

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ГУЦАЛ САША ГРИГОРОВИЧ

УДК 621.36:664.7

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Удосконалення технології післязбиральної обробки зерна
(тема роботи)

208 «Агроінженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Сукманюк Олена Миколаївна
(прізвище, ім'я, по батькові)
к.і.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Гуцал С.Г. Удосконалення технології післязбиральної обробки зерна. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В роботі наведені сучасний стан та шляхи вдосконалення післязбиральної обробки зернового матеріалу, а також тенденції застосування процесу озонування при обробці зернового матеріалу.

Наведене теоретичне дослідження процесу озонування зернового матеріалу. Обґрунтовано використання технічних пристроїв для зниження зараженості зерна. Описано установку для обробки зернового матеріалу озоноповітряною сумішшю та наведено методику проведення експерименту з обробки зернового матеріалу озоноповітряної сумішшю.

Ключові слова: обробка, зерно, озоноповітряна суміш, удосконалення.

ABSTRACT

Gycsal S. Improving the technology of post-harvest grain processing. Qualification for the advanced master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The paper presents the current state and ways to improve post-harvest processing of grain material, as well as trends in the use of the ozonation process in the processing of grain material.

A theoretical study of the process of ozonation of grain material is presented. The use of technical devices to reduce grain contamination is justified. A plant for processing grain material with an ozone-air mixture is described and a methodology for conducting an experiment on processing grain material with an ozone-air mixture is presented.

Key words: processing, grain, ozone-air mixture, improvement.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ	7
1.1. Сучасний стан та шляхи вдосконалення післязбиральної обробки зернового матеріалу	7
1.2 Сучасні тенденції застосування процесу озонування при обробці зернового матеріалу	13
1.2. Висновки по розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЗОНУВАННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ	18
2.1. Огляд теоретичних досліджень процесу озонування зернового матеріалу	18
2.2. Використання технічних пристроїв для зниження зараженості зерна	23
2.3.Висновки по розділу 2	26
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ ОЗОНОПОВІТРЯНОЮ СУМІШШЮ	27
3.1. Установка для обробки зернового матеріалу озонופовітряною сумішшю	27
3.2. Конструкція зерновоза обладнаного системою озонування	28
3.3. Методика проведення експерименту з обробки зернового матеріалу озонופовітряної сумішшю	32
3.4. Вплив процесу озонування на виживання шкідників зерна	33
3.5.Висновки по розділу 3	34
ВИСНОВКИ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36

ВСТУП

У зв'язку з триваючою широкомасштабною збройною агресією російської федерації проти України частина зерносушильних комплексів зруйнована або знищена, тому різко зросло навантаження на зерноочисно-сушильні комплекси та елеватори, які попри постійні обстріли продовжують функціонувати. Наявні в розпорядженні аграріїв подібні споруди вже не справляються з належною якістю обробки вирощеного врожаю. Тому сільськогосподарські виробники змушені збільшувати продуктивність зерноочисних ліній, погіршуючи показники ефективності роботи обладнання. Через нестачу елеваторних потужностей приблизно десята частина всього вирощеного врожаю частково чи повністю псується у процесі післязбиральної обробки та зберігання. Крім того, зведення нових елеваторів та зерноочисносушильних комплексів найчастіше проводиться без впровадження прогресивних методів ведення післязбиральної обробки та зберігання зерна. Слабко використовується принцип фракціонування при очищенні зернового вороху [1], не інтенсифікується процес вологовіддачі при сушінні збираного врожаю, не застосовуються сучасні засоби знезараження та дезінфекції зерносховищ [2], не застосовуються заходи щодо покращення посівних якостей насіння [3]. В умовах удосконалення технології післязбиральної обробки та зберігання зерна є важливою проблемою, що стоїть перед агропромисловим сектором України.

Особливу увагу слід приділяти післязбиральній обробці посівного матеріалу. Насіння вкрай чутливе до механічних впливів робочих органів сільськогосподарських машин, особливо при підвищеній вологості [3]. Збирання зернових культур, призначених для насіннєвих цілей, слід проводити тільки роторними зернозбиральними комбайнами, максимально можливо мінімізуючи надалі контактування зернівок з робочими елементами зерноочисного та елеваторного обладнання [1-3]. Під час підготовки насіння необхідно використовувати сучасні засоби та методи, що підвищують посівні якості матеріалу або хоча б знижують шкідливий вплив робочих органів сільськогосподарських машин. При цьому процес озонування виступає одним із найбільш перспективних рішень щодо покращення показників насіннєвої цінності зернового матеріалу. Озонна обробка – це операція, використання якої не забруднюється атмосфера. При озонуванні не утворюються різні токсини та інші шкідливі речовини всередині зернівки [4]. Озон за різних концентрацій дезінфікує, стерилізує, дезодорує, стимулює насіння до зростання, сприяючи згодом збільшенню врожайності зернових

культур [5]. Передпосівна обробка посівного матеріалу озоном дозволить відмовитися від хімічного протруювання, виключивши цю шкідливу операцію з технологічної лінії. Причому озонування можна здійснювати безпосередньо при транспортуванні зерна.

Подальше застосування морально застарілих технологій підготовки насіннєвого матеріалу з використанням пестицидів та великої кількості зерноочисних машин знижує його посівні якості. В результаті господарства часто бувають змушені використовувати некондиційні за схожістю насіння, завищуючи їх норму висіву [6]. Це не лише вимагає додаткових витрат на виробництво зернових культур, але й виснажує ґрунт, оскільки рослини, що відстають у розвитку, також поглинають поживні речовини, але вони не встигають дати врожай на момент збирання основного масиву [6]. Озонування дозволить підвищити якість насіння, знизивши споживання шкідливих для здоров'я людини пестицидів, одночасно покращивши інтенсифікацію процесу сушіння зерна та збільшивши термін безпечного зберігання матеріалу. Сучасний стан техніки дозволяє реалізувати пропонування відносно недорогий варіант озонної обробки без суттєвого ризику для здоров'я людини.

Мета роботи: підвищення ефективності післязбиральної обробки та зберігання зернового матеріалу за рахунок удосконалення технології, заснованої на застосуванні процесу озонування.

Об'єктами дослідження є: технологічний процес та обладнання комплексу післязбиральної обробки із застосуванням озонування.

Предмет дослідження: закономірності зміни параметрів зернового матеріалу при його післяприбиральній обробці із застосуванням озонування.

Методологія і методи дослідження. Теоретичне дослідження проведено на основі методів математичного моделювання та класичної механіки. При проведенні розрахунків використовували сучасні комп'ютери та застосовували програмне забезпечення Microsoft Excel.

З урахуванням сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- обґрунтувати ощадну технологію післязбиральної обробки зернового матеріалу із застосуванням озонної обробки;
- виявити закономірність зміни концентрації озону в озоноповітряній суміші усередині зернового матеріалу після припинення озонної обробки;
- обґрунтувати параметри конструкцій та режими роботи обладнання комплексу післязбиральної обробки зернового матеріалу;

Публікації:

Гуцал С.Г. Сучасні тенденції застосування процесу озонування при обробці зернового матеріалу. Наукові читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науковопедагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 20 травня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С.120-125.

Сукманюк О. М., Гуцал С. Г. Сучасний стан та шляхи вдосконалення післязбиральної обробки зернового матеріалу. Матеріали VIII міжнародної науковопрактичної конференції «Біоенергетичні системи». 12-14 листопада 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С.37-44.

Сукманюк О.М., Гуцал С. Г. Використання технічних пристроїв для зниження зараженості зерна. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 139-142.

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 37 сторінках машинописного тексту, містить 1 таблицю, 15 рисунків, списку використаних джерел з 21 найменування.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ

1.1. Сучасний стан та шляхи вдосконалення післязбиральної обробки зернового матеріалу

Відповідно до агротехнічних вимог зернового вороху, що надходить з полів від зернозбиральних комбайнів, залежно від способу збирання повинен містити щонайменше 95...96% зерна основний культури [2]. Проте аналіз матеріалу перед очищенням показує, що вміст у ньому домішок може досягати 15%. Домішки, як правило, мають підвищену вологість, тому саме вони слугують осередком для псування всього збираного врожаю. У зв'язку з цим, післязбиральна обробка зернового вороху, що надходить від зернозбиральних комбайнів, є необхідною технологічною операцією, що дозволяє довести зерно до кондиційного стану. Особливу увагу слід приділяти зерновому матеріалу, що призначений для насіннєвих цілей, так як від якості насіння залежить врожайність сільськогосподарських культур.

Від технології післязбиральної обробки зерна та технічних засобів безпосередньо залежить якість кінцевого продукту. У сучасних умовах найбільшого поширення набуло очищення зернового вороху за допомогою зерноочисних агрегатів серії ЗАВ, зерноочищувальних комплектів типу КЗЗ або спеціалізованих елеваторів [3].

