

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

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технологічного процесу післязбиральної обробки зернових культур з модернізацією підлогової сушарки»

Виконав: студент 3 курсу, групи 3Зк-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Васильчук Валерій Валерійович
(прізвище та ініціали)
Керівник доцент Петриченко Є.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

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

Освітня програма _____ «Бакалавр»
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР
 «__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

_____ Васильчуку Валерію Валерійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення технологічного процесу післязбиральної обробки зернових культур з модернізацією підлогової сушарки»

керівник проекту Петриченко Євгеній Анатолійович, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 01 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/129

2. Строк подання студентом проекту _____ 18.05.2026 р. _____

3. Вихідні дані до проекту: загальні відомості; прийоми очищення та впорядкування матеріалу; агрегати й комплекси для очищення зерна; способи сушіння; технологічні основи сушіння

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

5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; особливості технологічного процесу післязбиральної обробки зернових культур; напрями удосконалення технологічного процесу післязбиральної обробки зернових культур; будова та принцип роботи пристрою; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

Васильчук В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Петриченко Є.А.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР	5
1.1 Загальні відомості	5
1.2 Прийоми очищення та впорядкування матеріалу	7
1.3 Агрегати й комплекси для очищення зерна	13
1.4 Способи сушіння	16
1.5 Технологічні основи сушіння	22
1.6 Зерносушарки шахтного типу	25
1.7 Аналіз машин і установок для післязбирального оброблення зерна	28
2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	30
2.1 Визначення розмірів і вихідних даних для теплового розрахунку сушарки	30
2.2 Визначення обсягу вологи, що підлягає випаровуванню	31
2.3 Розрахункове визначення кількості повітря та теплоти.....	31
2.4 Будова та особливості роботи зерносушильної установки.....	33
2.5 Обчислення параметрів ковшового елеватора	34
2.6 Визначення параметрів клинопасового приводу	38
2.7 Обчислення параметрів циклона для відокремлення пилу.....	41
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	45
3.1 Правила безпечного обслуговування зерноочисних машин і комплексів	45
3.2 Санітарні вимоги у виробничих умовах	47
3.3 Дослідження небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації зерноочисного обладнання	48
3.4 Комплекс заходів захисту працівників під час роботи із зерноочисними агрегатами та комплексами	48
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	51
4.1 Розрахунок економічних показників річної результативності виробництва зерна	51
ВИСНОВОК.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

1.1 Загальні відомості

Процес післязбиральної обробки зерна охоплює низку послідовних операцій, до яких належать попереднє та первинне очищення, сушіння, вторинне очищення і спеціальна обробка. Ці етапи виконуються послідовно на окремих машинах або в складі поточкових ліній зерноочисних агрегатів (ЗАВ) та зерноочисно-сушильних комплексів (КЗС).

На рис. 1.1 подано схему технологічного процесу післязбиральної обробки насіння зернових культур, а також продовольчого і фуражного зерна. Залежно від початкової якості та цільового призначення зерна можливе застосування різних технологічних варіантів його обробки, найчастіше скорочених. Наприклад, у деяких випадках зерновий матеріал може оброблятися без сушіння, первинного очищення, пневмосортування та окремих інших операцій.

Очищення — це процес розділення зернової суміші на окремі фракції, які відрізняються між собою певними фізико-механічними властивостями, зокрема розмірами, щільністю та іншими показниками. Залежно від етапу технологічного процесу очищення поділяють на попереднє, первинне та вторинне.

Попереднє очищення застосовують для щойно зібраного зерна з вологістю до 35 %. У результаті цієї операції в очищеному зерні зменшується вміст найбільших і найдрібніших домішок — приблизно з 15...20 до 3 %. Одночасно видаляється частина зайвої вологи, поліпшується сипкість зернової маси, полегшується виконання наступних операцій, особливо сушіння, а також підвищується стійкість зерна до самозігрівання під час тимчасового зберігання насипом.

Первинному очищенню піддають щойно зібране зерно з вологістю не більше 22 %, а також попередньо очищене і висушене зерно з вологістю не вище 18 %. Під час цієї операції із зернової маси видаляють великі, легкі та дрібні домішки, а також биті й щуплі зернівки. Унаслідок цього вміст домішок зменшується приблизно з 8...10 до 1...3 %. Після проведення первинного очищення вихідний зерновий ворох поділяється на три основні фракції: очищене зерно, фуражні відходи та домішки.

Вторинне очищення призначене для відокремлення домішок, близьких до зерна за розмірами, а також важковідокремлюваного насіння бур'янів. У результаті виконання

цієї операції зерновий матеріал розділяється на насінневу фракцію, зерно другого сорту, а також легкі, дрібні та великі домішки.

Продовольче і фуражне зерно зазвичай проходить попереднє та первинне очищення, тоді як насінневе зерно, крім цих етапів, додатково підлягає ще й вторинному очищенню.

Сушіння — це технологічний процес зниження вологості зерна від початкового рівня до кондиційного, який становить 14...17 %. Саме завдяки цьому забезпечується можливість тривалого зберігання зерна без втрати його якості. Окрім запобігання псуванню зернової маси, сушіння сприяє кращому видаленню домішок під час очищення, вирівнює механічні властивості зерна і полегшує його переміщення самопливними трубами.



Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу післязбиральної обробки насіння зернових культур, продовольчого та фуражного зерна

Сортування зерна — це процес поділу очищеного від домішок зерна на окремі фракції, які відрізняються між собою хлібопекарськими властивостями (для продовольчого зерна) або посівними якостями (для насіннєвого матеріалу).

Калібрування — це розподіл очищеного насіння на фракції залежно від їх розмірів. Завдяки калібруванню насіння підготовляють до висіву сівалками точного висіву або до подальшої переробки зерна на борошно чи крупу.

1.2 Прийоми очищення та впорядкування матеріалу

Очищення та сортування зерна ґрунтуються на відмінностях між компонентами зернового вороху за розмірами, аеродинамічними характеристиками, густиною, формою, станом поверхні, електропровідністю, забарвленням та іншими фізичними ознаками.

Під час попереднього очищення допустимі втрати зерна у відходах не повинні перевищувати 0,05 %, рівень дроблення — 0,1 %, а повнота виділення сміттєвих домішок має бути не нижчою за 50 %. За первинного очищення втрати повноцінного зерна допускаються не більше 1,5 % у фуражних відходах і 0,05 % у домішках, дроблення — не більше 1 %, а ступінь виділення сміттєвих домішок має становити щонайменше 60 %. Під час вторинного очищення втрати насіння основної культури у відходах не повинні перевищувати 7 %, а дроблення — 0,8 %. Саме вторинне очищення має забезпечити доведення насіння до вимог I та II класів посівного стандарту, за яких чистота насіння становить відповідно 99 і 98 %, а схожість — 95 і 90 %.

З огляду на велику різноманітність властивостей зернової суміші застосовується багато способів її очищення. Одним із найпоширеніших є поділ насіння за розмірами. Будь-яка насінина за формою наближена до еліпсоїда, геометрія якого визначається трьома основними параметрами: товщиною, шириною та довжиною. Якщо розміри зерна істотно відрізняються від розмірів домішок, розділення за цією ознакою є цілком можливим.

За товщиною та шириною зерно розділяють на плоских або циліндричних решетах з отворами однакового розміру — видовженими чи круглими. Плоске решето встановлюють у решітному стані, який підвішують до рами горизонтально або під нахилом на пружинних чи шарнірних підвісках і приводять у коливальний рух за допомогою ексцентрика, кривошипа або колінчастого вала. Горизонтальні та похилі циліндричні решета монтують на підшипниках і надають їм обертового руху, а

вертикальні — одночасно обертального та коливального. Зерновий ворох подається на початок решета тонким шаром. Частинки переміщуються його поверхнею і багаторазово проходять над отворами. Якщо розміри зерен або домішок менші за розміри отворів, вони проходять крізь них і формують прохід, а більші частинки сходять із поверхні решета, утворюючи схід. Зерна, розміри яких близькі до розмірів отворів, можуть застрягати в них і порушувати процес розділення. Для запобігання цьому решета оснащують щітковими або кульковими очищувачами, які виштовхують чи вибивають застряглі зернини.

Якість очищення зерна на плоских решетах залежить від кута їх нахилу, частоти та амплітуди коливань, а на циліндричних — від частоти обертання та кута нахилу. За надто великих значень цих параметрів зернова суміш рухається поверхнею занадто швидко, унаслідок чого частина зерна не встигає пройти крізь отвори, а ефективність розділення знижується.

За товщиною насіння розділяють на решетах із видовженими отворами. Крізь такий отвір може пройти лише те зерно, товщина якого менша за ширину отвору. Довжина зернини при цьому значення не має, оскільки вона завжди менша за довжину самого отвору. Оскільки ширина зерна завжди більша за його товщину, то зерно, яке не пройшло крізь отвір за товщиною, тим більше не зможе пройти за шириною. Розміри отворів зазначаються на полях решета. За шириною насіння поділяють на решетах із круглими отворами: у цьому разі зерно проходить лише тоді, коли його ширина менша за діаметр отвору, а довжина і товщина не перешкоджають проходженню.

За довжиною насіння сортують у дискових або циліндричних трієрах. Циліндричний трієр являє собою сталевий циліндр, що обертається, з комірками на внутрішній поверхні та жолобом усередині по всій довжині. У жолобі розміщується шнек. Зерновий ворох подають на внутрішню поверхню циліндра, після чого частинки ковзають по ній і взаємодіють із комірками. Дрібне та коротке насіння повністю занурюється в комірки, тоді як довге — лише частково. Коли циліндр повертається на невеликий кут, із комірок випадають довгі зерна, а при подальшому повороті — короткі, які потрапляють у жолоб. Отже, принцип розділення за довжиною полягає в тому, що довгі зерна залишають комірки раніше, ніж короткі.

Для одночасного видалення з вороху довгих і коротких домішок застосовують два циліндри. Трієр для відділення коротких домішок обладнують дрібними комірками, а

для довгих — більшими. У комірки вівсюжного трієра потрапляє насіння основної культури, тоді як у комірки кукільного — короткі домішки. Під час обертання кукільного циліндра дрібні домішки підіймаються вище краю нерухомого жолоба, випадають у нього й видаляються шнеком, а насіння основної культури переміщується дном циліндра до виходу. Вівсюжний циліндр, навпаки, закидає зерно основної культури в жолоб, а довгі домішки сходять по дну. Для регулювання повноти виділення домішок жолоб повертають, змінюючи положення його верхньої кромки.

Частота обертання трієрного циліндра повинна бути такою, щоб усе зерно вчасно випадало з комірок. Якщо вона перевищує критичне значення, відцентрова сила утримуватиме частину насіння в комірках, через що точність поділу зернової маси на фракції погіршуватиметься. Зазвичай частота обертання трієрного циліндра перебуває в межах $35...50 \text{ хв}^{-1}$. Трієрні циліндри використовують у складних зерноочисних машинах, зерноочисних агрегатах і комплексах. Промисловість випускає циліндри з комірками діаметром 6,3; 8,5 і 11,2 мм для сортування зернових культур, а також 1,8; 2,8 і 3,5 мм — для виділення дрібного насіння.

Поділ насіння за аеродинамічними властивостями базується на тому, що під час руху в повітряному середовищі будь-яке тіло долає опір повітря, величина якого залежить від його форми, маси, розмірів та положення в потоці. Чим більший опір, тим повільніше падає тіло. Саме на цьому принципі побудовано виділення домішок і розділення зерна в горизонтальному або вертикальному повітряному потоці. Як правило, суміш вводять у потік повітря, створений вентилятором, або підкидають, змушуючи її рухатися в повітрі.

Повітряним потоком зернову суміш можна розділити лише за умови, що критичні швидкості зерен і домішок відрізняються. Для зернових культур критична швидкість перебуває в межах 8...17 м/с: для пшениці — 8...11,5 м/с, для вівса — 8,1...9,1 м/с, для гороху — 15,5 м/с. Для одного й того самого тіла неправильної форми це значення не є сталим, оскільки залежить від площі поверхні, на яку діє повітряний потік, а вона, у свою чергу, змінюється залежно від положення тіла щодо напрямку руху повітря. Наприклад, площа поверхні зернини пшениці буде найменшою, коли її поздовжня вісь збігається з напрямком потоку, і найбільшою — коли ця вісь розташована перпендикулярно до нього.

Поділ тіл за аеродинамічними ознаками здійснюють за допомогою

пневмосепараторів або аспіраційних систем, вбудованих у зерноочисні машини. Пневмосепаратори використовують переважно для попереднього очищення зерна, що надходить від комбайна. За допомогою повітряного потоку із зернової маси видаляють частинки соломи, полови, пил і насіння окремих бур'янів. Такі пристрої також застосовують для очищення плодів механізованого збирання. За принципом дії пневмосепаратори поділяються на три основні типи: пневмогравітаційні, пневмоімпульсні та пневмовідцентрові.

Пневмогравітаційні сепаратори з похилим або вертикальним повітряним потоком складаються з вентилятора, повітряного каналу, завантажувального пристрою, осадової камери та приймача для збору зерна. У таких сепараторах зерновий ворох подається в повітряний канал самопливом або переміщується впоперек каналу коливним решетом. Під дією повітряного потоку траєкторії руху частинок розщеплюються: важке зерно зберігає первинний напрям і надходить у приймач, а легкі домішки відхиляються та виносяться повітрям. У пневмогравітаційних сепараторах на частинку діють сила тяжіння та аеродинамічна сила, напрям якої змінюється залежно від напрямку повітряного потоку. Швидкість введення матеріалу в камеру сепарації зазвичай не перевищує 1...2 м/с, тому швидкість повітря повинна бути меншою за критичну швидкість зерна. Залежно від культури швидкість повітря в каналі регулюють зміною частоти обертання вентилятора або положенням заслінок.

У пневмоімпульсних сепараторах ворох викидається в камеру сепарації стрічковим або роторним металником. На частинки також діють сила тяжіння та аеродинамічна сила, проте швидкість введення матеріалу тут може бути значно вищою, що забезпечує частинкам запас кінетичної енергії для подолання опору повітря. Завдяки цьому значення співвідношення швидкостей може перевищувати одиницю. Збільшення швидкості повітря та швидкості вкидання дає змогу інтенсифікувати процес, однак водночас потребує збільшення розмірів сепараційної камери.

