис. грн, а строк окупності – 0,56 року, що підтверджує ефективність запропонованої модернізації.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проаналізовано діючу технологічну лінію НВФГ «Світ», яка включає обмолот кукурудзяних початків, первинне очищення, зважування, повторне очищення, калібрування, протруювання, фасування та зберігання готової продукції. Визначено, що основним недоліком існуючої лінії є недостатня ефективність калібрування на машині Petkus K-531, що обмежує можливість отримання вирівняних насіннєвих фракцій із високими якісними показниками.

Запропоновано модернізувати ділянку калібрування шляхом встановлення аеродинамічного сепаратора Makko-5. Його продуктивність становить 2,5 т/год, що на 25 % більше порівняно з Petkus K-531, а потужність складає лише 0,55 кВт проти 4,0 кВт у базової машини. Це дозволяє підвищити продуктивність лінії та суттєво зменшити енерговитрати.

Доведено, що використання сепаратора Makko-5 покращує якість насіннєвого матеріалу. Після калібрування отримано найбільш придатні для насіннєвих цілей II та III фракції з чистотою 99,6 % і 99,5 % відповідно, а схожість II фракції становить 92 %, що на 8 % вище порівняно з вихідним матеріалом. Це підтверджує технологічну ефективність запропонованого рішення.

Виконано проєктні розрахунки модернізованої лінії. Річна продуктивність після удосконалення становить 1165,5 т/рік, добова – 4,5 т/добу. Для забезпечення заданої продуктивності достатньо встановлення одного сепаратора Makko-5. Розрахункова площа виробничого приміщення прийнята 96 м<sup>2</sup> з габаритами 12×8 м, а висота – 6,0 м, що забезпечує раціональне розміщення обладнання, проходи для обслуговування, аспіраційні комунікації та резерв для подальшої модернізації.

Розроблено елементи системи НАССР для процесу підготовки насіннєвого зерна кукурудзи. Їх впровадження дозволяє контролювати небезпечні чинники, запобігати змішуванню фракцій, забезпечувати простежуваність партій, підвищувати якість протруювання та стабільність посівних показників готового насіння.

У розділі охорони праці розроблено карту безпеки праці для оператора лінії. Вона враховує основні ризики: рухомі частини обладнання, зерновий пил, шум, вібрацію, електробезпеку, хімічні речовини під час протруювання та фізичне навантаження під час фасування. Її впровадження сприяє зниженню ризику травмування та покращенню умов праці.

Розглянуто питання утилізації відходів виробництва. Встановлено, що рослинні рештки, стрижні початків, легкі домішки та некондиційне зерно можуть бути використані як вторинна сировина за умови відсутності хімічного забруднення. Відходи, пов'язані з протруюванням, повинні збиратися окремо та передаватися спеціалізованим організаціям.

Техніко-економічні розрахунки підтвердили ефективність запропонованої модернізації. Встановлення сепаратора Макко-5 дозволяє збільшити вихід кондиційного насіння до 86 %, зменшити питомі витрати електроенергії з 2,00 до 0,22 кВт·год/т, отримати очікуваний річний економічний ефект 984,4 тис. грн і забезпечити строк окупності 0,56 року.