Всі вони включають відділення післязбиральної обробки зерна, яке призначене для доведення матеріалу до кондиційного стану по чистоті. Необхідність виникнення подібних агрегатів та комплексів викликана неможливістю виділення всіх домішок одним мобільним сепаратором.

Зерноочисний агрегат серії ЗАВ є набором спеціалізованих машин та обладнання, який призначений для механізованого розвантаження, очищення та сортування зерна.

Незважаючи на індивідуальність кожного зерноочисного агрегату серії ЗАВ, всі вони мають характерні загальні елементи конструкції. Можна виділити такі основні частини:

- приймальний бункер або яма, які обладнані пристроями для в'їзду, вивантаження та виїзду вантажного автотранспорту, що привозить зернову масу на очищення;
- норії, або вертикальні ковшові підйомні пристрої;
- самопливні транспортуючі зернопроводи;
- горизонтальні стрічкові або скребкові транспортери;
- сепаратор попереднього очищення зерна;

- сепаратор первинної очистки зерна;
- за потреби підготовки високоякісного матеріалу встановлюються сепаратор вторинного очищення зерна або спеціалізована машина підготовки насіння;
- аспіраційна система відпрацьованого запиленого повітря;
- накопичувальні бункери основного продукту та проміжних фракцій;
- капітальна крита споруда, що змонтована на високих опорах, що об'єднує все обладнання в єдиний об'єкт і дозволяє проводити самопливне розвантаження вмісту бункерів у вантажний автотранспорт.

Все обладнання змонтовано в технологічну лінію, що має високий ступінь механізації та узгоджений за продуктивністю. Управління зерноочисним агрегатом здійснюється дистанційно. Іноді обладнання об'єднується в дві технологічні лінії, що функціонують одночасно незалежно один від одного.

Експлікація обладнання зерноочисного агрегату ЗАВ-20 представлена на рис. 1.1.

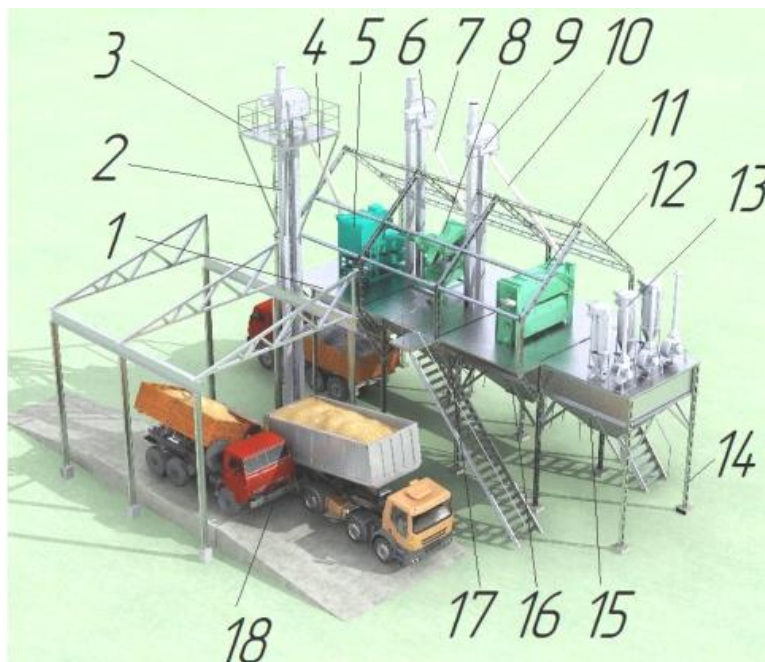


Рисунок 1.1 – Експлікація обладнання зерноочисного агрегату ЗАВ-20:
 1 – бункер відходів; 2, 6 та 9 – норія вертикальна серії НВ; 3 – майданчик обслуговування; 4, 7, 10 – самопливний зернопровід; 5 – очисник вороху стаціонарний ОВС-25С; 8 – машина первинної очистки зерна ЗВС-20М; 11 – сепаратор трієрний СТ-12; 12 – металоконструкція даху; 13 – аспіраційна система; 14 – опорна металоконструкція; 15 – бункер аспіраційних відносів; 16 – бункер чистого зерна; 17 – бункер фуражу; 18 – завантажувальна яма

Зерноочисний агрегат ЗАВ-20 складається із завантажувальної ями 18 (рис. 1.1) з спеціальними місцями для проїзду самоскида,

авторозвантажувачем та навісом завантажувальної норії 2 з майданчиком обслуговування 3, самопливних зернопроводів 4, 7, 10 стаціонарного очищувача вороха 5 марки ОВС-25С, що працює в режимі попереднього очищення, ковшових вертикальних норій 6, 9 серії НВ, машини 8 первинного очищення зерна ЗВС-20М, сепаратора трієрного 11 моделі СТ-12, аспіраційної системи 13, опорної металоконструкції 14 з сходами та дахом 12, бункерів 1, 15, 16, 17, обладнаних ручними засувками.

Технологічний процес роботи даного зерноочисного агрегату ЗАВ-20 представлений рис. 1.2.

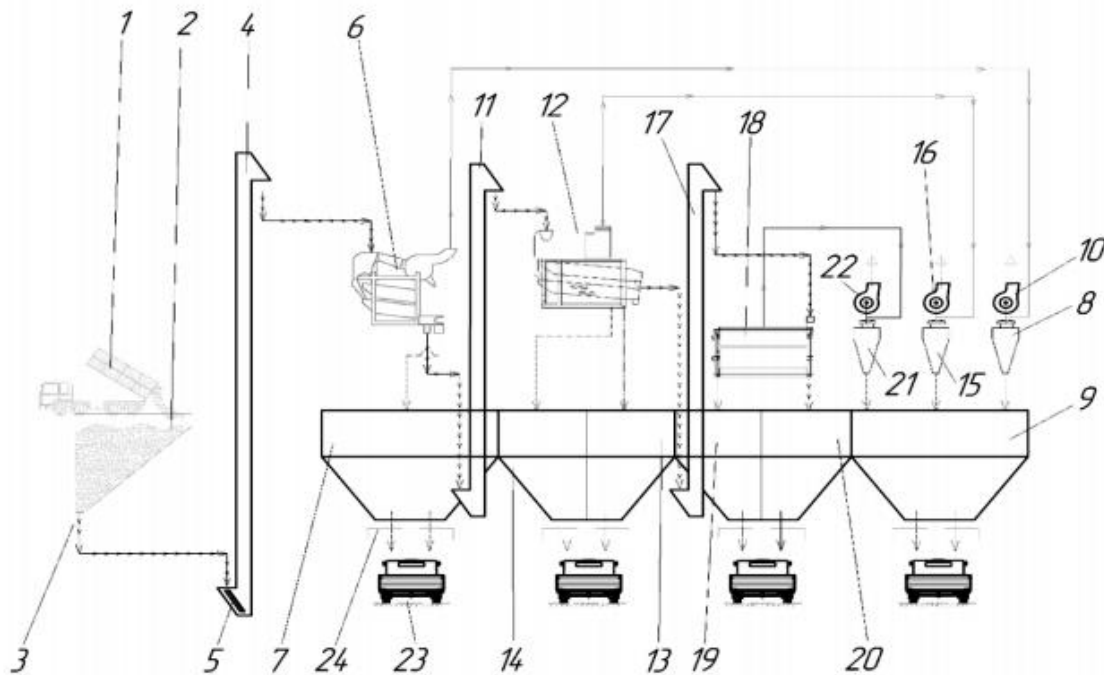


Рисунок 1.2 – Схема технологічного процесу агрегату ЗАВ-20: 1 та 23 – вантажний автотранспорт; 2 – завальна яма; 3 та 24 – засувка з ручним керуванням; 4, 11 та 17 – ковшова вертикальна норія типу НВ; 5 – магнітна пластина; 6 – очисник вороху стаціонарний ОВС-25С; 7 – бункер відходів; 8, 15 та 21 – система аспірації із циклонами; 9 – бункер аспіраційних відходів; 10, 16 та 22 – вентилятори; 12 – машина первинної очистки зерна ЗВС-20М; 13 – бункер великих домішок; 14 – бункер фуражу; 18 – трієрний сепаратор марки СТ-12; 19 – бункер важковіддільних домішок; 20 – бункер чистого зерна.

Аналіз технологічного процесу сучасного зерноочисного агрегату ЗАВ-20 [13] показав, що він спроектований на основі попередніх конструкцій, розроблених понад півстоліття тому [14]. При повному циклі очищення конструкцією ЗАВ-20 передбачено триразовий вертикальний підйом зерна ковшовими норіями, що призведе до значного його травмування. Крім того,

даний зерноочисний агрегат не містить зерносушарки, через що післязбиральна обробка вологого зернового вороху неможлива.