У пневмовідцентрових сепараторах ворох розкручується в камері розгону й подається в розподільну камеру. Повітряний потік, який засмоктується вентиляторами, взаємодіє з частинками, що рухаються по поверхні камери по обертовій траєкторії. Легкі домішки потік повітря відносить до вентилятора, а далі — в осадову камеру, тоді як зерно сходить до горловини та надходить у бункер. В одному з різновидів пневмосепаратора ворох розкручується гвинтовими жолобами, а потік повітря

спрямований униз до горловини повітропроводу-приймача. В іншому варіанті ворох обертає лопатевий ротор-розподільник, а повітряний потік спрямовується вгору.

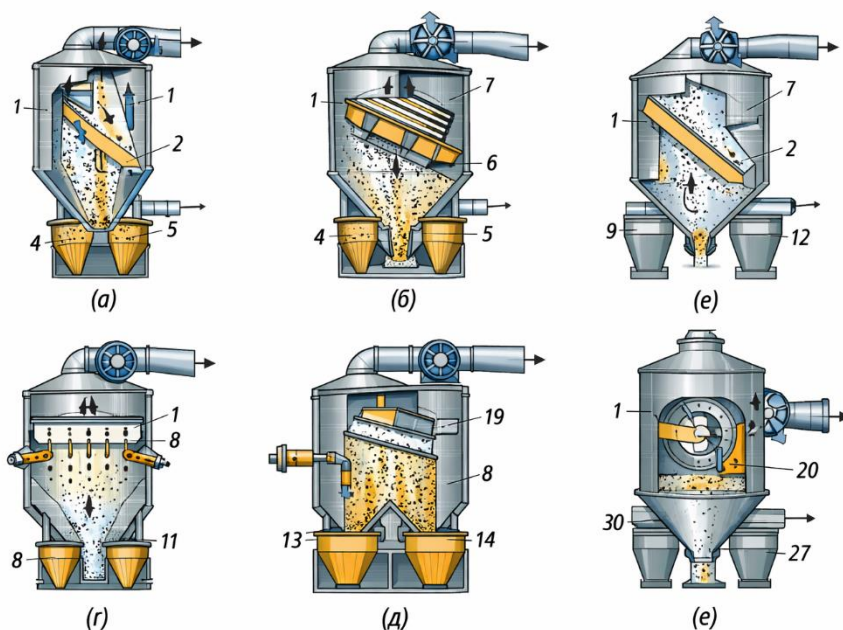


Рисунок 1.2 – Схеми пневмосепараторів: а, б, в — пневмогравітаційні; г, д — пневмоімпульсні; е — пневмовідцентрові; 1 — кожух; 2 — лопать; 3, 12 — бункери; 4, 5, 9, 27 — приймачі; 6 — крильчатка; 7, 19, 20, 28, 30 — вентилятори;

В обох зазначених варіантах повітряний потік омиває робочу перфоровану поверхню, яка має кільцеві канали для його проходження. У таких сепараторах на частинки зернового вороху одночасно діють сила тяжіння, аеродинамічна та відцентрова сили. Якщо надати частинкам обертального руху з певною кутовою швидкістю, можна підвищити швидкість повітряного потоку до таких значень, за яких параметр λ буде значно перевищувати 1. Оскільки камера сепарації має кільцеподібну форму, габаритні розміри пневмовідцентрових сепараторів можуть бути істотно меншими, ніж у пневмоімпульсних, за однакової пропускної здатності.

Розділення насіння за густиною в рідинних сепараторах або на пневматичних сортувальних столах дає змогу виділяти із зернового вороху найбільш життєздатне насіння, тобто здійснювати сортування за щільністю, або очищувати зерно від важковідокремлюваних домішок, наприклад дикої редьки із насіння ячменю, гречки та інших культур. У рідинних сепараторах використовують рідину з наперед заданою густиною, у якій важче насіння осідає на дно, а легше — спливає на поверхню. На пневматичних столах на зерновий шар одночасно впливають коливання та повітряний потік. Унаслідок цього зернова маса переходить у псевдозріджений стан, тобто набуває властивостей рідини: важкі частинки опускаються вниз, а легкі піднімаються вгору.

Розподіл насіння за станом поверхні та формою також широко застосовується в зерноочищенні. Насіння різних культур може мати гладеньку, шорстку, пористу, горбкувату поверхню, бути вкрите плівками чи пушком, а також відрізнятися формою — бути видовженим, кулястим або тригранним. Через це коефіцієнт тертя під час переміщення такого насіння по похилій поверхні буде різним. З урахуванням цих особливостей створені спеціальні пристрої з похилими фрикційними поверхнями: гірки, гвинтові сепаратори та фрикційні трієри.

Як правило, як фрикційну поверхню використовують похиле шорстке полотно, що рівномірно рухається вгору. Якщо на нього подавати зернову суміш, то частинки з меншим коефіцієнтом тертя, які слабше зчіплюються з поверхнею, скочуються вниз. Частинки, що мають краще зчеплення з полотном, навпаки, переміщуються вгору. У такий спосіб можна, наприклад, виділити вівсюг із вівса, відокремити клубочки насіння цукрових буряків від клубочків зі стебельцями, а також очистити насіння льону і конюшини.

Використовують також здатність шорсткого насіння утримувати на своїй поверхні порошок тонкого помелу. Для цього насіння змішують із порошком, що містить залізо, а потім пропускають суміш через електромагнітну очисну машину. Магнітний барабан притягує порошок, а разом із ним — і шорсткі насінини. Довгі та округлі насінини можна розділяти за допомогою пристрою з гвинтовою поверхнею, який ще називають змійкою. Насіння подається рівномірним тонким потоком на верхню частину цієї поверхні. Довгі зерна, наприклад овес, через значний опір ковзають по гвинтовій поверхні та сходять з нижнього витка в лоток. Округлі зерна, такі як вика або кукулі, рухаються швидше, скочуються до зовнішнього краю спіралі та випадають за її межі. Насіння бур'янів тригранної форми виділяють за допомогою решета з трикутними отворами.

Розділення насіння за пружністю здійснюється на відбивних столах, на які насіння скидають зверху. Після удару об поверхню стола насіння з різними пружними властивостями відбивається по-різному та рухається різними траєкторіями, що і дає змогу його розділяти.

Сортування насіння за кольором виконується на установках, оснащених фотоелементами. Насіння проходить повз фотоелементи дискретним потоком. Світлі зерна викликають у фотоелементі появу електричного струму, у результаті чого

формується сигнал і відкривається клапан на шляху руху цих зерен до відповідного бункера. Темні зерна, навпаки, клапан спрямовує в інший канал.

За електропровідністю, діелектричною проникністю та іншими електричними властивостями насіння можна розділяти в електричному полі. Для цього застосовують електричні, коронні та діелектричні методи поділу.

Для очищення й сортування зерна використовують безрешітні, повітряно-решітні, комбіновані та спеціальні машини.

Зерноочисні машини поділяють на машини загального призначення, які використовують для очищення зерна і насіння зернових, технічних, бобових культур і трав, а також на машини спеціального призначення, до яких належать електромагнітні машини, гірки, пневматичні сортувальні столи та інші. За способом очищення їх класифікують на повітряні, повітряно-решітні, трієрні та повітряно-решітно-трієрні.

За призначенням розрізняють машини для попереднього, первинного та вторинного очищення. Машини першої групи використовують для очищення зерна, що надходить від комбайна перед сушінням або закладанням на зберігання. Машини первинного очищення застосовують для обробки зерна після сушіння, а вторинного — для остаточного очищення та сортування насіннєвого матеріалу. Виробляються як пересувні, так і стаціонарні зерноочисні машини: пересувні здебільшого використовують на відкритих токах і складах, а стаціонарні — у потокових лініях зерноочисних агрегатів і комплексів.

1.3 Агрегати й комплекси для очищення зерна

Високоякісна післязбиральна обробка зерна різного призначення з мінімальними витратами праці та коштів досягається за умови використання потокових технологій, що реалізуються на зерноочисних агрегатах типу ЗАВ і зерноочисно-сушильних комплексах типу КЗС.

Машини та обладнання, що входять до складу агрегатів і комплексів, узгоджені між собою за продуктивністю, а керування ними здійснюється дистанційно з пультів управління. На відміну від зерноочисних агрегатів, зерноочисно-сушильні комплекси типу КЗС додатково оснащуються сушильним відділенням із шахтними або барабанними сушарками. У маркуванні таких комплексів до назви додається відповідно літера Ш або Б: наприклад, КЗС-25Ш, КЗС-25Б.

Для обробки зерна насіннєвого призначення доцільніше застосовувати

комплекси, обладнані шахтними сушарками, оскільки вони забезпечують більш точне регулювання режиму сушіння та надійніше зберігають посівні якості насіння.

Разом із тим агрегати й комплекси, що перебувають в експлуатації, мають низку недоліків, які ускладнюють їх ефективне використання. На підприємстві були розроблені вдосконалені агрегати ЗАВ-20У і ЗАВ-40У, які, порівняно з моделями ЗАВ-20 та ЗАВ-40, мають вищу продуктивність, забезпечують розвантаження всіх видів транспорту та характеризуються збільшеною місткістю приймального бункера.

Для гарантованого очищення насіння до показників першого класу зерноочисні агрегати можуть додатково комплектуватися насіннеочисними приставками. Також передбачається можливість приєднання сушарок. Крім того, ведеться проєктування зерноочисних агрегатів продуктивністю 50 і 100 т/год.

Одним із перспективних напрямів комплексної механізації післязбиральної обробки зерна та підготовки насіння є впровадження у сільськогосподарське виробництво зернонасіннеочисних блок-модулів. Необхідність їх застосування зумовлена потребою у зниженні капітальних вкладень, а також у максимальному скороченні строків монтажу та будівництва. Водночас це дає можливість широко використовувати вже наявні складські приміщення, криті токи, навіси та інші виробничі споруди. На підприємстві розроблено основну номенклатуру таких модулів.

Таблиця 1.1 — Технічна характеристика зернонасіннеочисних блок-модулів і насіннеочисних приставок до агрегатів ЗАВ

Марка	Виробник-ніс, т/год	Встановлена потужність, кВт	Габаритні розміри, м	Маса, кг
Насіння очисні приставки:				
СП-10Б	До 15	48	5х6,6х10,8	13730
СП-10В	До 15	32	4,2х6,6х10,8	9520
Блок-модулі: насінняочисні:				
ЕМС-2,5	2,5	26	9х5х до 6	6700
БМС-5	5	42,2	9х5х до 6	7500
ЕМС-10	10	53,2	9х5х до 6	9815
продовольчо-фуражні:				
БМФ-25	25	18,4	5х3,6х до 10	4600
БМФ-50	50	36;8	10х3,6х до 10	9000
БМП-5	5	11,8	6х5х6	4012
БМП-10	10	18,5	9х5х8	7120
БМП-20	20	23	9х5х8	10125

Проблему механізації післязбиральної обробки зерна та підготовки насінневого

матеріалу можна розв'язати шляхом реконструкції наявних у господарствах зерноочисних агрегатів типу ЗАВ і комплексів типу КЗС. ВАТ ГСКБ «Зерноочистка» пропонує комплект машин та обладнання для модернізації агрегатів ЗАВ-20 і ЗАВ-40, що дає змогу підвищити їх продуктивність відповідно до 25 і 50 т/год, а також покращити якість очищення та підготовки зерна.

Завод спільно з фірмою «Petkus Wutha» (Німеччина) здійснює реконструкцію агрегатів ЗАВ-20, ЗАВ-25, ЗАВ-40 і комплексів КЗС-20, КЗС-25, КЗС-40. У ході такої модернізації машини ЗАВ-10.30.000, ЗВС-20 і ЗАВ-10.90.000 замінюються технікою цієї фірми, зокрема зерноочисною машиною К527А, насіннеочисною машиною К547А та трієрним блоком К236А.

1.3.1 Зерноочисний агрегат ЗАВ-40

Зерноочисний агрегат ЗАВ-40 призначений для очищення та сортування продовольчого і насінневого зерна пшениці, жита, ячменю, вівса, кукурудзи, рису-сирцю, гороху, проса, гречки та соняшнику. Під час очищення зерна продовольчого призначення його якість доводять до базисних кондицій, а при підготовці насінневого матеріалу — за чистотою і вмістом бур'янових домішок до вимог державного стандарту на насіння. Виняток становить матеріал, для очищення якого необхідне застосування спеціальних машин, зокрема пневмосортувальних столів і насіннеочисних повітряно-решітних машин.

До складу агрегату входять: автомобілепідйомник ГУАР-15Н(П), дві повітряно-решітні зерноочисні машини ЗВС-20, два відцентрово-пневматичні сепаратори ЗАВ-40.02000, два трієрні блоки ЗАВ-10.90000, дві норії 2НПЗ-20, два шнеки для відходів, зернопроводи, проміжний шнек, блок бункерів з опорами та запірною арматурою, а також пульт керування із системою дистанційного автоматичного контролю рівня матеріалу в секціях бункерного блока.

Усі машини та обладнання змонтовані на блоці бункерів, які одночасно виконують функцію ємностей для проміжного зберігання зерна.

Обладнання та транспортуючі пристрої агрегату розміщені у вигляді двох технологічних ліній, що дає можливість одночасно обробляти зерно у двох незалежних потоках без змішування матеріалу.

Для очищення та сортування насінневого матеріалу, який містить важковідокремлювані домішки, у комплекті з агрегатом може застосовуватися

насіннеочисна приставка СП-10.

Монтаж агрегату здійснюють в укритті, яке збирається з металевих конструкцій, що входять до комплекту, відповідно до типового проекту № 812-22.

Обслуговування агрегату здійснює механік. Його рекомендується використовувати в зонах 4–7, 13–17, 19.

Технічна характеристика

Продуктивність за годину чистої роботи під час очищення пшениці з вологістю до 20 % і засміченістю до 16 %, т:

- продовольче зерно — 40;
- насіннєве зерно — 15.

Кількість електродвигунів — 14.

Загальна потужність електродвигунів — 44,3 кВт.

Максимальна глибина заглиблення приймків — 2 м.

Місткість, м³:

- завальної ями — 25;
- резервного бункера — 31;
- бункера очищеного зерна — $32,8 \times 2$;
- секції для відходів — 32,8.

Габаритні розміри основної споруди — $13600 \times 8400 \times 10400$ мм.

Маса комплекту машин і обладнання — 22320 кг.

1.4 Способи сушіння

Сушінням називають процес, спрямований на зниження вологості матеріалів. Для сільськогосподарської продукції сушіння має надзвичайно важливе народногосподарське значення, оскільки є однією з ключових ланок у системі заходів, що забезпечують збереження та поліпшення якості зерна.