Отже, удосконалення ділянки калібрування є технічно, технологічно та економічно обґрунтованим рішенням.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. ДСТУ 4525:2006. Кукурудза. Технічні умови [Електронний ресурс]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007.
2. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості [Електронний ресурс]. Київ: Держстандарт України, 2003.
3. ДБН В.2.2-8:2025. Підприємства, будівлі і споруди для зберігання та переробки зерна. Основні положення [Електронний ресурс]. Київ: Мінрозвитку громад та територій України, 2025.
4. НПАОП 15.0-1.01-17. Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна [Електронний ресурс]. Київ: Міністерство соціальної політики України, 2017.
5. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи керування безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга [Електронний ресурс]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
6. Кирпа М. Я. Післязбиральна обробка та зберігання насіння кукурудзи : наук.-практ. посіб. / М. Я. Кирпа ; НААН України, Ін-т зернових культур. Дніпро : Роял Принт, 2018. 216 с.
7. Бабич М. Б. Проектування зернопереробних підприємств : навч. посіб. / М. Б. Бабич, Н. В. Черно. Одеса: ОНАХТ, 2016. 280 с.
8. Гайдай В. А. Проектування зернопереробних підприємств з основами САПР : навч. посіб. / В. А. Гайдай. Київ: ЦУЛ, 2014. 240 с.
9. Соколов В. П. Проектування підприємств з переробки зерна: навч. посіб. / В. П. Соколов. Київ: Аграрна освіта, 2011. 250 с.
10. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини. Коротка інженерна методика розрахунків : навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, В. О. Швидя. Київ : Агроосвіта, 2012. 184 с.
11. Сергєєв О. А. Автоматизація технологічних процесів зернопереробних підприємств : підручник / О. А. Сергєєв. Харків : ХДУХТ, 2015. 310 с.

12. Березова О. В. Основи проектування харчових підприємств: навч. посіб. / О. В. Березова. Одеса : ОНАХТ, 2016. 190 с.
13. Клименко М. О. Проектування підприємств харчової промисловості: навч. посіб. / М. О. Клименко. Київ: Центр учбової літератури, 2011. 400 с.
14. Зайцев О. В. Проектування об'єктів харчової промисловості: навч. посіб. / О. В. Зайцев. Суми: Університетська книга, 2014. 256 с.
15. Федоров В. Г. Основи проектування харчових підприємств / В. Г. Федоров, Ю. М. Лузан. Київ: Вища школа, 2005. 280 с.
16. Вершиняк В. М. Технологічне обладнання зернопереробних підприємств : підручник / В. М. Вершиняк. Вінниця: ВНТУ, 2015. 312 с.
17. Соколов В. П. Обладнання підприємств з переробки зерна: навч. посіб. / В. П. Соколов, М. С. Гапонюк. Київ: Аграрна освіта, 2010. 380 с.
18. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна: Навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.
19. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.
20. Бурдо О. Г. Інноваційні технології переробки зернової сировини: навч. посіб. / О. Г. Бурдо. Одеса: Поліграф, 2013. 244 с.
21. Кобець, А. С., Сокол, С. П., Пугач, А. М., Чурсінов, Ю. О., Півоваров (2022). Землеробська механіка. Т. 4. Інноваційні технології харчових виробництв.
22. Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2012). Principles of seed science and technology (4th ed.). Springer Science & Business Media.
23. Holah, J., & Lelieveld, H. L. (2011). Hygienic Design of Food Factories. Woodhead Publishing.
24. Кирпа М. Я. Сучасні напрями післязбиральної обробки та підготовки насіння кукурудзи / М. Я. Кирпа // Бюлетень Інституту зернового господарства НААНУ. 2016. № 11. С. 15 – 22.

25. Вечера М. В. Оцінка ефективності роботи сучасних машин для протруювання насіння / М. В. Вечера, О. М. Ткаченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2018. Вип. 7 (121). С. 84 – 91.

26. Ковальов В. Г. Оптимізація параметрів аспіраційних систем у цехах хімічної обробки насіннєвого матеріалу / В. Г. Ковальов // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах АПК. 2019. № 4. С. 45 – 51.

27. Півоваров, О. А., & Ковальова, О. С. (2011). Дослідження адсорбційних властивостей зерна при використанні водних розчинів, оброблених контактною нерівноважною плазмою. Вопросы химии и химической технологии, 5, 18 – 21.

28. Сергєєв О. А. Автоматизація процесу потокового дозування суспензій при інкрустації насіння / О. А. Сергєєв, В. М. Пащенко // Наукові праці ОНАХТ. 2017. Вип. 81 (2). С. 112 – 118.