Отже, сучасні зерноочисні агрегати серії ЗАВ морально застаріли, вони вимагають модернізації як устаткування, а й технології.

Зерноочисно-сушильний комплекс серії КЗЗ відрізняється від зерноочисного агрегату ЗАВ наявністю зерносушарки та ємностей, пов'язаних між собою за допомогою транспортного обладнання. Цифра у маркуванні вказує на годинну продуктивність технологічної лінії. В даний час широко використовується ряд подібних зерноочисносушильних комплексів: КЗС-20, КЗС-25, КЗС-40, КЗС-50, КЗС-100. На сучасному етапі розвитку сільського господарства застосування агрегатів серії ЗАВ без зерносушарки нераціонально, оскільки не дозволяє обробляти зерновий ворох підвищеної вологості. Зерноочисно-сушильні комплекси типу КЗЗ можуть застосовуватися як самостійно, так і у складі елеваторів, що відрізняються наявністю зерносклади та більшої різноманітності транспортного обладнання.

Розглянемо конструкцію зерноочисно-сушильного комплексу серії КЗЗ у складі елеватора (рис. 1.3), який додатково має шість силосних зерносклад, розрахованих на одноразове зберігання 18000 тонн зерна, контрольно-пропускний пункт з автомобільними вагами, лабораторію з автоматичним пробовідбірником, відділення відвантаження кінцевої продукції та інші допоміжні споруди.



Рисунок 1.3 – Експлікація будівель та споруд елеватора на 18000 тонн для зберігання зерна: 1 – лабораторія з пробовідбірником та автомобільними вагами; 2 – плоскодонні силоси зберігання; 3 – естакада надсилосних

скребкових транспортерів; 4 та 12 – норійні вежі; 5 – відвантажувальний скребковий конвеєр; 6 – буферний силос сухого зерна з конічним дном; 7 – зерносушарка; 8 – зерноочисний агрегат серії ЗАВ; 9 - приймальний пристрій з автотранспорту; 10 – приймальний пристрій із залізничного транспорту; 11 – буферний силос вологого зерна з конічним дном

Зерно на територію елеватора доставляється на вантажних автомобілях (рис. 1.4) чи залізничному транспорті 2. Спочатку зерновий матеріал направляють на зважування та відбір проб. Після оцінки якості партії зерна видається висновок про його приймання або бракування. У разі прийняття позитивного рішення транспорт вирушає на розвантаження.

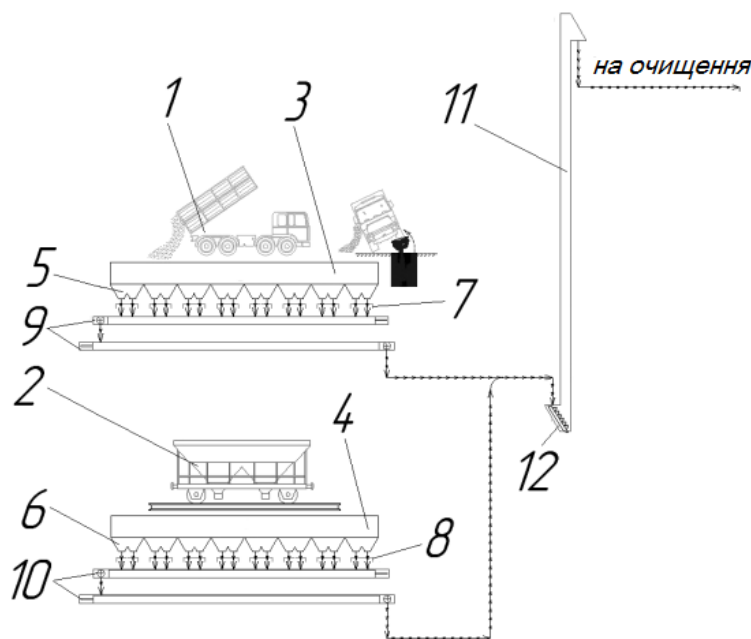


Рисунок 1.4 – Технологічна схема відділення приймання зерна: 1 – вантажний автомобіль; 2 – залізничний транспорт; 3 та 4 – яма; 5 та 6 – приймальні бункери; 7 та 8 – засувки; 9 та 10 – скребкові транспортери; 11 – завантажувальна вертикальна норія; 12 – магнітна пластина

Для видалення з вихідного зернового вороу сторонніх домішок на кожному елеваторі передбачено встановлення різних зерноочисних сепараторів, що відповідають спеціалізації конкретного підприємства. Завдання зерноочисно-сушильного комплексу КЗЗ полягає у доведенні зерна до необхідних кондицій з необхідною чистотою та вологістю. На першому етапі необхідно виділити з вороха великі та легкі домішки, які найбільш шкідливі для збереження зернової маси, оскільки мають підвищену зараженість шкідниками та високий вміст вологи. Схема технологічного процесу зерноочищувального комплексу КЗЗ на елеваторі наведена на рис. 1.5.

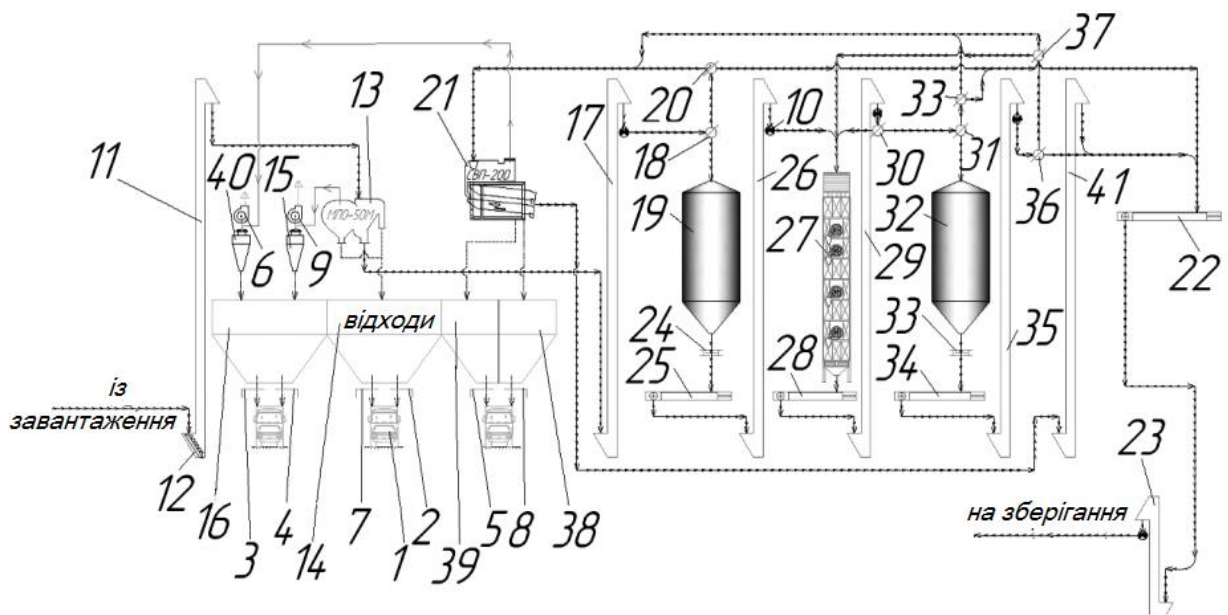


Рисунок 1.5 – Технологічна схема зерноочисно-сушильного комплексу КЗС на елеваторі: 1 – автотранспорт; 2, 3, 4, 5, 7, 8, 24 та 33 – засувка; 6 та 9 – вентилятор; 10 – вогнетривкий пристрій; 11 – норія завантажувальна; 12 – магнітна пластина; 13 – машина попереднього очищення зерна МПО-50М; 14, 16, 38 та 39 – бункер; 15 та 40 – система аспірації відпрацьованих газів; 17, 23, 26, 29, 35 та 41 – норія вертикальна серії НВ; 18, 20, 30, 31, 33, 36 та 37 – перекидний клапан; 19 – силос вологого зерна з конусним дном; 21 – сепаратор вороху СВП-200; 22, 25, 28 та 34 – скребковий конвеєр типу КСВ; 27 – зерносушарка типу СВМ; 32 – силос сухого зерна з конусним дном типу СМК

Аналіз технологічного процесу зерноочисно-сушильного комплексу КЗС показав, що йому притаманні практично всі недоліки зерноочисних агрегатів серії ЗАВ. По суті, він є модернізацією, що дозволяє проводити післязбиральну обробку за підвищеної вологості зерна. Наявність зерносушарки дозволяє проводити очищення пізніх культур, наприклад, кукурудзи або соняшнику. Однак довжина технологічної лінії від цього тільки збільшується, а вплив робочих органів спеціалізованого обладнання посилюється. Отже, сучасні зерноочисно-сушильні комплекси типу КЗС також морально застаріли, вони вимагають модернізації як устаткування, а й технології.