Завдання сушіння не обмежується лише видаленням вологи. Одночасно це і технологічний процес, у ході якого змінюються структурно-механічні, технологічні та біологічні властивості матеріалу. Наприклад, під час переробки сухого зерна на борошномельних підприємствах підвищується вихід борошна і зменшуються витрати енергії на його виробництво. Крім того, таке борошно краще зберігається. Сушіння насіннєвого зерна також позитивно впливає на його посівні властивості, зокрема підвищує схожість насіння. Зменшення маси сільськогосподарської продукції внаслідок

сушіння додатково сприяє зниженню транспортних витрат.

У сільському господарстві найбільшого поширення набули теплові сушильні установки. У процесі сушіння в них відбуваються складні тепломасообмінні явища. Для визначення оптимальних режимів сушіння необхідно враховувати цілий комплекс чинників, серед яких насінневі, біологічні, технологічні, енергетичні та інші особливості матеріалу. Розуміння тепломасообмінних процесів, що супроводжують сушіння, дає змогу правильно встановити його найбільш ефективний режим.

Різноманіття способів сушіння, які застосовують на практиці, базується на двох основних принципах: видалення вологи без зміни або зі зміною її агрегатного стану. На першому принципі, тобто на зневодненні без переходу вологи в інший агрегатний стан, ґрунтуються механічні та сорбційні способи сушіння. До механічних способів належать фільтрація, пресування і центрифугування. Такий підхід, наприклад, використовують під час вилучення соків із плодів та ягід методом фільтр-пресування.

За сорбційного способу вологий матеріал безпосередньо контактує з гігроскопічними речовинами, такими як хлористий кальцій та інші подібні сполуки. Цей метод доцільний для сушіння матеріалів, до яких не можна застосовувати термічні способи, наприклад насіння квасолі, сої та деяких інших культур.

Другий принцип сушіння передбачає використання теплоти для випаровування й видалення вологи з матеріалу, тому його називають тепловим сушінням. Залежно від способу підведення теплоти до об'єкта сушіння розрізняють конвективний, кондуктивний (контактний), радіаційний, сублімаційний та електричний способи.

За конвективного способу теплота передається матеріалу шляхом конвекції від сушильного агента, яким може бути нагріте повітря або суміш нагрітого повітря з топковими газами. У цьому випадку вологий матеріал одночасно піддається впливу теплоти та пари, що містяться в сушильному агенті, тобто проходить гіротермічну обробку. Саме цей спосіб є найпоширенішим у сільськогосподарському виробництві.

Кондуктивним, або контактним, називають спосіб сушіння, за якого теплота, необхідна для нагрівання вологого матеріалу та випаровування рідини, передається теплопровідністю безпосередньо від нагрітої поверхні до матеріалу. Раніше цей спосіб застосовували в підових сушарках, де зерно висувували на нагрітій цегляній поверхні, періодично перемішуючи його вручну. Нині контактний спосіб використовують на крупозаводах у парових сушарках, де зерно під час руху стикається з гарячою

поверхнею труб, усередині яких циркулює пара. Такі сушарки також застосовують для сушіння фруктів та овочів.

Радіаційний спосіб сушіння може бути природним або штучним. У природному варіанті використовують сонячні промені, а в штучному — інфрачервоне випромінювання. Сонячне сушіння має обмежене застосування. Для нього необхідний майданчик із розрахунку 10–13 м² на 1 т зерна. Зерно розстиляють шаром 10–15 см і періодично перелопачують. За сонячної погоди впродовж дня його вологість може зменшитися на 3–4 %. Для сушіння інфрачервоними променями джерелами випромінювання служать спеціальні електричні лампи, керамічні плити або металеві панелі, які нагріваються електричним струмом чи газом. Такі пристрої характеризуються високою тепловою напруженістю, а температура поверхні випромінювання досягає 1000–1200 К. Щоб уникнути перегрівання матеріалу, у цьому випадку застосовують переривчасте опромінення, тобто імпульсне сушіння.

Сублімаційний спосіб сушіння, або молекулярне сушіння, застосовують тоді, коли необхідно максимально зберегти початкові властивості матеріалу. Його використовують для сушіння фруктів, м'яса, різноманітних біологічних препаратів у глибокому вакуумі в межах 1–10 Па. За таких умов механізм перенесення теплоти та пари суттєво змінюється. Унаслідок інтенсивного випаровування більша частина вологи переходить у лід, а при підведенні теплоти тверда фаза, минаючи рідкий стан, одразу перетворюється на пару. Таким чином, видалення вологи відбувається шляхом сублімації льоду та частково випаровування переохолодженої рідини, що дає змогу повністю зберегти молекулярну структуру матеріалу.

Електричний спосіб, або сушіння в полі струмів високої частоти, полягає в тому, що нагрівання вологих матеріалів відбувається внаслідок перетворення електричної енергії на теплову. Поля температури й вологості безпосередньо впливають на електричне поле всередині матеріалу, яке й зумовлює його нагрівання. Температура зерна при дії струмів високої частоти підвищується досить швидко, тому тривалість сушіння може істотно скорочуватися. Проте витрати енергії при такому способі дуже великі — понад 3 кВт·год на 1 кг випарованої вологи, тому в сушінні сільськогосподарської продукції цей метод практичного поширення не набув.

Найбільш ефективними вважаються комбіновані способи сушіння, зокрема поєднання конвективного й кондуктивного, конвективного та високочастотного,

конвективного й радіаційного, високочастотного з радіаційним, а також сублімаційного з радіаційним та інших варіантів.

1.4.1 Класифікація та принципові схеми зерносушарок конвективної дії

Конвективний спосіб сушіння набув найширшого застосування у сільськогосподарському виробництві.

За конструкцією сушильної камери зерносушарки поділяють на шахтні, барабанні, камерні, пневмотрубні та конвеєрні. Крім того, вони можуть бути одно- або двошахтними, а також одно- чи двобарабанними. Камерні сушарки складаються з кількох одночасно працюючих камер, інколи їх кількість сягає десяти і більше.

Основні схеми конвективних сушарок наведено на рис. 1.3.

Сушарки лоткового типу бувають стаціонарними та пересувними. Останні можуть використовуватися для сушіння зерна безпосередньо в полі біля комбайна.

Головним конструктивним елементом сушарок лоткового типу є один або кілька лотків із дном, виготовленим із перфорованого листа. Такі сушарки оснащуються топкою для одержання гарячих газів і вентилятором.

У камерній сушарці зерно засипають у простір між двома перфорованими циліндрами. Напрямок руху нагнітаного гарячого сушильного агента на рис. 1.3, б показано стрілками.

Стрічкова, або конвеєрна, сушарка використовується для сушіння зерна, овочів, плодів та іншої продукції. Матеріал розміщують на перфорованій сталевій стрічці або сітці, яка рухається періодично чи безперервно. Сушильний агент при цьому подається знизу.

Шахтні сушарки застосовують переважно для сушіння зерна. Шахти можуть бути жалюзійними, колонковими або коробчастими. Зерно переміщується зверху вниз під дією власної ваги.

Сушильний агент надходить у поперечному напрямку. Короби, через які подається теплоносій, позначаються знаком (+), а ті, через які він відводиться, — знаком (-).

Після сушіння зерно проходить через камеру охолодження і надходить у бункер.

За один цикл сушіння вологість зерна зменшується на 6...12 %, температура теплоносія становить 70...150 °С, а витрати теплоти — від 5030 до 5870 кДж на 1 кг випареної вологи.

У барабанній зерносушарці основним робочим елементом є похилий барабан, що повільно обертається з частотою $4\ldots 9 \text{ хв}^{-1}$. Усередині нього розміщені лопаті, які захоплюють і пересипають зерно, що обдувається теплоносієм. Основні характеристики барабанних зерносушарок такі: зниження вологості за один цикл становить $5\ldots 8 \%$, середні витрати теплоти — 6280 кДж на 1 кг випареної води, температура теплоносія — $150\ldots 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Такі сушарки також застосовують для сушіння насіння трав, зеленої маси конюшини та люцерни.

У вібраційних сушарках перфоровані лотки, розташовані в кілька ярусів один над одним, приводяться в коливальний рух. Теплоносій, що подається знизу, проходить крізь шари зерна.

Під час сушіння зерна в «киплячому» шарі швидкість теплоносія повинна становити $1\ldots 2 \text{ м/с}$. За таких умов вага окремих зернин урівноважується підйомною силою повітряного потоку, і зерновий шар переходить у псевдозріджений стан, що нагадує кипіння рідини. У такому шарі зерно постійно переміщується, завдяки чому створюються сприятливі умови для інтенсивного тепломасообміну.

У пневматичних сушарках зерно переміщується разом із потоком теплоносія всередині труби-сушарки. Тривалість сушіння за один прохід є малою, наприклад при висоті труби 14 м вона становить лише $5\ldots 6 \text{ с}$, тому зменшення вологості незначне. Щоб досягти необхідного рівня висушування дрібнодисперсного матеріалу, процес потрібно багаторазово повторювати.

Пневмогазові сушарки обладнуються пневматичними трубами з рециркуляцією зерна, що дає змогу збільшити тривалість сушіння. Після короткочасного нагрівання в сушильній трубі, яке триває $2\ldots 5 \text{ с}$, зерно надходить до охолоджувальної камери, що складається із зон проміжного та остаточного охолодження. Необхідний рівень висушування забезпечується за рахунок багаторазового повторення циклів нагрівання й охолодження з рециркуляцією, коли із зони проміжного охолодження зерно знову повертається до сушильної труби. Температура теплоносія в трубі становить $230\ldots 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а витрати теплоти — 6500 кДж на 1 кг випареної води.

Лоткові, камерні та конвеєрні сушарки належать до установок періодичної дії. Вони прості за конструкцією та в експлуатації, однак характеризуються невисокою продуктивністю та недостатньою економічністю.

Шахтні, барабанні та вібраційні сушарки є установками з рухомим шаром зерна.

У таких сушарках швидкість руху теплоносія менша за швидкість переміщення матеріалу, що сушиться.

У сушарках із «киплячим» шаром швидкість теплоносія менша або дорівнює швидкості руху зерна, а в установках, де сушіння відбувається у завислому стані, вона значно вища і залежно від розмірів частинок становить від 10 до 30 м/с.

За принципом роботи сушарки поділяють на установки періодичної та безперервної дії. У першому випадку зерно завантажують у робочу камеру, висушують без його переміщення, а після досягнення потрібної вологості вивантажують. Такі сушарки можуть бути з поздовжнім розташуванням камер, тобто коридорного типу, або з поперечним — секційно-блочного типу. У другому випадку зерно безперервно переміщується від місця завантаження до місця вивантаження.

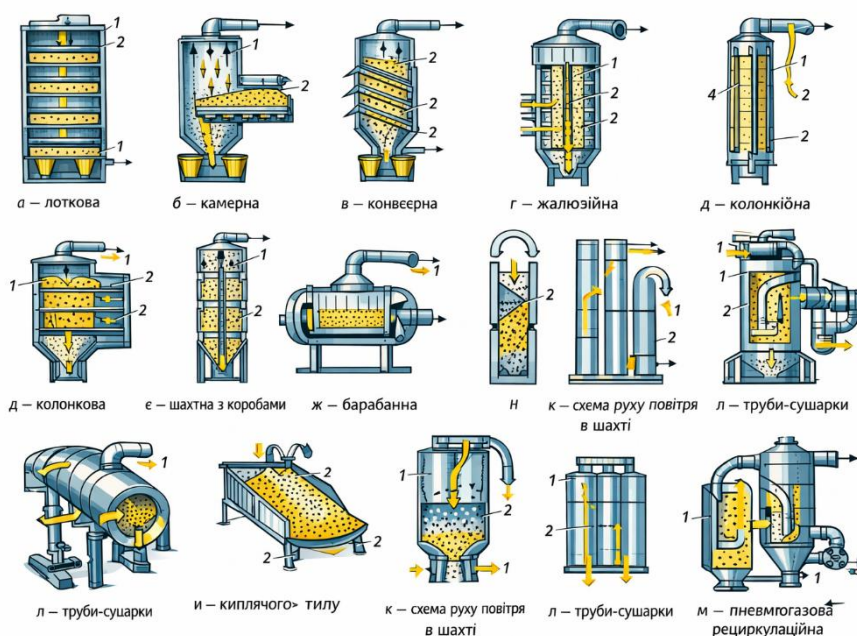


Рисунок 1.3 – Схеми сушарок конвективної дії:

а — лоткова; б — камерна; в — конвеєрна; г — жалюзійна; д — колонкова; е — шахтна з коробами; ж — барабанна; з — вібраційна; и — сушарка «киплячого» типу; к — схема руху повітря в шахті; л — труби-сушарки; м — пневмогазова рециркуляційна; 1 — сушильний агент; 2 — матеріал

За конструктивним виконанням сушарки поділяють на стаціонарні та пересувні.

За технологічною схемою зерносушарки можуть бути прямоточними і рециркуляційними. У прямоточних сушарках зерно проходить через сушильну камеру лише один раз. У рециркуляційних сушарках передбачено пристрій для повернення частини вже підсушеного зерна та змішування його зі свіжим зерном, яке надходить на сушіння.

До конвективних способів сушіння належить також активне вентилявання, суть якого полягає в продуванні об'єкта сушіння атмосферним повітрям.

Інтенсифікувати процес сушіння можна шляхом підігрівання зовнішнього повітря на 10...12 °С, однак його температура не повинна перевищувати 30...35 °С, оскільки це може призвести до пересушування нижніх шарів матеріалу або потребуватиме збільшення питомої подачі повітря. Для нагрівання повітря доцільно використовувати сонячну енергію.

1.5 Технологічні основи сушіння

За наявності зернової продукції сушарки повинні працювати цілодобово. Зокрема, місячний фонд робочого часу для стаціонарних зерносушарок має становити 615 год, а для пересувних — 540 год. Решта часу відводиться на очищення обладнання, проведення планово-попереджувальних ремонтів та виконання інших допоміжних робіт.

Насамперед слід висушувати партії зерна з найбільшою вологістю, а також ті, що заражені шкідниками хлібних та інших запасів. Аналогічно перевагу потрібно надавати сушінню культур, які є менш стійкими до зберігання. Під час роботи необхідно постійно контролювати температуру сушильного агента, не допускаючи її відхилення від нормативного значення більш ніж на 5 °С для шахтних сушарок і більш ніж на 10 °С для рециркуляційних.