1.2. Сучасні тенденції застосування процесу озонування при обробці зернового матеріалу

Агропромисловий сектор постійно вдосконалюється. Технології, що застосовувались 10...15 років тому, старіють і масово виводяться з виробництва.

Відставання аграріїв від сучасних світових методів сільського господарства призводить до стагнації галузі. Аналіз стану післязбиральної обробки та зберігання зернового матеріалу, проведений у попередньому розділі, показав, що дані технологічні лінії, ґрунтуються на технологіях 70-80 років минулого століття. Серед сучасних способів дезінфекції, стерилізації, дезодорації, знезараження, дезінсекції зернового матеріалу можна виділити процес озонування, який у вітчизняному сільському господарстві мало застосовується. У той час як у низці західних країн озонні технології широко використовуються.

Озон є алотропною модифікацією кисню, що складається з трьох атомів і позначається в хімії молекулярною формулою O_3 . При звичайних умовах даний хімічний елемент є газоподібною речовиною з різким специфічним запахом, завдяки якому він і отримав свою назву.

Основні переваги озону полягають у добрій розчинності газу у воді, в його потужних окисних властивостях та відновленні чистоти повітря, а також у відсутності токсинів в оброблюваному матеріалі, дезінфікуючих, фунгіцидних, бактерицидних діях даної речовини, які знищують більшість бактерій, вірусів, грибів.

Однак, незважаючи на те, що перше обладнання, що виробляє озон, було розроблено в 1857 німецьким винахідником Ернстом Вернером фон Сіменсом [18] і навіть запатентовано в 1896 всесвітньо відомим вченим Миколою Тесла [19], до початку XXI століття широкого практичного впровадження в сільське господарство дані установки не отримали. Основним стримуючим фактором була собівартість виробництва газу, яка останнім часом скоротилася у багато разів. Технічний прогрес сприяв створенню відносно недорогих компактних озонаторів, що дозволило переглянути ставлення до озонних технологій [18].

Основною перевагою озону перед іншими речовинами є можливість одержання газу безпосередньо з повітря. Озон отримують у місці використання у вигляді застосування спеціалізованого устаткування, званого озонатором. Впровадження процесу озонування до агропромислового сектору дозволить значно скоротити виробництво, транспортування та

зберігання різних стимуляторів росту, антибіотиків, отрутохімікатів, які негативно впливають на здоров'я людей.

Крім того, застосування озонної обробки знизить надходження хімічних препаратів у ґрунт та рослинну сировину, що позитивно вплине на екологію, забруднення довкілля, чистоту продуктів харчування.

Озонування сприяє збільшенню термінів безпечного зберігання зернового матеріалу у 1,2...2,0 рази [11, 12]. Схема зерносховища, обладнаного системою озонної обробки американської фірми Oxidation Technologies, представлена на рис 1.8. Система озонування функціонує в такий спосіб. Атмосферне повітря з навколишнього середовища через фільтр 8 всмоктується в компресор 7, звідки під тиском подається в осушувач 6. Далі з повітряного потоку видаляються механічні домішки та волога. зневоднене «стиснене» повітря надходить у концентратор 5, який відокремлює азот та інші гази. У результаті в повітряному потоці концентрація чистого кисню становить 93%, що забезпечує більшу продуктивність генератора 4 озону. У процесі роботи озонаторної установки відбувається її нагрівання, тому оптимальний температурний режим підтримується за допомогою водяного охолоджувача 3. Озон, що виробляється в озонаторі 5, під тиском подається в зерносховище 1, обладнане системою вентиляції. Вентилятори 2 розташовані по периметру, створюють повітряний потік, який за рахунок турбулентності змішується з окислювачем, утворюючи озоноповітряну суміш. Газ рівномірно розподіляється в зерні, дезінфікуючи його. Озоноповітряна суміш проходить крізь зерно та виводиться із зерносховища 1 у навколишнє середовище через дах. Оскільки молекула озону вкрай нестабільна, вона швидко розпадається до кисню, збагачуючи повітря [20].

Озонна обробка зерносховища дозволяє не лише збільшити термін безпечного зберігання зернового матеріалу, але й надійно запобігає зараженню вороха шкідниками, усуває неприємні запахи, відлякує птахів, гризунів тощо.

Щоденне озонування протягом 30 хв поверхні насипу зерна призводило до накопичення газу всередині бурта. Причому озон проникає у зернову купу на глибину до 3 м і згодом розпадається там на протязі тижня спостережень. Продування крізь зерновий шар озоноповітряного потоку призводило до виявлення даного газу на відстані до 2 м від джерела озонування. Встановлено, що озонна обробка вороху з концентрацією озону 50 мг/м^3 призводить до вмісту 15 мкг цієї речовини у кілограмі зерна після припинення операції. При цьому дегазація протягом тижня зменшила вміст залишкового газу до 7 мкг/кг, а дводенна витримка – до 0,7 мкг/кг [18]. Отже,

озон здатний мігрувати зерновою масою, накопичуючись у ній та сприятливо діючи на якісні показники зерна або насіння протягом тривалого часу.

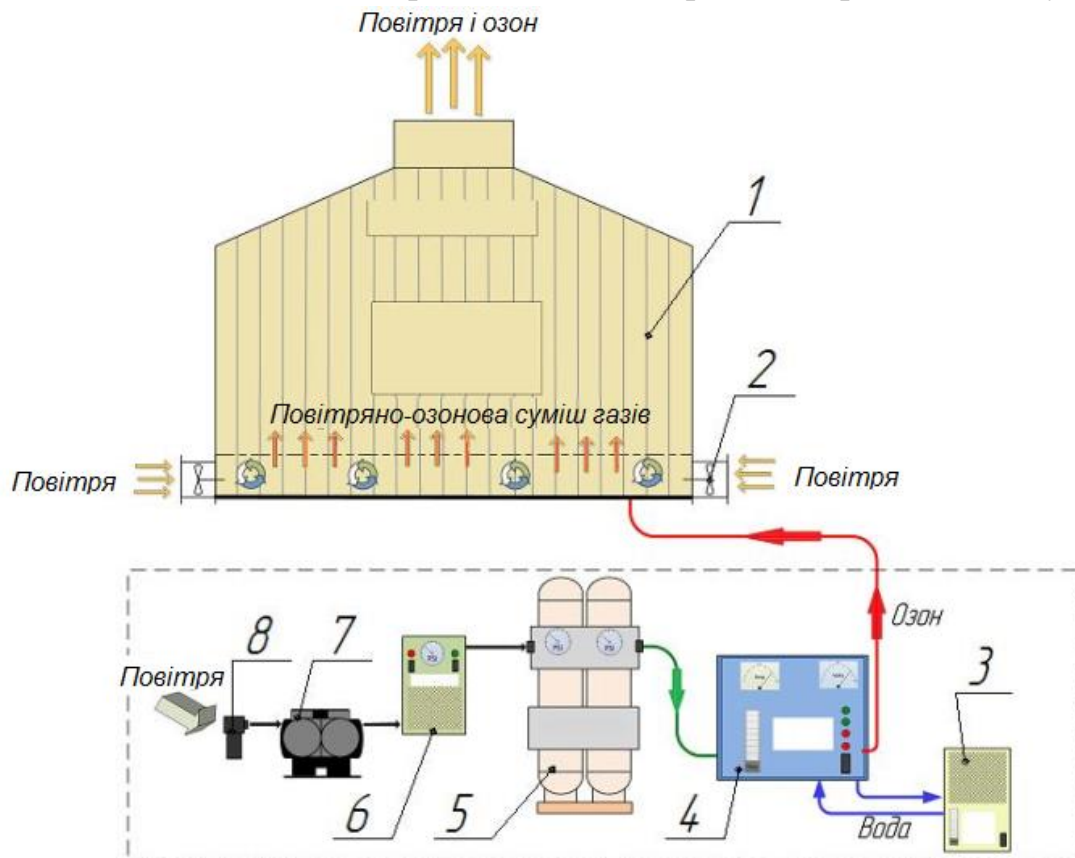


Рисунок 1.8 – Система озонування зерносховища американської фірми "Oxidation Technologies": 1 – зерносховище; 2 – вентилятор; 3 – охолоджувач води; 4 – генератор озону; 5 – концентратор кисню; 6 – осушувач повітря; 7 – повітряний компресор; 8 – фільтр

Незважаючи на велику кількість переваг, процес озонування має кілька недоліків. Основною проблемою при практичному застосуванні озону в сільському господарстві є небезпека високих концентрацій газу для здоров'я людей. Процес озонування слід проводити в герметичних спорудах або за відсутності людини та тварин.

Людина відчуває запах даного газу при його вмісті 0,01...0,05 мг у кубічному метрі повітря. У людей подразнення дихальних шляхів починається при концентрації озону в озоноповітряній суміші 1 мг/м³. У природі газ утворюється при грозовому розряді, але його вміст не перевищує 0,1 мг у кубічному метрі повітря, що не тільки не чинить шкідливого впливу на людину, але навіть справляє незначну терапевтичну дію. Люди та тварини без наслідків переносять перебування в озоноповітряній суміші, якщо вміст озону в ній не перевищує 0,2 мг/м³.

У населених пунктах середньодобовий рівень ГДК озону в атмосферному повітрі не повинен перевищувати 0,03 мг/м³. Максимальна

разова гранично-допустима концентрація газу при озонуванні, яку може отримати людина без шкоди здоров'ю, становить 0,16 мг/м³ [21].

Саме шкідливий вплив озону на здоров'я людини є основним фактором, який стримує впровадження процесу озонування у виробництво. На багатьох підприємствах, де немає достатньої вентиляції та автоматизації, присутність робітників у безпосередній близькості від спеціалізованого обладнання призводило до погіршення самопочуття людей. Першою ознакою отруєння людини озоном є солодкуватий смак у ротовій порожнині, при появі якого необхідно негайно покинути приміщення та зупинити процес.

Вирішення цієї проблеми полягає в автоматизації процесу озонування та його здійснення у замкнутому контурі без присутності людей. Тому для запобігання отруєнню персоналу озоном необхідно робочу зону оператора оснастити сигналізаторами перевищення рівня ГДК. При цьому необхідно контролювати концентрацію небезпечного газу не тільки всередині обладнання, а й зовні. Тим самим можна запобігти поширенню озону за межі допустимої зони. У місцях можливих витоків слід передбачити конструкцією наявність спеціалізованих каталізаторів озону, що розщеплюють до кисню. Бажано, щоб комплекс озонування мав замкнутий контур, що дозволяє повторно використовувати залишковий газ у технологічному процесі. Автономність обладнання, система сигналізації, наявність деструктора дозволить повною мірою реалізувати безпеку операції. Сучасний рівень технічного прогресу надає таку можливість.

Наступним ймовірним недоліком застосування озонних технологій при зберіганні зерна та насіння виступає можливість утворення молекул води в процесі розкладання залишкового озону. У разі появи великої кількості вологи це може призвести до збільшення вологості зернового вороху і до зниження якості матеріалу, що зберігається, а також до розвитку грибків, бактерій, мікроорганізмів.

Для того, щоб залишковий озон не вступав у небажані хімічні реакції, його необхідно, попередньо очистивши, повертати у технологічний процес. Це не тільки запобігатиме утворенню вологи, а й знизить ймовірність попадання небезпечного газу до робочої зони оператора, а також підвищить продуктивність озонатора, зменшивши собівартість процесу озонування. Наявність каталізаторів у можливих місцях витоків дозволить даний процес зробити контрольованим та безпечним.

1.3. Висновки по розділу 1

Технології, які використовуються для післязбиральної обробки зерна, застаріли. Необхідно впроваджувати у виробництво прогресивні технології та технічні засоби обробки та зберігання зернового матеріалу. Необхідно при очищенні зернового вороху використовувати принцип фракціонування, при сушінні свіжоприбраного вологого врожаю інтенсифікувати процес вологовіддачі, при зберігання матеріалу застосовувати сучасні способи дезінфекції, при обробці насіння потрібно проводити заходи щодо підвищення їх посівних якостей.

Впровадження процесу озонування в технологічну лінію післязбиральної обробки дозволить усунути більшість із виявлених недоліків.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЗОНУВАННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ

2.1. Огляд теоретичних досліджень процесу озонування зернового матеріалу

Процес озонування у сільському господарстві вивчається нещодавно. Незважаючи на це, є кілька теоретичних робіт із взаємодії озону із зерном чи насінням. Насіння має деяку енергію (W), яка в процесі життєдіяльності витрачається на подолання всіх можливих несприятливих умов та розвиток рослини.

Вчений Нормов Д.А. [18] вважає, що озонування забезпечує оптимальний стан посівного матеріалу, що сприяє накопиченню певного енергетичного запасу (WS), тому що немає необхідності протистояти деяким негативним факторам, властивим вегетації культури у традиційних технологіях. Енергія (W) у подальшому витрачається на накопичення продуктів асиміляції (WA), зростання рослини (WR), формування сухого речовини (WJ), обмін речовин (WO). В результаті Д.А. Нормов припустив, що проростання насіння є функцією енергетичного балансу насіння, тобто:

$$D = f(W), \quad (2.1)$$

де D – проростання насіння, %;

$f(W)$ – функція енергетичного балансу насіння.

Енергетичний баланс насіння традиційної технології складається з наступних складових енергій [21], тобто:

$$W = W_{\text{ж}} + W_{\text{з}} + W_{\text{н}} + W_{\text{с}} + W_{\text{об}}, \quad (2.2)$$

де $W_{\text{ж}}$ – енергія, що витрачається на запас живильних речовин, ккал/кг;

$W_{\text{з}}$ – енергія, що витрачається на зростання рослини, МДж/ц;

$W_{\text{н}}$ – енергія, що витрачається на накопичення продуктів асиміляції, МДж/ц;

$W_{\text{с}}$ – енергія, що витрачається на формування сухої речовини, МДж/ц;

$W_{\text{об}}$ – енергія, що витрачається на обмін речовин, МДж/ц;

Якщо насіннєвий матеріал обробити озоною сумішшю, то в енергетичний баланс додається енергія, яка вивільняється в насінні в результаті дії озону W_{oz} , тобто:

$$W' = W_{oz} + W_{ж} + W_{з} + W_{н} + W_{с} + W_{об}, \quad (2.3)$$

де W' - загальна енергія, накопичена в озонованому насінні;

W_{oz} - енергія, що вивільняється в насінні в результаті передпосівного озонування, МДж/ц.

Д.А. Нормов зазначає, що озонування дозволяє отримати деяку частину додаткової енергії, необхідної живому організму, яким є зерно, для підтримки життєвих функцій, що забезпечує проростання насіння, а потім і врожайність культури [21]. Приріст енергії (W_{oz}) залежить від режиму озонування і може бути представлений наступним виразом [14]:

$$W_{oz} = \frac{I_n}{n_q} \cdot \frac{I}{e \cdot (n_e \cdot \mu_e + n_- \cdot \mu_- + n_+ \cdot \mu_+)} \cdot \frac{\lambda}{\beta}, \quad (2.4)$$

де I_n - номінальний струм озонатора;

n_q - максимальна кількість пар протилежних заряджених частинок;

I - густина струму;

e - заряд електрона;

n_e, n_-, n_+ - густина відповідно електронів, негативно і позитивно заряджених іонів;

μ_e, μ_-, μ_+ - рухливість відповідно електронів, негативно і позитивно заряджених іонів;

λ - середня довжина вільного пробігу електронів у газі;

β - коефіцієнт, який враховує частку енергії, що відає при зіткненні із частинкою.

Але отримана залежність не становить практичного інтересу, так як має невідомі, які дозволяють розрахувати чисельне значення приросту енергії рахунок застосування процесу озонування.

Цікаві теоретичні дослідження з озонної дезінфекції зернового матеріалу наведені вченими [19-21], кількість озону, що подається для обробки зараженого вороху, можна умовно поділити на чотири частини. Перша частка Q_1 витрачається насичення зерна газом. Друга частина Q_2 розкладається в залежності від поточних параметрів довкілля. Третя частка Q_3 йде розкладання токсинів. Четверта частина Q_4 залишається як залишковий озон. При цьому рівняння балансу має наступний вигляд:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (2.5)$$

де Q – загальна кількість озону, що надходить на дезінфекцію, мг;

Q_1 – кількість озону, що поглинається зерном, мг;

Q_2 – кількість саморозкладного озону, мг;

Q_3 – кількість озону, що витрачається на розкладання токсинів, мг;

Q_4 – кількість залишкового озону, мг.

Для знаходження кількості озону, що поглинався зерном (Q_1) було проведено експеримент, в якому концентрацію газу заміряли до входу в зерновий матеріал та на виході з нього. В результаті встановлено, що пропуск озоноповітряної суміші через зерно призводить до зміни її параметрів. Концентрація озону на вході до зернового матеріалу вища, ніж на виході з нього. Отже частина газу абсорбується в зерні (рис. 2.1) [19]. Площа, обмежена кривими 1 і 2, помножена на витрату озоноповітряної суміші, показує загальну кількість озону (Q) зернового матеріалу, що подається на дезінфекцію. Згідно залежності 2.5, попередньо розбивши графік на ділянки, провівши апроксимацію, використовуючи програму Advanced Grapher, виконавши ряд проміжних розрахунків, вченим вдалося встановити орієнтовні значення рівняння балансу (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4).