Пшеницю з вологістю понад 20 % і пивоварний ячмінь із вологістю понад 19 % у прямоочних сушарках висушують у два проходи, тоді як у рециркуляційних — за один цикл. При сушінні у шахтних зерносушарках зниження вологості за один прохід не повинно перевищувати: для рису та сої — 3 %, для проса і гречки — 2...3 %, для гороху та ячменю — 3,5...4 %, для кукурудзи — 4,5...5,5 %, а для інших культур — 6 %. Під час сушіння рису в рециркуляційних сушарках зменшення вологості за один прохід допускається не більше 10 %.

Для насіннєвого зерна пшениці, жита, ячменю, вівса, соняшнику, гречки та проса з вологістю до 19 % при сушінні в шахтних прямоочних зерносушарках температура сушильного агента допускається до 70 °С, а максимальна температура нагрівання насіння — до 40 °С. Якщо на сушіння надходить насіння з вологістю понад 19 %, необхідно застосовувати ступінчастий режим сушіння. Під час сушіння насіння гороху, сочевиці, квасолі, люпину та рису гранично допустимі температури мають бути

нижчими: для сушильного агента — до 60 °С, для зерна — до 35 °С.

При виборі режимів сушіння гречки та проса необхідно враховувати і їх подальше призначення. Так, використання підвищених температур сушильного агента для гречки може покращувати її харчові властивості, оскільки крупа після такої обробки швидше розварюється.

На виході з охолоджувальної камери температура висушеного насіннєвого або продовольчого зерна не повинна перевищувати температуру навколишнього повітря більш ніж на 8...10 °С.

1.5.1 Комплекс КЗС-20Ш для очищення та сушіння зерна

Зерноочисно-сушильний комплекс КЗС-20Ш (рис. 1.4) призначений для очищення, сушіння та сортування продовольчого і насіннєвого зерна пшениці, жита, ячменю, вівса, кукурудзи, гороху, проса, гречки та соняшнику. Під час обробки продовольчого зерна його якість доводять до базисних кондицій, а насіннєвий матеріал — до вимог І–ІІ класу згідно з ГОСТом на насіння. Виняток становить матеріал, для очищення якого необхідно застосовувати спеціальні машини, зокрема пневмосортувальні столи та повітряно-решітні насіннеочисні машини.

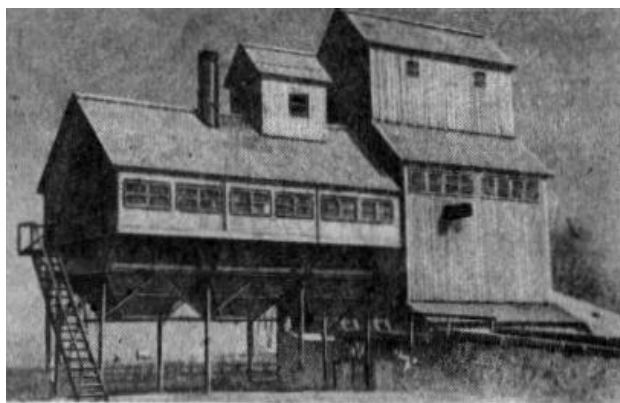


Рисунок 1.4 – Зерноочисно-сушильний комплекс КЗС-20Ш

До складу комплексу входять: автомобілерозвантажувач ГУАР-15Н(П) або ГАП-2Ц, машина попереднього очищення ЗД-10.000, дві повітряно-решітні зерноочисні машини ЗАВ-10.30000, два трієрні блоки ЗАВ-10.90000, шахтна зерносушарка СЗШ-16, шість норій, зернопроводи, скребкові транспортери, централізована повітряна система з пневмотранспортером, блок бункерів з опорами та запірною арматурою, металева арматура укриття сушильного агрегату, пульт керування очисним агрегатом із системою дистанційного контролю рівня матеріалу в секціях бункерного блока, станція керування сушильним агрегатом, а також електродвигуни.

Для очищення та сортування насіннєвого матеріалу, що містить

важковідокремлювані домішки, разом із комплексом споруджують насіннеочисну приставку СП-10, до якої зерно надходить самопливом із бункера чистого зерна.

Обладнання зерноочисного агрегату змонтоване на бункерах з опорами. Металева арматура виконує функцію перекриття і водночас є каркасом будівлі. Обладнання сушильного агрегату розміщується в будівлі, що монтується з металевого каркаса, опор, збірних ферм і перекриття, які входять до комплексу обладнання комплексу. Комплекс споруджується відповідно до типового проекту № 812-56.

1.5.2 Комплекс КЗС-20Б для очищення та сушіння зерна

Зерноочисно-сушильний комплекс КЗС-20Б призначений для очищення, сушіння та сортування продовольчого і насіннєвого зерна пшениці, жита, ячменю, вівса та кукурудзи. Під час обробки зерна для продовольчих потреб його доводять до базисних кондицій, а при очищенні та сушінні насіннєвого матеріалу за показниками вологості, чистоти й умісту бур'янових домішок — до вимог I–II класу ГОСТу на насіння. Виняток становить матеріал, для очищення якого необхідне використання спеціальних машин, зокрема повітряно-решітних насіннеочисних машин і пневмосортувальних столів.

До складу комплексу входять: автомобілепідйомник ГУАР-15Н(П) або ГАП-2Ц, машина попереднього очищення зерна ЗД-10.000, дві повітряно-решітні зерноочисні машини ЗАВ-10.30000, два трієрні блоки ЗАВ-10.90000, дві барабанні зерносушарки СЗСБ-8, чотири норії, зернопроводи, скребкові транспортери, централізована повітряна система з пневмотранспортером, блок бункерів з опорами, металева арматура укриття очисного та сушильного агрегатів, пульт керування очисним агрегатом із системою дистанційного контролю рівня матеріалу в секціях бункерного блока, а також станція керування сушильним агрегатом.

За вологості зерна до 20 % воно надходить у дві сушарки паралельними потоками. Якщо ж вологість перевищує 20 %, сушіння спочатку проводять в одній сушарці, а потім у другій. При цьому вологість зерна може бути знижена на 12–14 %.

Для очищення і сортування насіннєвого матеріалу, що містить важковідокремлювані домішки, у складі комплексу може використовуватися насіннеочисна приставка СП-10.

Вивантаження зерна та відходів із бункерів у транспортні засоби здійснюється самопливом.

Обладнання зерноочисного агрегату змонтоване на бункерах із металевими

опорами. Металева арматура виконує функцію каркаса будівлі. Обладнання сушильного агрегату встановлюється в будівлі, яка монтується з металевого каркаса, опор, збірних ферм і перекриття, що входять до комплексу обладнання комплексу.

Як паливо для сушарки використовують тракторний гас, суміш тракторного гасу з моторним паливом або побутове пічне паливо (ТПБ).

Комплекс споруджується відповідно до типового проєкту № 812-55. Обслуговування комплексу здійснюють два механіки. Комплекс рекомендується для використання в зонах 1...4, 7...12, 14, 17, 18.

1.6 Зерносушарки шахтного типу

1.6.1 Стаціонарна шахтна сушарка СЗШ-16

Призначені для сушіння зерна пшениці, ячменю, жита, вівса, кукурудзи, гречки, проса та інших зернових і круп'яних культур насінневого, продовольчого і фуражного призначення. Такі сушарки входять до складу обладнання зерноочисно-сушильних комплексів.

Основними робочими органами є дві паралельно розташовані шахти з коробами та охолоджувальний пристрій, виконаний у вигляді двох вертикальних виносних охолоджувальних колонок.

Кожна шахта складається з двох однотипних секцій, у яких передбачено по сім рядів коробів для подавання і стільки ж рядів для відсмоктування теплоносія, тобто суміші топкових газів з повітрям. Простір між шахтами використовується як подавальний дифузор, до нижньої частини якого приєднано трубопровід для подачі теплоносія.

Кожну шахту обслуговує окремий вентилятор.

Рухома каретка розвантажувального механізму здійснює зворотно-поступальний рух із малою амплітудою. Крім того, через певні проміжки часу вона виконує переміщення з більшою амплітудою, відкриваючи вихід для значної маси зерна та запобігаючи утворенню склепінь у шахті.

Кожна охолоджувальна колонка утворена двома концентрично розташованими циліндрами. Основна їх частина має перфорацію, тоді як верхня частина є суцільною. Кільцевий простір між циліндрами заповнюється зерном.

Охолодження зерна відбувається завдяки проходженню повітря крізь його шар. У нижній частині колонки охолоджене зерно випускається за допомогою шлюзового

затвора.

Топка є металевою, горизонтальною, циліндричної форми. Вона складається з камери згоряння з кожухом і равликом, паливної апаратури, системи запалювання та контролю полум'я. Форсунка — механічна, зі змінними розпилювачами. Контроль факела здійснюється фотоелементом. Як топку може бути використаний топковий агрегат ТБ-1,5 (ТАУ-1,5).

Паливом для сушарки слугує тракторний гас, суміш тракторного гасу з моторним паливом або побутове пічне паливо (ТПБ).

Сушарка може працювати як у режимі одночасного надходження свіжого зерна в обидві шахти, тобто при паралельній роботі шахт, так і в режимі послідовного проходження зерна через обидві шахти. У такому разі зерно, нагріте в першій шахті, далі охолоджується в колонці. При послідовному проходженні через шахти за один пропуск вологість зерна може зменшуватися на 12–14 %.

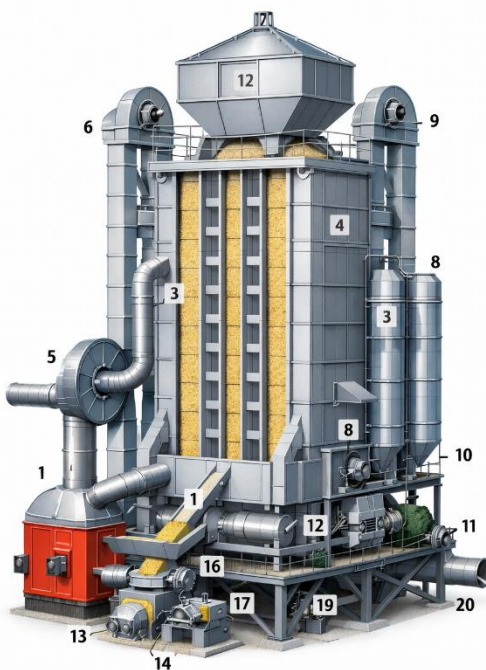


Рисунок 1.5 – Шахтна стаціонарна зерносушарка СЗШ-16:

1 — топка; 2 — трубопровід; 3 — канали; 4 — шахти; 5 — вентилятори; 6, 7, 9 — норії; 8 — охолоджувальні колонки; 10 — станина; 11 — привідний механізм; 12 — надсушильний бункер; 13 — зернозливна труба; 14 — зернопровід; 15 — шлюзовий затвор; 16 — бункер; 17 — розвантажувальний пристрій; 19 — патрубок; 20 — трубопровід.

Подача зерна до шахт і охолоджувальних колонок здійснюється за допомогою норій. Необхідний рівень зерна підтримується зернозливачами та спеціальною системою з датчиками рівня.

Керування машинами й механізмами агрегату виконується дистанційно зі станції управління із застосуванням системи блокування та сигналізації.

Зернова шахтна сушарка СЗШ-16Р відрізняється від сушарки СШР-16 конструкцією топки, зернопроводів шахт, охолоджувальної колонки та низки інших вузлів. Її топковий агрегат обладнаний теплообмінником, що дає змогу сушити зерно чистим підігрітим повітрям.

Обслуговування сушарки здійснює персонал комплексу. Її рекомендовано для використання в зонах 1...20.

1.6.2 Установка для сушіння зерна М-819

Зерносушарка шахтного типу М-819 призначена для сушіння насіннєвого, продовольчого та фуражного зерна пшениці, жита, ячменю, вівса, кукурудзи, рису, а також інших зернових, зернобобових і олійних культур. Допустима початкова вологість зерна — до 30 %. Це стаціонарна сушарка безперервної дії.

Сушіння в ній здійснюється чистим підігрітим повітрям. Зерносушарка використовується у складі зерноочисно-сушильних комплексів та інших потокових ліній.

Продуктивність сушарки при обробці продовольчого зерна пшениці зі зниженням вологості з 20 до 14 % становить 20 т/год основного часу.

Загальна встановлена потужність електродвигунів дорівнює 90 кВт.

1.6.3 Сушарка СЗСБ-8 барабанного виконання

Барабанна стаціонарна зерносушарка СЗСБ-8 (рис. 1.6) призначена для сушіння зерна різних культур незалежно від ступеня його вологості та засміченості.

Вона входить до комплекту машин зерноочисно-сушильних комплексів.

Сушарка є установкою безперервної дії з одностороннім підведенням теплоносія.

До її основних вузлів належать сушильний агрегат і охолоджувальна колонка. Основними складовими сушильного агрегату є топка з паливним баком, завантажувальна камера з конічним дном, сушильний барабан із підйомно-лопатковою системою, розвантажувальна камера, вентилятор, приводний механізм та електрообладнання. Усі вузли сушарки монтуються на фундаменті.

Охолоджувальна колонка виконана у вигляді двох перфорованих концентрично розміщених циліндрів. Кільцевий простір між ними заповнюється зерном, яке продувається зовнішнім повітрям. У верхній частині колонки встановлено вентилятор.

Привідний механізм сушильного барабана включає електродвигун, двоступінчастий редуктор і приводні ролики.

Як паливо використовують тракторний гас, суміш тракторного гасу з моторним паливом або побутове пічне паливо (ТПБ).

Обслуговування сушарки здійснює персонал комплексу. Її рекомендується застосовувати в зонах 1...3, 7...12, 14, 18.

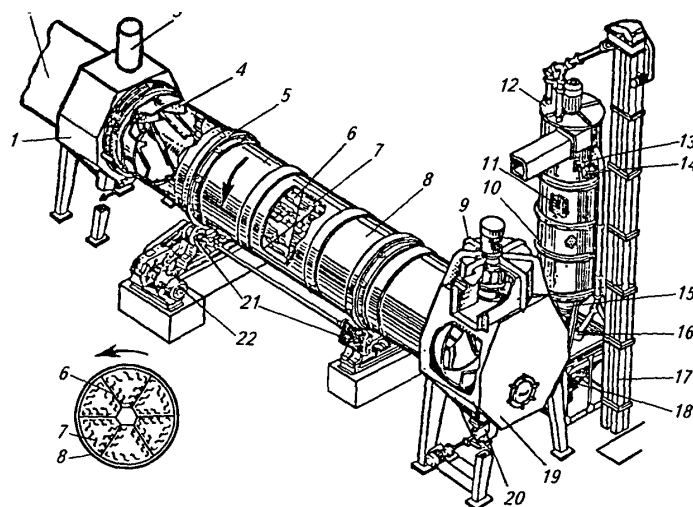


Рисунок 1.6 – Зерносушарка ЗСБ-8

1 — перехідник; 2 — топка; 3 — завантажувальна труба; 4 — лопать; 5 — кільце-бандаж; 6 — хрестовина; 7 — поличка; 8 — сушильний барабан; 9, 12 — вентилятори; 10, 11 — циліндри; 13, 14 — датчики рівня; 15 — конус; 16, 20 — шлюзові затвори; 17 — норія; 18 — бункер; 19 — вивантажувальна камера; 21 — ролики; 22 — привідна станція.