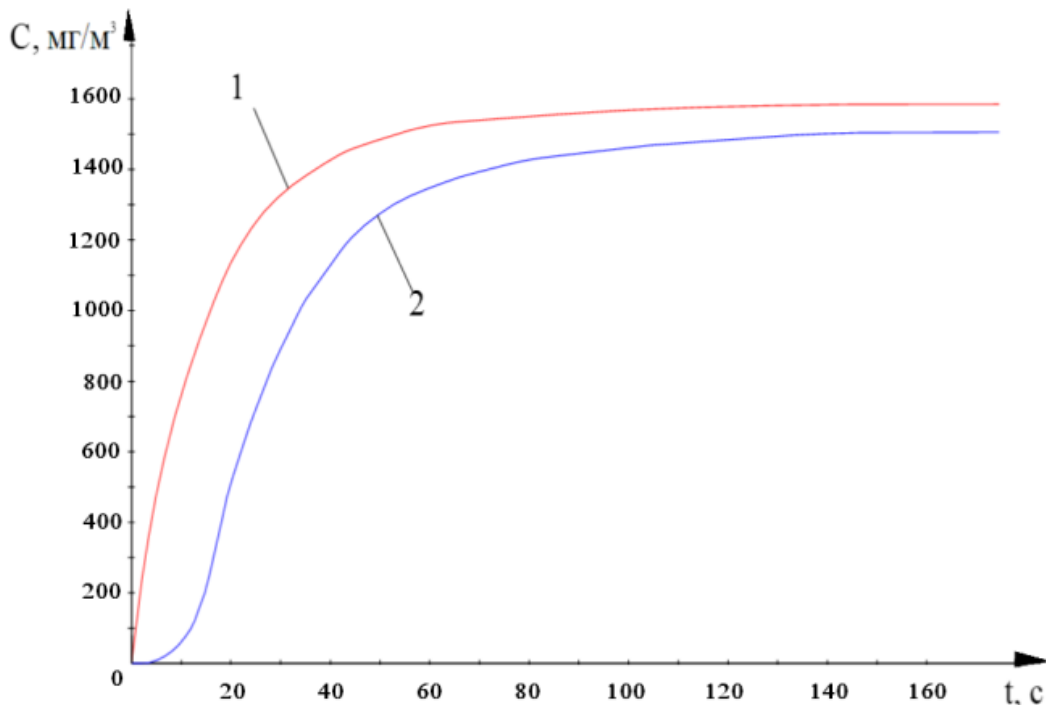


Рисунок 2.1 – Зниження концентрації озону в озоноповітряній суміші при пропуск газу через 1 кг зерна [19]: 1 – концентрація озону в озоноповітряній суміші на вході у зерно пшениці; 2 – концентрація озону в озоноповітряній суміші на виході із зерна пшениці

В результаті було встановлено, що для насичення 1 кг пшениці озимої озоном потрібно близько $Q_1 = 26$ мг газу, а для розкладання токсинів за допомогою процесу озонування на кожен кілограм оброблюваного зернового матеріалу необхідно приблизно $Q_3 = 24$ мг цієї речовини. Дезінфекцію слід проводити протягом 25 хв. Аналогічні дослідження, проведені на кукурудзі, показали, що з насичення 1 кг зерна цієї культури озоном необхідно близько $Q_1 = 11$ мг газу, а для розкладання токсинів за допомогою озонування на кожен кілограм оброблюваного матеріалу потрібно приблизно $Q_3 = 9$ мг даної речовини [19].

Відомі [17] теоретичні дослідження з інтенсифікації процесу сушіння вирощеного врожаю рахунок застосування процесу озонування. Вони засновані на тому, що зерно – це не лише сировина для подальшої переробки, а й і живий організм, у якому протікає низка біологічних процесів. Тому зернівка не просто вбирає вологу чи абсорбує озон, а й включає їх у вигляді ферментів у свій фізіологічний цикл, тобто асимілює.

При сушінні зерна у вигляді озоноповітряної суміші іон кисню, що утворився при розпаді озону, виконує роль адсорбенту, тобто, частинки, що поглинає іншу речовину. При цьому сам газ вступає в хімічну реакцію з матеріалом, що висушується з водою. Використання озоноповітряної суміші з концентрацією озону $4,7 \dots 10,0$ мг/м³ достатньо протікання біохімічних процесів, що прискорюють процес сушіння зерна [17].

Інтенсифікація процесу сушіння зерна за допомогою впливу озону здійснюється за рахунок виділення деякої кількості теплоти, що змінює коефіцієнт дифузії. У цьому рівняння балансу має такий вид [17]:

$$Q_T = Q_{PO1} + Q_{PO2} + Q_g + Q_b, \quad (2.6)$$

де Q_T – загальна кількість теплоти, що виділяється від взаємодій озону;
 Q_{P1} – теплота, що виділяється від рекомбінації озону у сушильному агенті;

Q_{P2} – теплота, що виділяється від рекомбінації озону на поверхні зерна;

Q_g – теплота, що виділяється рахунок реакції дихання;

Q_b – теплота, утворена за рахунок вторинних перетворень всередині зерна.

Теплота Q_{P1} , що виділяється від рекомбінації озону в сушильному агенті, можна визначити за формулою [17]:

$$Q_{PO1} = n_{po} \cdot g_p \cdot m_o, \quad (2.7)$$

n_{po} – коефіцієнт розпаду озону у сушильному агенті;
 g_p – питома теплота, що виділяється від рекомбінації у сушильному агенті;
 m_o – маса синтезованого озону.

Однак ця теплота не вся використовується для нагрівання зерна, а лише її частину, яку можна визначити за формулою:

$$Q_{PO1ч} = n \cdot n_{po} \cdot g_p \cdot m_o, \quad (2.8)$$

де $Q_{PO1ч}$ – частина теплоти, що виділяється від рекомбінації озону в сушильному агенті та використовується для нагрівання зерна;
 n – коефіцієнт корисно використовуємої теплоти.

Теплоту Q_{PO2} , що виділяється від рекомбінації озону на поверхні зерна, можна знайти за наступною залежністю [16]:

$$Q_{PO2} = n_{пов} \cdot g_{пов} \cdot m_o, \quad (2.9)$$

де $n_{пов}$ – коефіцієнт розпаду озону на поверхні зерна;
 $g_{пов}$ – питома теплота, що виділяється від рекомбінації лежить на поверхні зерна.

Теплоту Q_g , що виділяється за рахунок реакції дихання, що ініціюється озоном, можна визначити за формулою [17]:

$$Q_g = n_g \cdot g_g \cdot m_o \cdot m_{oo}, \quad (2.10)$$

n_g – частина озону, що ініціює біохімічні реакції;
 g_g – питома теплота, що виділяється під час дихання зерна;
 m_{oo} – маса зерна, що обробляється озоном.

Теплота, Q_b , що виділяється за рахунок реакції дихання, що ініціюється озоном, можна визначити за формулою [15]:

$$Q_b = n_b \cdot g_b \cdot m_o \cdot m_{oo}, \quad (2.11)$$

де n_b – частина озону, що приймає участь у внутрішніх перетвореннях;
 g_b – питома теплота, що виділяється при внутрішніх перетвореннях.

В результаті численних перетворень Т.П. Троцька отримала наступну залежність

$$Q_T = 142,5 \cdot \theta_o \cdot L \cdot (n \cdot n_{po} + n_{пов}) + \theta_o \cdot L \cdot m_{oo} \cdot (n_g \cdot g_g + n_b \cdot g_b), \quad (2.12)$$

де θ_o – концентрація озону, кг/м³;
 L – витрата сушильного агенту, м³/год.

З іншого боку, загальну кількість теплоти, що відрізняється від взаємодій озону, можна знайти на основі експерименту за формулою [17]:

$$Q_T = m_{oo} \cdot (T_o - T_k) \cdot c_3, \quad (2.13)$$

де T_o – температура зерна при проведенні дослідів, °С;
 T_k – температура зерна в контролі, °С;
 c_3 – теплоємність зерна.

Порівнявши два попередні вирази, отримали [14]:

$$m_{oo} \cdot (T_o - T_k) \cdot c_3 = 142,5 \cdot \theta_o \cdot L \cdot (n \cdot n_{po} + n_{пов}) + \theta_o \cdot L \cdot m_{oo} \cdot (n_g \cdot g_g + n_b \cdot g_b), \quad (2.14)$$

Звідси обчислено градієнт температури [14]:

$$\Delta T = \frac{Q}{m_{oo} \cdot c_3}, \quad (2.15)$$

де ΔT – градієнт температури, °С.

Отже, озонування сприяє зміні градієнта температури, що спричиняє коригування коефіцієнта дифузії [14]:

$$\alpha_m = a_{m0} \cdot \left(\frac{T_3}{273} \right)^k, \quad (2.16)$$

$$\alpha_m = a_{m0} \cdot \left(\frac{T_3 + \Delta T}{273} \right)^k = a_{m0} \cdot \left(\frac{T_3 + \frac{Q}{m_{oo} \cdot c_3}}{273} \right)^k = a_{m0} \cdot \left(\frac{T_3 \cdot m_{oo} \cdot c_3 + Q}{273 \cdot m_{oo} \cdot c_3} \right)^k, \quad (2.17)$$

де a_{m0} – коефіцієнт дифузії вологи за температури 20 °С, м²/с;
 T_3 – температура зерна, °С.
 k – коефіцієнт.

В кінцевому підсумку зміниться рівняння неізотермічного перенесення вологи [17]:

$$R = \alpha_m \cdot \rho_0 \cdot (\Delta W - \delta \Delta T) = a_{m0} \cdot \left(\frac{T_3 \cdot m_{oo} \cdot c_3 + Q}{273 \cdot m_{oo} \cdot c_3} \right)^k \rho_0 \cdot (\Delta W - \delta \Delta T), \quad (2.18)$$

ρ_0 – густина сухої речовини зерна;

ΔW – градієнт вмісту вологи;

δ – термоградієнтний коефіцієнт, %/°C.

На підставі представлених виразів висунуто гіпотезу механізму дії озону на процес дезінфекції та сушіння зерна [17].

Таким чином, представлені теоретичні дослідження з озонування зерна та насіння [8-17] в основному носять апроксимативний характер, що не дозволяє отримати точних значень шуканих величин. Як правило, практичне застосування даних залежностей неможливе, вони лише дають уявлення про природу процесу озонування.

2.2. Використання технічних пристроїв для зниження зараженості зерна

Контроль наявності шкідників у бункерній зерновій масі, що транспортується на післязбиральну обробку, є невід'ємною частиною технологічного процесу підготовки зерна та насіння. При цьому деяка частина комах і кліщів при очищенні потрапляє в зерноочисні агрегати, надалі заражаючи весь матеріал, що обробляється, а інша частка прихованої зараженості ефективно не виділяється на сепараторах, надходячи на зберігання разом із основним продуктом. Оскільки операції з дезінфекції на ЗАВах та елеваторах найчастіше не проводяться, тому втрати зерна від життєдіяльності шкідників мають високе значення. У зв'язку з цим, найбільш раціонально знезаражувати зернову масу до надходження на очищення, тобто. під час транспортування.

Аналіз сучасних засобів дезінфекції зерна, показав, що найбільш ефективним та перспективним є процес озонування. На відміну від більшості хімічних препаратів, озонна обробка не залишає в зерновій масі жодних канцерогенів чи шкідливих речовин, а також не викликає забруднення довкілля. За ефективністю знезараження зерна озон не поступається пестицидам. Озонування знищує зернового точильника, довгоносиків, малого борошняного хрущака та інших комах [14],

Слід зазначити, що озонна обробка при високих або великих концентраціях пригнічує розвиток патогенів, наприклад, личинка, яйце, лялечка [18]. Крім того, виявлено пригнічення токсиногенних грибів

"Alternaria", "Aspergillus", "Fusarium", "Penicillium", «Rhizopus» [1, 10] та бактерій [16].

На даний момент зерновозів, які могли б при транспортуванні здійснити знезараження зернового вороху, немає. Як правило, використовується серійний самоскид із закритим за допомогою тенту кузовом. При цьому через недостатню герметичність, а також внаслідок значного часу укриття, вміст у зерновій купі домішок, вологи та шкідників при транспортуванні тільки збільшується. Тому бажано проводити дезінсекцію зерна, що надходить на зерноочисний агрегат або елеватор у кузовах вантажного автомобіля [20].

При використанні даної технології знезараження зерна є деякі недоліки. Насамперед, це тривалий процес обробки і висока трудомісткість операції, так як потрібне застосування ручної праці. Це у свою чергу сприяє попаданню в кузов автомобіля бруду з взуття робочих, опади, сторонні великі домішки. Слід також враховувати, що деяка частина шкідників ще до стерилізації залишає зернову масу і заражає сусідні об'єкти. Крім того, концентрація озону в робочій зоні оператора значно перевищує рівень ГДК.

З метою мінімізації часу операції бажано обробку зернового вороха проводити одночасно із транспортуванням зерна, тобто зробити установку озонування не стаціонарного, а мобільного. Сучасний рівень науки і техніки дозволяє виготовляти озонатори, що працюють від електричної системи автомобіля (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Озонатор, що працює від електричної мережі автомобіля

На даний момент мобільні озонаторні установки, що працюють від бортової мережі автомобіля, переважно призначені для знезараження салону

автотранспорту. Збільшення продуктивності таких озонаторів дозволить їх використовувати більш складних операціях.

2.3. Висновок по розділу 2

Зараженість зерна можна значно знизити рахунок застосування процесу озонування. Обробка озоном бункерного зернового вороху в кузові зерновоза дозволить скоротити час та кошти на дезінфекцію, отримавши якісніший вихідний матеріал. Технологія озонного знезараження, що застосовується, зерна в серійних самоскидах має масу недоліків. Тому слід у перспективі налагодити випуск спеціалізованих зерновозів, обладнаних системою озонування та виключають попадання сторонніх предметів усередину кузова. Одним з варіантів є запропоноване технічне рішення, реалізувати яке можна як на автомобільному, так і залізничному транспорті. Сучасний рівень технічного прогресу дозволяє реалізувати запропоноване технічне рішення. Вже відомі озонатори, які працюють від мережі 12 В.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ ОЗОНОПОВІТРЯНОЮ СУМІШШЮ

3.1. Установа для обробки зернового матеріалу озоноповітряною сумішшю

Для проведення озонування зерна та насіння було розроблено технологічну схему установки з обробки зернового матеріалу озоноповітряною сумішшю. Вона складається з повітряного компресора 1 (рис. 3.1), рефрижераторного осушувача 2 повітря, озонатора 3, металевої ємності 5 об'ємом 50 л з датчиком 4, що визначає концентрацію озону.

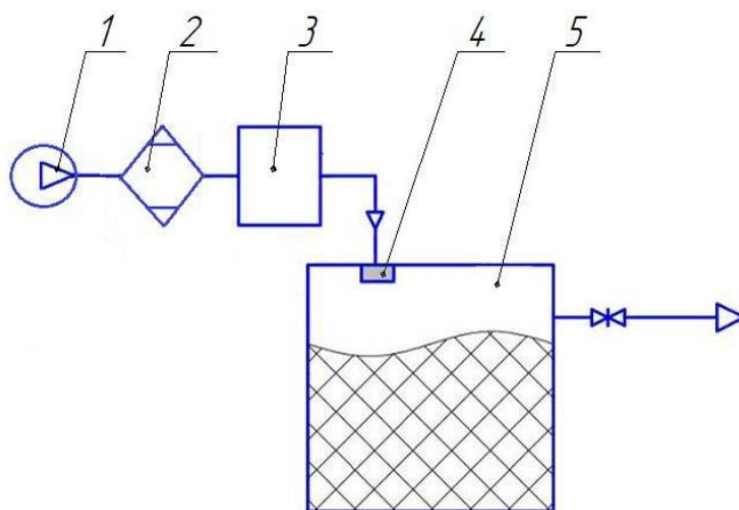


Рисунок 3.1 – Технологічна схема установки з обробки зерна: 1 – компресор; 2 – осушувач повітря; 3 – озонатор; 4 – датчик озону; 5 – ємність зернового матеріалу озоноповітряною сумішшю

Технологічний процес роботи установки з озонування зернового вороху протікає таким чином: повітря з атмосфери засмоктується компресором 1 (рис. 3.1) та під тиском до 0,2 МПа (2 атмосфери) подається в осушувач рефрижераторний 2, який його зневоднює. Озонатор 3 серії ОВ регульований, що дозволяє змінювати концентрацію газу. Генерація озону відбувається з повітря завдяки кільком імпульсним перетворювачам напруги та частоти, а також кільком розрядникам з керамічним бар'єром. За допомогою імпульсного блоку живлення на розрядники подається напруга пробною бар'єру, внаслідок чого із трьох молекул кисню утворюється дві молекули озону, тобто, під впливом "тихого" електричного розряду протікає реакція $3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{O}_3$. Таким чином, зневоднений повітряний потік, проходячи через озонатор 3, збагачується озоном і подається в систему аерації.

Концентрацію газу визначали за допомогою установки датчика 4 (рис. 3.2) усередину ємності 5.