1.7 Аналіз машин і установок для післязбирального оброблення зерна

Аналіз технічних засобів післязбиральної обробки зерна, а також результати проведеного патентного пошуку засвідчили наявність значного різноманіття конструкцій зерносушарок.

Вони відрізняються між собою за конструктивною будовою, габаритними параметрами та особливостями технологічного процесу. У практиці застосовуються як стаціонарні, так і пересувні зерносушарки.

Основними джерелами енергії для їх роботи є дизельне паливо та електроенергія.

Через те, що основні зерносушарки типу «Антті», які постачаються до Карелії,

належать до установок періодичної дії, це негативно впливає на темпи збирання врожаю. Після повного завантаження сушарки, що становить приблизно 20 т, подальше збирання зерна фактично доводиться призупиняти. В умовах республіки така організація збирального процесу є ризикованою, оскільки різка зміна погодних умов може спричинити суттєві втрати врожаю.

На сучасному етапі, у зв'язку зі значним підвищенням вартості нафтопродуктів та електроенергії, використання традиційних зерносушарок у виробництві зерна на території Карелії стало економічно малоефективним.

Зменшення енергетичних витрат можливе завдяки застосуванню активного вентилявання зерна в бункері БВ-25, а також використанню теплогенерувальної установки, що працює на нетрадиційних видах палива, зокрема на дровах або рослинних рештках. Однак при тривалому перебуванні зерна в бункері воно злежується, що знижує результативність сушіння.

Отже, для інтенсифікації процесу сушіння необхідно забезпечити примусову циркуляцію зерна в бункері, і саме це визначається як головне завдання модернізації сушарки.

2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення розмірів і вихідних даних для теплового розрахунку сушарки

Виробничі посіви зернових культур у господарстві займають 100 га. На основі технологічної карти, за умови врожайності 20 ц/га, визначаємо загальний річний обсяг виробництва зерна, який становитиме приблизно 200 т.

Тривалість збирання врожаю за календарними строками — з 25 серпня по 5 вересня. За наявності одного комбайна період збирання становитиме 10 днів. Протягом однієї зміни комбайн намолочує близько 20 т зерна. Виходячи з цієї маси M , визначаємо необхідний об'єм бункера для сушіння зерна, зібраного за одну зміну:

$$V = M/\rho \quad (2.1)$$

де $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ — об'ємна маса зерна.

Отже, необхідний об'єм бункера становитиме: $V = 28,6 \text{ м}^3$.

Далі, використовуючи формулу об'єму циліндра:

$$V = \pi r^2 H \quad (2.2)$$

визначаємо основні розміри бункера і приймаємо їх рівними: $r = 1,5 \text{ м}$, $H = 8 \text{ м}$.

Тепловий розрахунок сушарки виконуємо за методикою, наведеною у [4].

Для цього використовуємо такі вихідні дані як: стан зовнішнього повітря характеризується такими параметрами: температура $t_0 = 10...18 \text{ }^\circ\text{C}$, відносна вологість $\varphi_0 = 80 \text{ \%}$, вологовміст $d_0 = 32 \text{ г/кг}$ сухого повітря, ентальпія $H_0 = 40 \text{ кДж/кг}$.

Після підігріву та змішування з топковими газами сушильний агент, тобто підігріте повітря, з параметрами $t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 10 \text{ \%}$, $d_1 = 15 \text{ г/кг}$ сухого повітря, $H_1 = 90 \text{ кДж/кг}$, надходить у бункер.

Параметри відпрацьованого сушильного агента мають такі значення: $t_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 50 \text{ \%}$, $d_2 = 24 \text{ г/кг}$ сухого повітря, $H_2 = 100 \text{ кДж/кг}$.

Вологий матеріал, тобто зерно, у кількості $M_1 = 20000 \text{ кг}$, за температури $\theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ та вологості $\omega_1 = 35 \text{ \%}$, надходить до сушильної камери. Після завершення сушіння його параметри відповідно становлять: $M_2 = 13000 \text{ кг}$, $\theta_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $\omega_2 = 15 \text{ \%}$.

2.2 Визначення обсягу вологи, що підлягає випаровуванню

Під час сушіння частина вологи, що міститься в зерні, випаровується. Кількість вилученої вологи W визначається як різниця між масою зерна до сушіння M_1 і після сушіння M_2 :

$$W = M_1 - M_2 \quad (2.3)$$

Маса абсолютно сухої речовини зерна M_0 у процесі сушіння та подальшого охолодження залишається незмінною:

$$M_0 = M_1 \frac{100-w_1}{100} = M_2 \frac{100-w_2}{100} = \text{const} \quad (2.4)$$

Із рівняння (2.4) визначають масу зерна на виході із сушильної камери:

$$M_2 = M_1 \frac{100-w_1}{100-w_2} \quad (2.5)$$

Після виконання розрахунків одержуємо: $M_2 = 13000$ кг.

Підставивши знайдене значення M_2 у рівняння (2.3), визначаємо масу вологи, що видаляється в процесі сушіння:

$$W = M_1 - M_1 \frac{100-w_1}{100-w_2} = M_1 \left(1 - \frac{100-w_1}{100-w_2}\right) \quad (2.6)$$

Звідси одержуємо: $W = 7000$ кг.

Втрати маси матеріалу в процесі сушіння у відсотковому вираженні становлять:

$$D = \frac{w_1-w_2}{100-w_2} 100 = \frac{35-15}{100-15} 100 = 23\% \quad (2.7)$$

2.3 Розрахункове визначення кількості повітря та теплоти

Розрахунок витрати повітря. Волога, яка випаровується із зерна в процесі сушіння, поглинається сушильним агентом. Отже, загальна кількість вологи, що надходить до сушильної камери і виходить із неї після завершення сушіння, залишається незмінною. Рівняння балансу вологи має такий вигляд:

$$G_1 \frac{w_1}{100} + L \frac{d_1}{1000} = G_2 \frac{w_2}{100} + L \frac{d_2}{1000} \quad (2.8)$$

де $G_1 \frac{w_1}{100}$ і $G_2 \frac{w_2}{100}$ — кількість вологи, що відповідно надходить до сушильної камери разом із матеріалом та виходить із неї разом із висушеним зерном;

$L \frac{d_1}{1000}$ і $L \frac{d_2}{1000}$ — кількість вологи, що відповідно надходить у сушильну камеру і виходить із неї разом із сушильним агентом;

L — витрата сухого сушильного агента, тобто повітря, кг/год.

Після виконання відповідних перетворень одержимо масову витрату випарованої вологи:

$$W = G_1 \frac{w_1}{100} - G_2 \frac{w_2}{100} = L \frac{d_2 - d_1}{1000} \quad (2.9)$$

Звідси визначаємо необхідну масову витрату сухого сушильного агента, тобто повітря:

$$L = \frac{1000W}{d_2 - d_1} \quad (2.10)$$

Масова витрата сухого сушильного агента, тобто повітря, становить: $L = 7,8 \cdot 10^5$ кг/год.

Питома витрата сухого сушильного агента, віднесена до 1 кг випаруваної вологи, дорівнює:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (2.11)$$

де l — питома витрата сухого сушильного агента на 1 кг випаруваної вологи, кг.

Під час змішування зовнішнього повітря з топковими газами вологовміст атмосферного повітря d_0 збільшується до d_1 за рахунок вологи, що міститься в паливі, а також унаслідок згоряння водню. За таких умов питома витрата сушильного агента, тобто повітря, становитиме: $l = 111$ кг сухого повітря/кг.

Розрахунок витрат теплоти. Реальний процес сушіння відрізняється від теоретичного тим, що кількість корисно використаної теплоти завжди менша за фактично витрачену.

Витрати теплоти в бункері на нагрівання матеріалу, тобто зерна, за його початкової температури $\theta_1 > 0$ визначаються за формулою:

$$Q_{\text{пр}} = M_2 c_2 (\theta_2 - \theta_1) \quad (2.12)$$

де $c_2 = 503$ кДж/кг — питома теплоємність зерна.

Звідси одержуємо: $Q_{\text{пр}} = 1300 \cdot 503 \cdot (40 - 20) = 13,08 \cdot 10^6$ кДж.

Тоді питома витрата теплоти становитиме:

$$q_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{W} = \frac{M_2}{W} c_2 (\theta_2 - \theta_1) \quad (2.13)$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{13,08 \cdot 10^6}{7000} = 1868,3 \text{ кДж/кг}$$

Розрахунок теплоти, що втрачається через стінки сушильної камери в навколишнє середовище, виконують за такою формулою:

$$Q_{\text{о.ср.}} = k_0 A (t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}) \quad (2.14)$$

де $k_0 = 7,2$ — коефіцієнт теплопередачі від сушильного агента в навколишнє середовище через огорожувальні конструкції сушильної камери, Вт/(м²·К);

A — сумарна площа поверхні сушильної камери, м^2 ;

$t_{\text{в}}$ — температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{ср}}$ — середня температура сушильного агента в сушильній камері, $^{\circ}\text{C}$; її визначають за залежністю

$$t_{\text{ср}} = (t_1 + t_2) / 2 \quad (2.15)$$

З урахуванням того, що $k_0 = 7,2$, а сумарна площа огорожувальних поверхонь сушильної камери становить $A = 89,49 \text{ м}^2$, отримаємо:

$$Q_{\text{о.ср.}} = 7,2 \cdot 89,49 \cdot (20 - 15) = 3221,6 \text{ кДж}$$

2.4 Будова та особливості роботи зерносушильної установки

Запропонована сушарка з активним вентиляванням і примусовою циркуляцією зерна, загальний вигляд та схема технологічного процесу якої наведені в графічній частині дипломного проєкту, складається з двох бункерів місткістю до 20 т кожний. Усередині бункерів вертикально встановлюються шнеки, які забезпечують примусове переміщення зернової маси, її циркуляцію та подальше вивантаження.

Зерно із завальної ями місткістю 4 т подається вгору ковшовим елеватором, тобто норією, продуктивність якої становить 5 т/год. Далі воно надходить у циклон-пиловідокремлювач, де частково очищується від легких рослинних домішок і пилу. Після проходження через циклон зернова маса потрапляє на скребковий транспортер, який спрямовує її до одного з бункерів.

Для регулювання потоку зерна на транспортері передбачено систему засувки. Завдяки їх відкриванню або закриванню можна спрямовувати зернову масу для заповнення першого або другого бункера.

Зерно, що надходить у бункер, піддається сушінню або охолодженню гарячим чи холодним повітрям. Під час цього процесу вмонтований усередині бункера шнек забезпечує примусову циркуляцію зерна знизу догори та його безперервне перемішування.

Для одержання гарячого повітря в складі зерносушильного комплексу передбачена піч, у якій як паливо можуть використовуватися дрова або різні рослинні рештки.

Подача гарячого чи холодного повітря здійснюється по трубопроводах за допомогою вентилятора теплової установки. У системі подачі повітря передбачено комплект засувки, за допомогою яких регулюється напрямок руху повітряного потоку

або його температура, а також забезпечується можливість сушіння чи охолодження зерна в обох бункерах одночасно або окремо в кожному з них.

Після завершення процесу сушіння зерно може бути або механізовано вивантажене з бункера, або залишене в ньому для подальшого зберігання. Для розвантаження зерна на шнеку передбачено циліндричну засувку, яка при переміщенні вгору перекриває отвори в корпусі шнека, через які раніше здійснювалася примусова циркуляція зерна, і спрямовує зернову масу на вивантаження.

2.5 Обчислення параметрів ковшового елеватора

Розрахунок ковшового елеватора виконуємо за методикою, наведеною у відповідному джерелі.

Вертикальний ковшовий елеватор продуктивністю $Q = 5$ т/год призначений для транспортування зерна з об'ємною масою $\rho = 700$ кг/м³ на висоту підйому $H = 11$ м.

Для подальших розрахунків приймаємо стрічковий елеватор із завантаженням способом зачерпування, відцентровим розвантаженням, швидкістю руху стрічки $v = 1,7$ м/с та глибокими ковшами з коефіцієнтом заповнення $\varphi = 0,8$.

Місткість ковшів, що припадає на 1 м тягового елемента, визначаємо за формулою:

$$\frac{i}{a} = \frac{Q_p}{3,6vp_m\varphi} \quad (2.16)$$

$$\frac{500}{3,6 \cdot 1,7 \cdot 700 \cdot 0,8} = 0,002$$

Для отриманої місткості найбільш доцільно використати ковші типу III із шириною $B_k = 280$ мм, місткістю $i = 4,2$ л і кроком $t = 180$ мм. Після вибору ковшів уточнюємо швидкість руху стрічки. Остаточного приймаємо: $v = 2,2$ м/с.

Ширину стрічки визначаємо за залежністю:

$$B = B_k + 100 \quad (2.17)$$

$$B = 280 + 100 = 380 \text{ мм}$$

Одержаному значенню B відповідає найближча стандартна ширина стрічки, яка становить: $B = 400$ мм.

Маса вантажу, що припадає на 1 м тягового елемента, дорівнюватиме:

$$q = \frac{Q_p}{3,6v} \quad (2.18)$$

$$q = \frac{100}{3,6 \cdot 2,2} = 12,63 \text{ кг/м}$$

Попередню потужність визначаємо за такою формулою:

$$N_{\text{поп}} = \frac{Q_p H}{367} (A_H + B_H \frac{q_0}{Q_p} + C_H \frac{v^2}{H}) \quad (2.19)$$

Величину q_0 прийнято з урахуванням того, що в норії використовуватимуться ковші типу III. Коефіцієнти $A_H = 1,14$, $B_H = 1,6$, $C_H = 0,25$ є параметрами, які залежать від типу ковшової норії, у даному випадку — стрічкової з відцентровим розвантаженням.

Після підстановки вихідних даних у формулу попередньої потужності одержуємо:

$$N_{\text{поп}} = \frac{5 \cdot 30}{367} \cdot \left(1,14 + 1,6 \cdot \frac{13,2}{5} + 0,25 \frac{2,2^2}{30} \right) = 1,136 \text{ кВт}$$

За отриманим значенням $N_{\text{поп}}$ визначаємо максимальне розтягувальне зусилля в тяговому елементі:

$$S_{\text{max}} = S_{\text{нб}} = \frac{1000 N_{\text{поп}} \eta e^{f\alpha}}{v(e^{f\alpha} - 1)} \quad (2.20)$$

де $\eta = 0,8$ — коефіцієнт корисної дії привода;

$\alpha = 180^\circ$ — кут обхвату приводного барабана;

$f = 0,20$ — коефіцієнт тертя для чавунного барабана при роботі норії у вологому середовищі.

Тоді максимальне розтягувальне зусилля в тяговому елементі становитиме:

$$S_{\text{max}} = S_{\text{нб}} = \frac{1000 \cdot 1,136 \cdot 0,8 \cdot 1,87}{2,2 \cdot 0,87} = 8879 \text{ Н}$$

Отже, орієнтовну кількість прокладок z визначатимемо далі за відповідною залежністю:

$$z = \frac{S_{\text{max}} n}{BK_p} \quad (2.21)$$

$$z = \frac{8879 \cdot 9}{40 \cdot 610} = 3,275$$

Для норії обрано стрічку з прокладками з бельтиніту Б-820 із показником $K_p = 610 \text{ Н/см}$, при цьому коефіцієнт $n = 9$. Розрахункове значення кількості прокладок після округлення приймаємо рівним: $z = 4$.

Після цього визначаємо навантаження, що припадає на 1 м стрічки, використовуючи формулу для бавовняної стрічки:

$$q_L = 1,1B(1,25z\delta_1 + \delta_2) \quad (2.22)$$

$$q_L = 1,1 \cdot 0,4 \cdot (1,25 \cdot 4 + 3 + 1) = 4,4 \text{ кг/м}$$

Маса ковшів, що припадає на 1 м тягового елемента, за умови, що маса одного ковша типу III становить $G_k = 1,5$ кг, дорівнюватиме:

$$q_k = \frac{G_k}{a} \quad (2.23)$$

$$q_k = \frac{1,5}{0,18} = 8,33 \text{ кг/м}$$

Звідси: $q'_0 = q + q_l + q_k \quad (2.24)$

$$q'_0 = 12,63 + 4,4 + 8,33 = 25,35 \text{ кг/м}$$

А холостої вітки: $q''_0 = q_l + q_k \quad (2.25)$

Тяговий розрахунок виконуємо відповідно до прийнятої розрахункової схеми (рис. 2.1). Точкою з найменшим натягом є точка 2, тобто: $S_2 = S_{min}$.

Опір зачерпуванню визначаємо за відповідною формулою, приймаючи діаметр нижнього барабана при $z = 4$ рівним: $D_6 = 0,65$ м.

$$W_3 = K_{уд} q g D_6 \quad (2.26)$$

де q — маса вантажу, що припадає на 1 м тягового елемента, кг;

$K_{уд}$ — питомі витрати енергії на зачерпування, при цьому $K_{уд} \approx (6 \div 10) D_6$;

D_6 — діаметр нижнього барабана.

Тоді $S_3 = \xi S_2 + W_3 = 1,06 S_2 + K_{уд} q g D_6 = 1,06 S_2 + 8 \cdot 0,65 \cdot 12,63 \cdot 9,81 = 1,06 S_2 \cdot 644$

$$\begin{aligned} S_4 = S_3 + W_{3-4} &= 1,06 S_2 + 644 + q'_0 g H = 1,06 S_2 + 645 + 9,81 \cdot 25,36 \cdot 30 \\ &= 1,06 S_2 + 8107 \end{aligned}$$

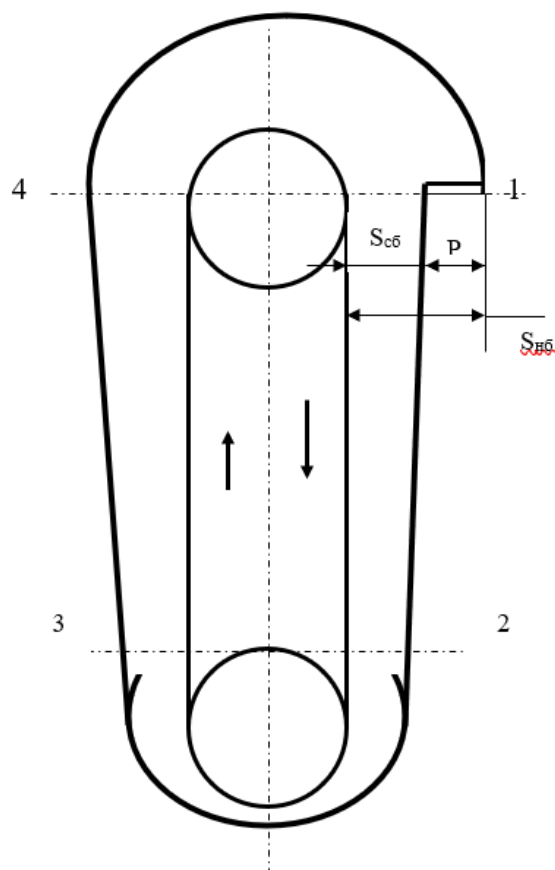


Рисунок 2.1 – Діаграма розтягувальних зусиль

Величину S_1 визначаємо, обходячи контур траси у напрямку, протилежному руху стрічки, тобто:

$$S_1 = S_2 + W_{2-1} = S_2 + q_0'' g H = S_2 + 9,81 \cdot 12,73 \cdot 30 = S_2 + 3746 \quad (2.27)$$

Використовуючи залежність $S_{нб} \leq S_{сб} \cdot e^{f\alpha}$, яка в нашому випадку набуває вигляду $S_4 \leq 1,84S_1$, отримуємо значення натягу в точці 2, що дорівнює 608 Н. Підставивши знайдене значення S_2 у раніше записані вирази, визначаємо: $S_3 = 1288$ Н, $S_4 = 8751$ Н, $S_1 = 4354$ Н.

Перевірка величини S_3 за умовою $G_{н.у} \geq 2S$, з урахуванням $l = 0,075$ м, $h = 0,16$ м і $h_1 = 0,1$ м для даного типу ковша, показує, що значення S_3 є достатнім для забезпечення попереднього натягу тягового елемента.

За знайденим значенням $S_4 = S_{max}$ уточнюємо кількість прокладок: $z = 8751 \cdot 9 / (40 \cdot 610) = 3,23 \approx 4$.

Отримане число прокладок стрічки збігається з попередньо прийнятим, тому повторно виконувати тяговий розрахунок немає потреби.

Далі визначаємо діаметр приводного барабана: $D_{п.б.} = 125 z = 125 \cdot 4 = 600$ мм і округлюємо до стандартного значення 630 мм відповідно до ГОСТу.

Частота обертання барабана становитиме:

$$n = \frac{60v}{\pi D_{п.б.}} \quad (2.28)$$

$$n = \frac{60 \cdot 2,2}{3,14 \cdot 0,63} = 66,73 \text{ об/хв}$$

Визначаємо значення міжполюсної відстані:

$$h = \frac{895}{n^2} \quad (2.29)$$

$$h = \frac{895}{66,73^2} = 0,2 \text{ м}$$

Величина $h < \frac{D_{п.б.}}{2}$, Отже, розвантаження в даному випадку є відцентровим.

Визначаємо потужність електродвигуна для привода норії, приймаючи коефіцієнт корисної дії передавального механізму рівним 0,8.

$$N = \frac{\xi(S_4 + S_1)v}{1000\eta} \quad (2.30)$$

$$N = \frac{1,06(8751 - 4354)2}{1000 \cdot 0,8} = 1121 \text{ Вт}$$

За отриманим значенням розрахункової потужності вибираємо електродвигун АО 72-6-УП потужністю $N_d = 1,1 \text{ кВт}$ із частотою обертання $n_d = 980 \text{ об/хв}$.

2.6 Визначення параметрів клинопасового приводу

Розрахунок клинопасової передачі привода ковшового елеватора виконуємо за методикою, наведеною у відповідному джерелі. Обертання передається від електродвигуна АО 72-6-УП потужністю $N_d = 1,1 \text{ кВт}$ при частоті обертання $n_d = 980 \text{ об/хв}$. Частота обертання барабана становить $n_6 = 650 \text{ об/хв}$. Міжосьову відстань приймаємо $a = 800 \text{ мм}$. Режим роботи — однозмінний. Можливе перевантаження привода — до 130 %.

За заданими значеннями потужності та частоти обертання меншого шківів вибираємо клиновий ремінь перерізу А (рис. 2.2) з такими параметрами: $l_p = 11 \text{ мм}$, $W = 13 \text{ мм}$, $\gamma_0 = 8 \text{ мм}$, площа поперечного перерізу $A_1 = 81 \text{ мм}^2$, маса 1 м ременя $q = 0,1 \text{ кг/м}$, а діапазон розрахункових довжин — 560...4000 мм.

Передаточне число передачі визначаємо за формулою:

$$i = n_d / n_6 \quad (2.31)$$

$$i = 980 / 650 = 1,5$$

Для ременя перерізу А, при мінімальному діаметрі ведучого шківів $d_1 = 90$ мм і частоті обертання $n_d = 980$ об/хв, знаходимо номінальну потужність, яку може передати один ремінь: $P_0 = 1,85$ кВт.

У разі збільшення діаметра ведучого шківів d_1 можна отримати й більшу величину P_0 , тобто підвищити потужність, що передається одним ременем, і завдяки цьому зменшити кількість ременів у комплекті. Проте в такому випадку загальні габарити передачі зростатимуть, оскільки разом зі збільшенням d_1 пропорційно зростатиме і діаметр веденого шківів $d_2 = i \cdot d_1$.

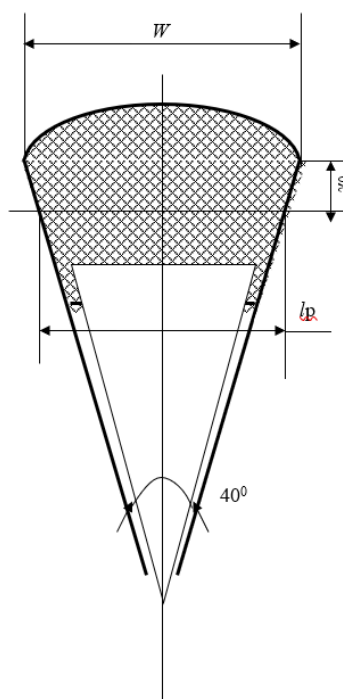


Рисунок 2.2 – Поперечний переріз клинового ременя

Діаметр веденого шківів без урахування проковзування визначаємо за залежністю: $d_2 = 1,5 \cdot 90 = 135$ мм. Із стандартного ряду приймаємо: $d_2 = 140$ мм. Уточнюємо передаточне число: $i = 140 / 90 = 1,55$.

Оскільки зміна передаточного числа є незначною, попередньо прийняте значення $P_0 = 1,85$ кВт залишаємо без змін, адже величина P_0 мало залежить від передаточного числа.

Розрахункову довжину ременя визначаємо за відповідною формулою:

$$L_p = 2a + 0,5\pi(d_1 + d_2) + (d_2 - d_1)^2 / 4a \quad (2.32)$$

$$L_p = 2 \cdot 600 + 0,5 \cdot 3,14(90 + 140) + (140 - 90)^2 / 4 \cdot 600 = 1562 \text{ мм}$$

Із стандартного ряду рекомендованих розрахункових довжин вибираємо: $L_p = 1600$ мм.

Остаточну міжосьову відстань визначаємо за умови, що: $w = 0,5\pi(90 + 140) = 361$ мм, $y = 0,25(140 + 90) = 625$ мм.

$$a = 0,25[(L_p - w) + \sqrt{(L_p - w)^2 - 8y}] \quad (2.33)$$

$$a = 0,25[(1600 - 361) + \sqrt{(1600 - 361)^2 - 8 \cdot 625}] = 619 \text{ мм}$$

Кут облягання встановлюємо за таким виразом:

$$a_1 = 180^\circ - 57,3(d_2 - d_1)/a \quad (2.34)$$

$$a_1 = 180^\circ - 57,3(140 - 90)/619 \approx 175^\circ$$

Швидкість ременя визначаємо за формулою:

$$v = \pi d_1 n_1 / (6 \cdot 10^4) \quad (2.35)$$

$$v = 3,14 \cdot 90 \cdot 1430 / (6 \cdot 10^4) = 6,74 \text{ м/с}$$

Отримане значення знаходиться в межах 5...10 м/с, тобто відповідає умовам, за яких було визначено величину P_0 .

Коефіцієнт кута обхвату приймаємо $C_\alpha = 0,99$, коефіцієнт довжини ременів даного перерізу при рекомендованих розрахункових довжинах — $C_l = 0,99$, а коефіцієнт динамічності навантаження для середнього режиму роботи — $C_p = 1,1$.

Потужність, яку може передати передача з одним ременем, визначаємо за формулою:

$$P_p = P_0 C_\alpha C_l / C_p \quad (2.36)$$

$$P_p = 1,168 \cdot 0,99 \cdot \frac{0,99}{1} = 1,135 \text{ кВт}$$

Попередньо приймаємо, що в комплекті буде два ремені, тоді коефіцієнт $C_z = 0,9$.

Після цього розраховуємо кількість ременів у комплекті за відповідною формулою:

$$z = P / (P_p C_z) \quad (2.37)$$

$$z = \frac{2}{1,135 \cdot 0,9} = 1,95$$

Приймаємо $z = 2$. Силу натягу одного ременя визначаємо за такою формулою:

$$F_0 = 850 \cdot P \cdot C_p C_l / (z v C_\alpha) + \theta v^2 \quad (2.38)$$

де $\theta = 0,1$ — коефіцієнт, що враховує вплив відцентрових сил, Н·с²/м².

$$F_0 = 850 \cdot 2 \cdot 1 \cdot \frac{0,99}{2 \cdot 6,74 \cdot 0,99} + 0,1 \cdot 6,74^2 = 130 \text{ Н}$$

Навантаження на вали передачі визначаємо за такою формулою:

$$F_B = 2F_0 z \sin(0,5\alpha) \quad (2.39)$$

$$F_B = 2 \cdot 130 \cdot 2 \sin(0,5 \cdot 175) = 2080 \text{ Н}$$

Нормативний ресурс ременів за середнього режиму роботи визначаємо за відповідною формулою:

$$T_{\text{ср.р}} = T_{\text{ср}} k_1 \quad (2.40)$$

де $k_1 = 2,05$ коефіцієнт режиму роботи.

$$T_{\text{ср.р}} = 2000 \cdot 2,05 = 5000 \text{ год}$$

Розрахункова довговічність розраховується за формулою:

$$L_h = \frac{N_{0\text{ц}} L_p}{60 \pi d_1 n_1} \cdot \frac{\sigma_y^{11}}{\sigma_{\text{max}}^{11}} - \frac{C_u}{z_{\text{ш}}} \quad (2.41)$$

де $N_{0\text{ц}} = 4,6 \times 10^6$ — напрацювання ременів у циклах за результатами стендових випробувань;

$\sigma_y = 9 \text{ МПа}$ — границя витривалості ременів;

$\sigma_{\text{max}} = \sigma_p + \sigma_{\text{и}}$ — максимальне напруження в ремені;

$\sigma_p = F_0 / A_1 + F_t / (2zA_1) + 10^{-6} \rho v^2$ — напруження розтягу в ремені;

$\rho = 1200 \dots 1250 \text{ кг/м}^3$ — густина матеріалу ременя;

$\sigma_{\text{и}} = 2E_{\text{иу}} / d_1$ — напруження згину в ремені;

$E_{\text{и}}$ — модуль пружності ременя при згині;

u — відстань від крайніх волокон несучого шару до нейтральної лінії ременя;

$C_{\text{и}} = 2 / \{1 + [((\sigma_p + \sigma_{\text{и}} / i) / \sigma_{\text{max}}^{11})]^{11}\}$ — коефіцієнт, який враховує різний ступінь згину ременя на меншому та більшому шківів;

$z_{\text{ш}}$ — кількість шківів.

Розрахунок за наведеною формулою показав, що розрахункова довговічність ременів становить:

$$L_h = 36230 \text{ год, причому обчислення виконано за уточненим значенням } F_0.$$

2.7 Обчислення параметрів циклона для відокремлення пилу

Розрахунок циклона-пиловідокремлювача (рис. 2.2) сушарки виконуємо за методикою, наведеною у відповідному джерелі.

Принцип роботи циклона-пиловідокремлювача сушарки полягає в тому, що зерно, переміщуючись по лотку через вертикальний повітряний канал, частково очищується

від легких домішок, критична швидкість яких є меншою за швидкість руху повітря в цьому каналі.

Вихідними даними для підбору циклона-пиловідокремлювача є витрата повітря $Q = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$ і повний тиск, або напір, $H = 180 \text{ Па}$, які приймаються за розмірною та кількісною характеристикою вентиляторів.

Швидкість всмоктування повітря v_0 через вхідні отвори вентилятора визначаємо за емпіричною формулою:

$$v_0 = 1,26k\sqrt{H} \quad (2.42)$$

де $k = 0,25 \dots 0,45$ — показник, що характеризує втрати енергії на тертя повітря об стінки каналів, зміну напрямку його руху та інші супутні чинники.

$$v_0 = 1,26 \cdot 0,45\sqrt{180} = 7,6 \text{ м/с}$$

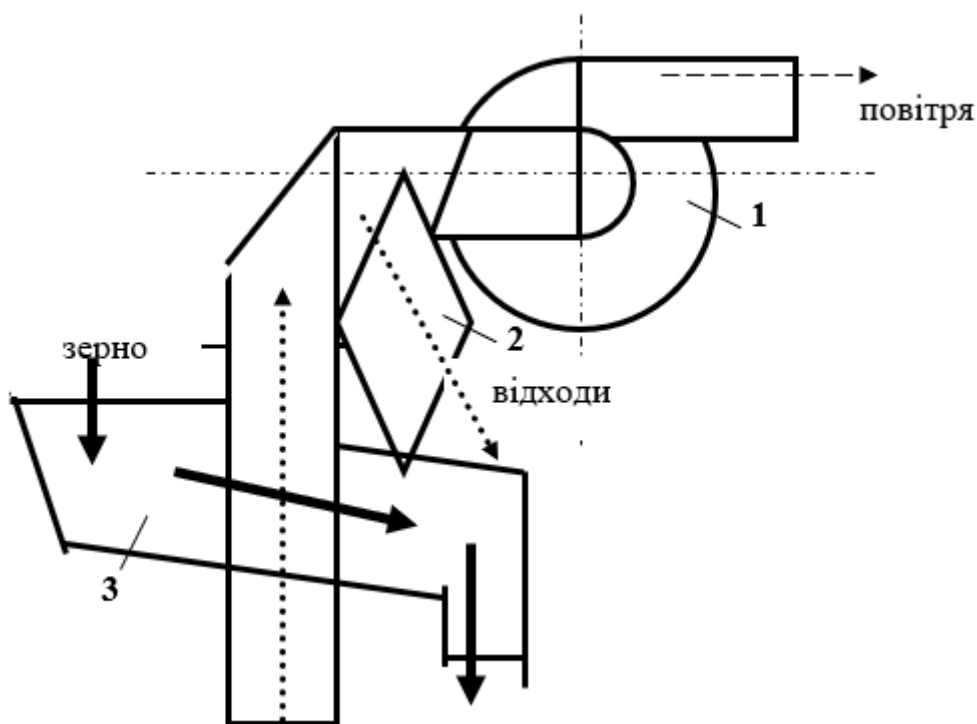


Рисунок 2.3 — Схема роботи циклона-пиловідокремлювача сушарки

1 — вентилятор; 2 — циклон для домішок; 3 — лоток для зерна.

Теоретичний напір H_m визначаємо як частку від ділення повного напору H на коефіцієнт корисної дії:

$$H_m = \frac{H}{\eta} \quad (2.43)$$

де $\eta = 0,45$ — манометричний коефіцієнт корисної дії, який приймається за безрозмірною характеристикою вентилятора.

Тоді теоретичний напір становитиме: $H_m = 180 / 0,45 = 400 \text{ Па}$.

Діаметр вхідного отвору визначаємо з умови мінімальних втрат при вході повітря:

$$D_0 = 2,57 \sqrt{\frac{\delta \lambda_0 Q}{\mu_0 (1-\nu) n}} \quad (2.44)$$

де $\delta = 0,65 \dots 0,85$ — коефіцієнт використання вхідного отвору;

$\lambda_0 = 1,0 \dots 1,3$ — відношення D_0 / D_1 , тобто діаметра вхідного отвору до внутрішнього діаметра колеса;

μ_0 — коефіцієнт підтиснення потоку; при $\lambda_0 = 1$ його значення становить $0,8 \dots 0,9$, а при $\lambda_0 > 1$ — $0,9 \dots 1,0$;

$\nu = 0,42 \dots 0,46$ — коефіцієнт попереднього закручування потоку;

$n = 450 \dots 1000$ об/хв — частота обертання лопатевого колеса.

$$D_0 = 2,57 \sqrt{\frac{0,85 \cdot 1 \cdot 0,6}{0,8(1-0,42)1000}} = 0,38 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр робочого колеса визначаємо за такою формулою:

$$D_0 = \frac{2}{n} \cdot \sqrt{\frac{H_m}{\varphi \gamma_B}} \quad (2.45)$$

де φ — коефіцієнт, який характеризує відхилення абсолютних швидкостей на внутрішній та зовнішній кромках лопаті від відповідних колових швидкостей і визначається за такою формулою:

$$\varphi = \frac{\pi}{900} \left[\frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \varepsilon_2} - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1} \right] \quad (2.46)$$

де α_2 і α_1 — кути між дотичною до лопаті робочого колеса та його радіусом відповідно на вході й виході;

ε_2 і ε_1 — кути між перпендикуляром до радіуса та напрямком швидкості повітря на внутрішньому і зовнішньому кінцях лопаті.

$$\varphi = \frac{3,14}{900 \left[\frac{1}{1 + \operatorname{tg} 50 \operatorname{tg} 55} - \frac{\frac{230^2}{245^2}}{1 + \operatorname{tg} 40 \operatorname{tg} 45} \right]} = 0,67$$

$$D_0 = \left(\frac{2}{1000} \right) \sqrt{400 / (0,67 \cdot 0,002)} = 0,4 \text{ м}$$

Ширину вентилятора приймаємо рівною ширині скребкового транспортера, тобто: $B_B = B_P = 345 \text{ мм}$.

Висоту вихідного каналу визначаємо за такою залежністю:

$$h = \frac{Q}{B_B v_0} \quad (2.47)$$

$$h = \frac{0,6}{0,345 \cdot 7,6} = 0,22 \text{ м}$$

При цьому значення h необхідно узгодити з довжиною лотка таким чином, щоб повітряний струмінь рівномірно обдував решето по всій його довжині.

Потужність, необхідна для привода вентилятора, визначається за формулою:

$$N = \frac{QH_m}{\eta_m} \quad (2.48)$$

де η_m – к.п.д. передачі, рівний 0,95... 0,98. $N = 0,6 \cdot 400 / 0,95 = 252,6 \text{ Вт}$

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Правила безпечного обслуговування зерноочисних машин і комплексів

Під час експлуатації технологічного обладнання зерносушильних комплексів необхідно враховувати можливість виникнення потенційно шкідливих і небезпечних виробничих чинників. До них належать:

- травмування рухомими та обертовими частинами транспортерів, вантажопідіймального і транспортного обладнання;
- ураження електричним струмом;
- отримання термічних опіків під час виконання робіт, пов'язаних із сушінням зерна;
- падіння з висоти;
- наявність пилових забруднень на території зерносушильного комплексу.

Основною причиною виробничого травматизму під час виконання робіт і обслуговування зерноочисних агрегатів та комплексів є недотримання вимог техніки безпеки. Саме тому суворе виконання встановлених правил безпеки є обов'язковою умовою роботи.

Усі операції з обслуговування зерносушарки потрібно виконувати лише при вимкненому обладнанні. Пуск і зупинку слід здійснювати заздалегідь установленими сигналами, які мають бути відомі всьому обслуговуючому персоналу.

Під час проведення ремонтних робіт або технічного обслуговування необхідно користуватися захисними окулярами. Гайкові ключі повинні відповідати розмірам гайок і головок болтів та не мати тріщин або надломів. Забороняється застосовувати підкладки, подовжувати ключ трубою або одним ключем інший, оскільки це може спричинити зісковзування інструмента і травмування працівника. Не допускається також ударяти молотком по ключу. Такі інструменти, як напилки, шабери та викрутки, повинні мати міцні, гладкі, заокруглені рукоятки з металевими кільцями з боку кріплення інструмента.

Перед тим як провертати чи переміщувати будь-яку деталь, необхідно попередити осіб, які перебувають поблизу відповідного механізму.

На умови праці працівників, зайнятих у галузях сільськогосподарського виробництва, впливають різні несприятливі фактори, серед яких найчастіше

проявляються метеорологічні умови, запиленість, загазованість та інші.

До метеорологічних чинників належать температура, вологість і швидкість руху повітря. Саме від цих трьох параметрів залежить формування необхідного мікроклімату в кабіні машини або у виробничому приміщенні, що, своєю чергою, впливає на самопочуття працівника та рівень продуктивності праці.

Запиленість робочої зони не є токсичною, проте негативно впливає на організм людини через органи дихання, зору та шкірний покрив. Вона виникає під час виконання практично всіх польових робіт, особливо в суху погоду, а також у період збирання врожаю.

Надмірна загазованість робочої зони, наприклад у приміщенні з тепловою установкою, може стати причиною отруєння. Основним шкідливим і небезпечним для здоров'я людини газом, з яким можливий контакт у таких умовах, є оксид вуглецю.

Техніка безпеки при обслуговуванні зерноочисних агрегатів і комплексів полягає в неухильному дотриманні правил і норм технічної та пожежної безпеки під час експлуатації технологічного обладнання сушарок, підйомно-транспортних механізмів, енергетичного та іншого устаткування.

До обслуговування обладнання допускаються лише особи, які пройшли спеціальну підготовку та інструктаж відповідно до вимог безпеки, викладених у керівництві з експлуатації та інструкціях з охорони праці.

Експлуатація всіх агрегатів дозволяється тільки за умови їх повної справності. Особливо ретельно необхідно контролювати стан топкового й електрообладнання, а також контрольно-вимірювальних приладів.

Роботи всередині бункерів і завальної ями слід виконувати в респіраторах, захисних окулярах і рукавицях.

Необхідно суворо дотримуватися встановленого температурного режиму роботи установки. Температура повітря, що подається в бункер, не повинна перевищувати значення, визначеного інструкцією з експлуатації.

Роботи в бункері мають виконуватися бригадою у складі трьох осіб і лише з дозволу працівника, якого адміністрація призначила відповідальним за безпечну експлуатацію агрегату.

Перед спуском у бункер потрібно обов'язково вимкнути систему примусового вентилявання та примусової циркуляції зерна.

Спуск у бункер або завальну яму дозволяється лише за наявності страхувального пояса і прив'язаної до нього мотузки, яка перевірена та випробувана на розривне зусилля 200 кг.

Щоденно наприкінці зміни обладнання та приміщення слід очищати, видаляючи розсипане зерно, пил і бруд. Накопичення пилу на обладнанні, майданчиках і будівельних конструкціях не допускається.

Під час роботи сушарки забороняється:

- відкривати оглядові та технологічні люки й кришки;
- виконувати будь-які роботи з прочищення каналів або ремонту;
- залишати обладнання без нагляду.

3.2 Санітарні вимоги у виробничих умовах

Науково-дослідним інститутом охорони праці були виявлені та систематизовані чинники, які за певних несприятливих умов можуть призвести до нещасних випадків або професійних захворювань. Ці фактори наведені в основоположному стандарті системи стандартів безпеки праці ГОСТ 12.0.003-74 «ССБП. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація». Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером дії поділяються на:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Серед основних вимог виробничої санітарії при обслуговуванні зерноочисних агрегатів і комплексів необхідно виділити такі:

- працівники повинні безоплатно забезпечуватися засобами індивідуального захисту, якщо їх використання передбачене галузевими нормами для відповідних видів робіт;
- санітарно-гігієнічні умови в господарстві мають відповідати встановленим санітарним нормам;
- виробничі будівлі повинні бути оснащені системами побутового та виробничого водопостачання;
- у виробничих приміщеннях незалежно від пори року та режиму технологічних процесів необхідно підтримувати стабільний температурний режим;

- слід забезпечувати належний рівень освітлення та дотримання нормативних вимог відповідно до ГОСТ 12.1.013-88 «Природне і штучне освітлення»;
- рівень шуму на робочих місцях повинен відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003-83 «ССБП. Шум. Загальні вимоги безпеки»;
- усі вантажно-розвантажувальні роботи потрібно виконувати відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002-75 та ГОСТ 12.1.019-88.

3.3 Дослідження небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації зерноочисного обладнання

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, що виникають під час роботи та обслуговування зерноочисних агрегатів і комплексів, доцільно подати у вигляді таблиці 6.1.

Таблиця 3.1 — Аналіз шкідливих і небезпечних факторів під час роботи та обслуговування зерноочисних агрегатів і комплексів

Небезпечні та шкідливі фактори	Характеристика небезпечних та шкідливих факторів
Шум	Шум як фізіологічне явище є несприятливим фактором зовнішнього середовища і визначається як звуковий процес, несприятливий для сприйняття і заважає роботі та відпочинку.
Освітленість	Світло є природною умовою життєдіяльності людини та відіграє велику роль у збереженні здоров'я та високої працездатності. Недостатня освітленість вимагає не тільки постійної напруги очей, що призводить до перевтоми та зниження працездатності, але також може призвести до того, що будуть непомічені деякі зміни у роботі зерносушарки.
Небезпека травмування частинами механічного обладнання, що обертаються.	При роботі механічного обладнання шківи та ремені існує небезпека травмування робітника шківом або ременем при його обертанні.
Небезпека ураження електричним струмом	У своєму пристрої зерносушарка має електрообладнання, необхідне для його функціонування. Наявність електрообладнання та струмопровідних частин зобов'язує дотримуватися правил експлуатації та техніки безпеки електроустановок, інакше це може призвести до ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом.

3.4 Комплекс заходів захисту працівників під час роботи із зерноочисними агрегатами та комплексами

Для зменшення або повного усунення впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників на працівника під час роботи та обслуговування зерноочисних

агрегатів і комплексів необхідно передбачити цілий комплекс заходів з охорони праці.

Заходи боротьби з шумом

Як оперативний засіб профілактики шкідливого впливу шуму на працівника доцільно застосовувати індивідуальні засоби захисту, зокрема протишумові навушники. Використання навушників дає можливість знизити рівень звукового тиску в межах від 3 до 36 дБ.

Організація освітлення під час роботи та обслуговування зерноочисних агрегатів і комплексів

Під час експлуатації та технічного обслуговування зерноочисних агрегатів і комплексів важливе значення має раціонально організоване освітлення, яке забезпечує можливість якісного й точного виконання виробничих операцій, спостереження за об'єктом, контролю за роботою приладів тощо. Раціональне освітлення досягається шляхом поєднання природного та штучного освітлення.

Для загального штучного освітлення доцільно застосовувати газорозрядні лампи низького тиску, зокрема люмінесцентні лампи типу ЛДЦ. Для місцевого штучного освітлення стенда використовують лампи розжарювання. Під час застосування джерел штучного світла, щоб уникнути засліплювальної дії, яка спричиняє швидке втомлення очей, необхідно використовувати світильники. Крім того, для створення сприятливих умов праці слід правильно добирати кольорове оформлення стін приміщення, уникаючи різких контрастів і надмірно подразнювальних тонів.

Заходи захисту від ураження електричним струмом

Для запобігання ураженню електричним струмом працівників та обслуговуючого персоналу всі металеві частини електрообладнання, а також металеві конструкції сушарки, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції електропроводки, повинні бути надійно заземлені.

Тип, конструктивне виконання та ступінь захисту електрообладнання сушарки повинні відповідати номінальній напрузі 380 В, характеру її роботи та умовам навколишнього середовища.

Захист електродвигунів і живильного кабелю стенда від струмів короткого замикання та перевантажень забезпечується тепловими реле й плавкими запобіжниками, підключеними до силового кола живлення сушарки. У разі виникнення аварійної ситуації ці пристрої автоматично відключають електродвигуни агрегатів

сушарки від електромережі. Після завершення роботи електрообладнання обов'язково знеструмлюється головним рубильником.

Уся апаратура відкритого виконання, зокрема рубильники, запобіжники та інші пристрої, повинна бути встановлена в металевих шафах або конструкціях, що замикаються на замок, або ж мати відповідні попереджувальні написи та знаки безпеки.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок економічних показників річної результативності виробництва зерна

Економічний розрахунок річної ефективності виробництва зерна на підприємстві виконуємо на основі технологічної карти, яка використовується в господарстві.

Строк окупності сушарки при її впровадженні на підприємстві в загальному вигляді визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{ст}}}{E_{\text{г}}} \quad (4.1)$$

де $K_{\text{ст}}$ — капітальні вкладення в модернізацію, тис. грн.;

$E_{\text{г}}$ — економічний ефект від експлуатації сушарки, тис. грн.

Капітальні вкладення в модернізацію сушарки на підприємстві визначаємо за формулою:

$$K_{\text{ст}} = Z_{\text{об}} + Z_{\text{сб}} + Z_{\text{пр}} \quad (4.2)$$

де $Z_{\text{об}}$ — витрати на придбання матеріалів, тис. грн.;

$Z_{\text{сб}}$ — витрати на складання та монтаж сушарки, тис. грн.;

$Z_{\text{пр}}$ — інші витрати, тис. грн.

Витрати на придбання матеріалів визначаються відповідно до конструкції та комплектації сушарки за ринковими цінами згідно з рекомендаціями джерел [12] і [13] та становлять 90 тис. грн.

Витрати на складання і монтаж сушарки визначаємо за таким виразом:

$$Z_{\text{сб}} = Z_{\text{сб}_p} + Z_{\text{мо}_б} + Z_{\text{мел}} \quad (4.3)$$

де $Z_{\text{сб}_p}$ — витрати на складальні та зварювальні роботи. Згідно з ринковими цінами [12], з урахуванням усіх матеріальних витрат, приймаємо: $Z_{\text{сб}_p} = 20$ тис. грн.

$Z_{\text{мо}_б}$ — витрати на монтаж обладнання, приймаємо: $Z_{\text{мо}_б} = 21$ тис. грн.

$Z_{\text{мел}}$ — витрати на монтаж електрообладнання, приймаємо: $Z_{\text{мел}} = 4$ тис. грн.

Тоді, підставивши числові значення у формулу (4.3), одержимо величину витрат на складання та монтаж сушарки:

$$Z_{\text{сб}} = 20 + 21 + 4 = 45 \text{ тис.грн}$$

Інші витрати, пов'язані з доставкою обладнання, споживанням електроенергії, використанням обтиральних матеріалів тощо, приймаються в розмірі 10 % від суми основних, тобто вищенаведених витрат.

Отже, підставивши розраховані значення грошових витрат на модернізацію сушарки у формулу (4.2), визначаємо загальний обсяг капітальних вкладень.

$$K_{\text{ст}} = 90 + 45 + 0,1 \cdot (90 + 45) = 148,5 \text{ тис.грн}$$

Економічний ефект від експлуатації сушарки на підприємстві проявляється у зменшенні грошових витрат на дизельне паливо. Тобто він визначається як різниця між витратами на сушіння зерна у базовому та проєктному варіантах.

Визначимо витрати на дизельне паливо за сезон у базовому варіанті:

$$Z_{\text{т}} = N_{\text{р}} C_{\text{т}} C_{\text{р}} \quad (4.4)$$

$$Z_{\text{т}} = 800 \cdot 21 \cdot 10 = 168 \text{ тис.грн}$$

де $N_{\text{р}}$ — кількість дизельного палива, необхідна для сушіння 20 т зерна в сушарці «Антті»; згідно з інструкцією з експлуатації приймаємо: $N_{\text{р}} = 800$ л;

$C_{\text{т}}$ — вартість дизельного палива; приймаємо: $C_{\text{т}} = 21$ грн.;

n — середня кількість днів сушіння зерна, тобто: $n = 10$.

Тоді річний економічний ефект від модернізації сушарки становитиме:

$$E_{\text{г}} = Z_{\text{т}} - K_{\text{ст}} \quad (4.5)$$

$$E_{\text{г}} = 168 - 148,5 = 19,5 \text{ тис. грн}$$

Підставивши отримані значення у формулу (4.1), визначаємо строк окупності сушарки: $T_{\text{ок}} = 0,3$ року.

Порівняльні результати розрахунку економічного ефекту наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Порівняльні дані розрахунку економічного ефекту, тис. грн.

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Прямі витрати на виробництво зерна у тому числі:	328,1	308,6
Зарплата з нарахуваннями	31,47	31,47
Витрати на паливо	168,0	40,0
Витрати модернізацію сушарки	-	148,5
Річний економічний ефект	-	19,5
Термін окупності, років		0,3

ВИСНОВОК

У дипломній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу післязбиральної обробки зернових культур шляхом модернізації підлогової сушарки. У ході виконання роботи проаналізовано існуючі технології очищення, сортування та сушіння зерна, а також сучасні технічні засоби, що застосовуються для післязбиральної обробки зернової маси. Встановлено, що якісне виконання операцій очищення і сушіння є визначальним чинником збереження врожаю, зниження втрат продукції та забезпечення належних умов її подальшого зберігання. Тема роботи і структура розділів у завантаженому документі це підтверджують.

У теоретичній частині роботи узагальнено відомості про технологічний процес післязбиральної обробки зерна, розглянуто способи очищення зернового вороху, типи зерноочисних машин і сушарок, а також особливості їх застосування у виробничих умовах. Це дало змогу обґрунтувати вибір напряду модернізації сушильного обладнання та визначити основні вимоги до його конструкції й режимів роботи. У документі також описано, що післязбиральна обробка включає попереднє, первинне й вторинне очищення, а сушіння забезпечує доведення зерна до кондиційної вологості для тривалого зберігання.

У конструктивно-розрахунковій частині виконано визначення основних параметрів зерносушильної установки, проведено тепловий розрахунок сушарки, розраховано кількість води, що підлягає випаровуванню, витрати повітря і теплоти, а також обґрунтовано параметри допоміжного обладнання, зокрема ковшового елеватора, клинопасової передачі та циклона-пиловідокремлювача. Це дозволило комплексно оцінити працездатність запропонованого технічного рішення та підтвердити можливість його практичного використання в умовах сільськогосподарського виробництва. Наявність у роботі розрахунків сушарки, циклона та передачі видно зі змісту та відповідних фрагментів документа.

В окремому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки під час експлуатації зерноочисних агрегатів і сушильного обладнання. Проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що можуть виникати при роботі з такими машинами, і передбачено заходи щодо захисту обслуговуючого персоналу. Це підвищує безпечність експлуатації модернізованого обладнання та сприяє покращенню умов праці.

У техніко-економічній частині роботи виконано оцінку доцільності впровадження запропонованої модернізації. Отримані результати свідчать, що вдосконалення технологічного процесу післязбиральної обробки зерна та модернізація підлогової сушарки є технічно обґрунтованими й економічно доцільними, оскільки сприяють підвищенню ефективності сушіння, зменшенню втрат зерна, покращенню якості готової продукції та більш раціональному використанню енергетичних і матеріальних ресурсів.

Отже, поставлену мету дипломної роботи досягнуто. Запропоновані технічні й технологічні рішення можуть бути рекомендовані для використання у господарствах та на підприємствах, що здійснюють післязбиральну обробку зернових культур, з метою підвищення продуктивності роботи обладнання, поліпшення якості обробки зерна та зростання загальної ефективності виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Механізація післязбиральної обробки зерна : навч. посіб. / В. І. Кравчук, М. І. Грицишин, С. М. Коваль. Київ : Аграрна освіта, 2016. 312 с.
2. Післязбиральна обробка та зберігання зерна : навч. посіб. / О. В. Дацишин, М. І. Черновол, В. М. Сало. Київ : Урожай, 2015. 384 с.
3. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : підручник / Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, Л. А. Тіщенко. Одеса : ОНАХТ, 2018. 460 с.
4. Гапонюк О. І., Остапчук М. В., Станкевич Г. М. Активне вентилування та сушіння зерна. Одеса : Поліграф, 2014. 292 с.
5. Бойко Л. М., Зінченко О. І. Технологія післязбиральної обробки зерна. Київ : Вища освіта, 2017. 248 с.
6. Тіщенко Л. М. Машини та обладнання для післязбиральної обробки зерна : навч. посіб. Харків : ХНТУСГ, 2016. 356 с.
7. Машини для очищення, сортування і сушіння зерна : навч. посіб. / В. М. Булгаков, В. В. Адамчук, В. Т. Надикто. Київ : НУБіП України, 2018. 420 с.
8. Зерноочисні машини та комплекси : навч. посіб. / М. В. Бакум, С. П. Сорокін, О. М. Шкрегаль. Харків : ХНТУСГ, 2019. 288 с.
9. Сільськогосподарські машини : підручник / В. М. Булгаков, В. В. Адамчук, В. Т. Надикто, І. В. Головач. Київ : Аграрна наука, 2018. 608 с.
10. Механізація технологічних процесів у рослинництві : навч. посіб. / В. М. Кравчук, М. І. Грицишин, В. В. Каплун. Київ : Аграрна освіта, 2014. 430 с.
11. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 19 с.
12. ДСТУ 4525:2006. Кукурудза. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 21 с.
13. ДСТУ 4964:2008. Ячмінь. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 18 с.
14. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Київ : Держстандарт України, 1994. 74 с.
15. ДСТУ ISO 712:2015. Зернові та зернові продукти. Визначення вмісту вологи. Контрольний метод. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
16. ДСТУ ISO 7970:2007. Пшениця. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

17. ДСТУ ISO 24333:2019. Зернові та зернові продукти. Відбирання проб. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 34 с.
18. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюгу. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 48 с.
19. Про зерно та ринок зерна в Україні : Закон України від 04.07.2002 № 37-IV. Відомості Верховної Ради України. 2002. № 35. Ст. 258.
20. Про насіння і садивний матеріал : Закон України від 26.12.2002 № 411-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 13. Ст. 92.
21. Деталі машин і основи конструювання : підручник / М. Н. Кіницький, В. О. Бойко, М. М. Кіницький. Київ : Кондор, 2018. 520 с.
22. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 2004. 655 с.
23. Анур'єв В. І. Довідник конструктора-машинобудівника : у 3 т. Київ : Техніка, 2001. Т. 1. 920 с.
24. Розрахунок і конструювання передач : навч. посіб. / В. О. Бойко, О. М. Кіницький. Київ : Кондор, 2017. 280 с.
25. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / А. І. Українець, В. Л. Зав'ялов, В. М. Стабніков. Київ : НУХТ, 2016. 408 с.