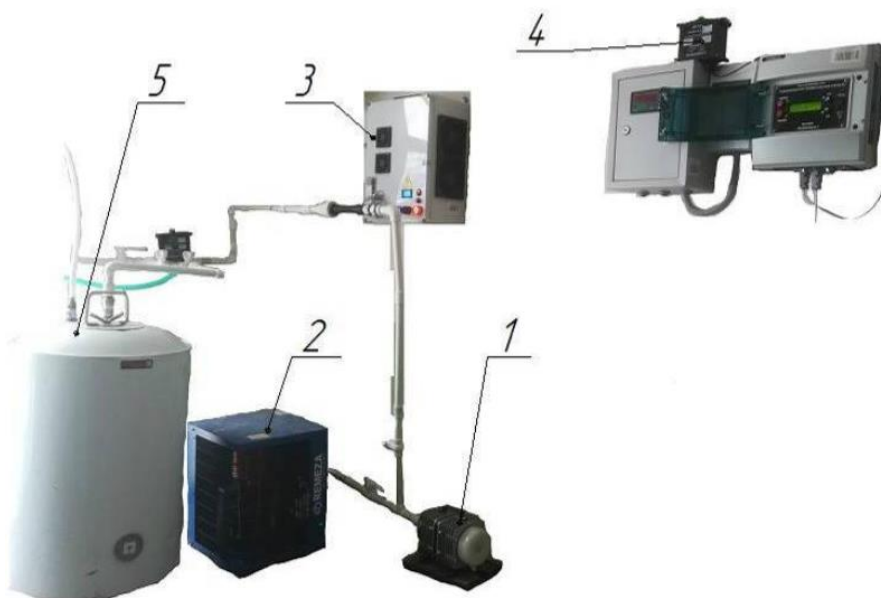


Рисунок 3.2 – Установка для озонування зернового матеріалу: 1 – компресор; 2 – осушувач повітря; 3 – озонатор; 4 – датчик sigma sts-f-2; 5 – ємність

Значення концентрації озону реєструються на інформаційному табло датчика sigma sts-f-2. Усього до приладу можна підключити до чотирьох датчиків 4 (рис. 3.2). При перевищенні рівня гранично допустимої концентрації озону в робочій зоні оператора газоаналізатор сигналізує про це сильним звуковим сигналом. Датчик sigma sts-f-2 забезпечує безперервне перетворення визначеної величини в електричний уніфікований аналоговий вихідний сигнал силою струму 4...20 мА. Межі вимірювання концентрації озону в озоноповітряній суміші даним газоаналізатором становлять 0...20 мг/м³ при допустимій відносній похибці приладу до 10% від значення, що реєструється.

3.2. Конструкція зерновоза обладнаного системою озонування

Для виявлення доцільності попереднього озонування вологого зернового матеріалу перед його сушінням було розроблено конструкцію зерновоза обладнаного системою озонування. Кузов 1 (рис. 3.3) вантажного автомобіля необхідно виготовити герметичним. Для цього зерновоз обладнується рухомим дахом 3, який працює від гідравлічного, пневматичного або електричного приводу. У несучих конструкціях кузова розміщуються системи подачі озоноповітряної суміші 5 і забору 6

відпрацьованого робочого газу, який надалі після очищення буде використовуватися повторно.

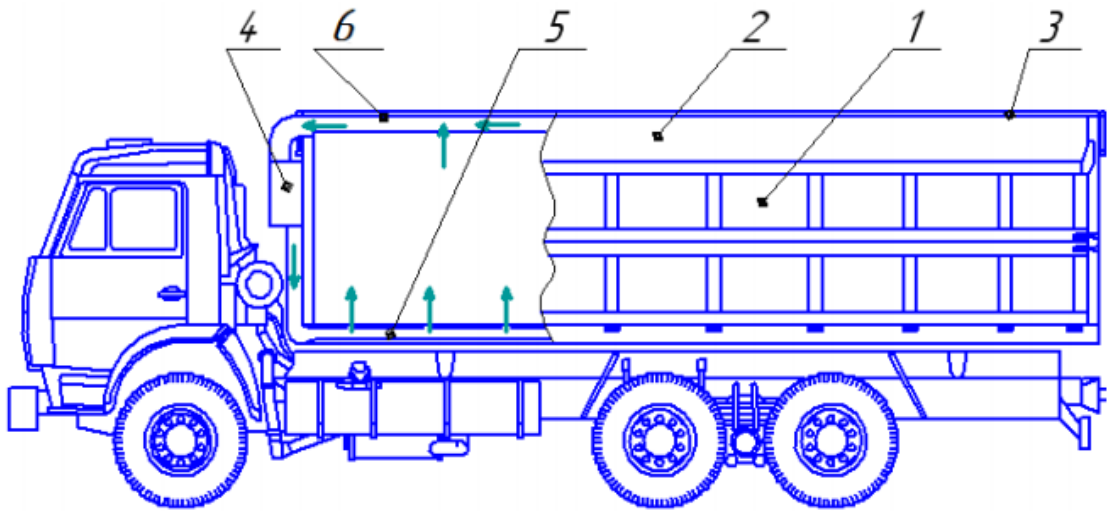


Рисунок 3.3 – Зерновоз, обладнаний системою озонування: 1 – кузов вантажного автотранспорту; 2 – надставка кузова; 3 – рухомий дах з автоматичним приводом; 4 – озонатор; 5 – система подачі озоноповітряної суміші до кузова; 6 – система забору рециркуляційного потоку відпрацьованого робочого газу з кузова

Система озонування кузова вантажного автотранспорту включає фільтр 5 (рис. 3.2), напірно-витяжний вентилятор 6, редуктор тиску 7, датчики 8 і 13 концентрації вмісту озону в озоноповітряній суміші, триходові крани 9, 12, озонатор 10 деструктор залишкового газу 11 і т.д.

Верхні повітроводи системи забору 14 (рис. 3.4) відпрацьованого рециркуляційного потоку робочого газу з кузова вантажного автотранспорту розміщені в борту надставки 2. З ним з'єднані три поздовжні газоходи, два з яких розташовані в бортах, а один – під рухомим дахом. У кожному повітроводі розміщені повітрозабірники 9 (рис. 3.3) з певним кроком, який можна знайти за формулою:

$$l_{\pi} = \frac{L_k}{3}, \quad (3.1)$$

де l_{π} – крок повітрозбірників, м;

L_k – довжина кузова, м.

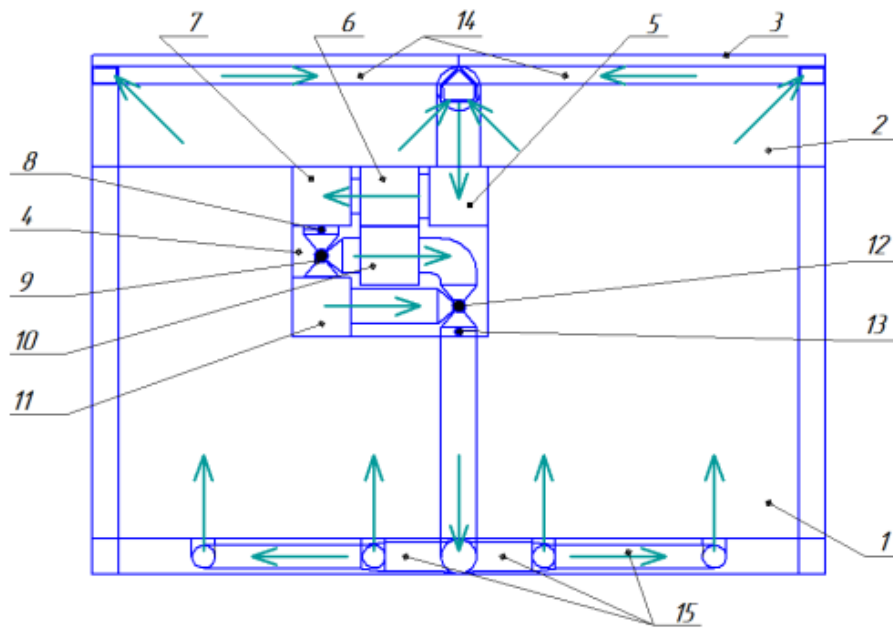


Рисунок 3.4 – Схема поперечного перерізу кузова зерновоза: 1 – кузов вантажного автотранспорту; 2 – надставка кузова; 3 – рухомий дах з автоматичним приводом; 4 – озонаторна установка; 5 – повітряний фільтр; 6 – напірний вентилятор; 7 – редуктор тиску з відведенням конденсату; 8 – датчик концентрації озону в рециркуляційному потоці відпрацьованого газу; 9 та 12 – триходовий кран; 10 – озонатор; 11 – деструктор озону; 13 – датчик концентрації озону в озоноповітряній суміші, що подається в кузов; 14 – система забору відпрацьованого рециркуляційного потоку робочого газу з кузова; 15 – система подачі робочого газу до кузова

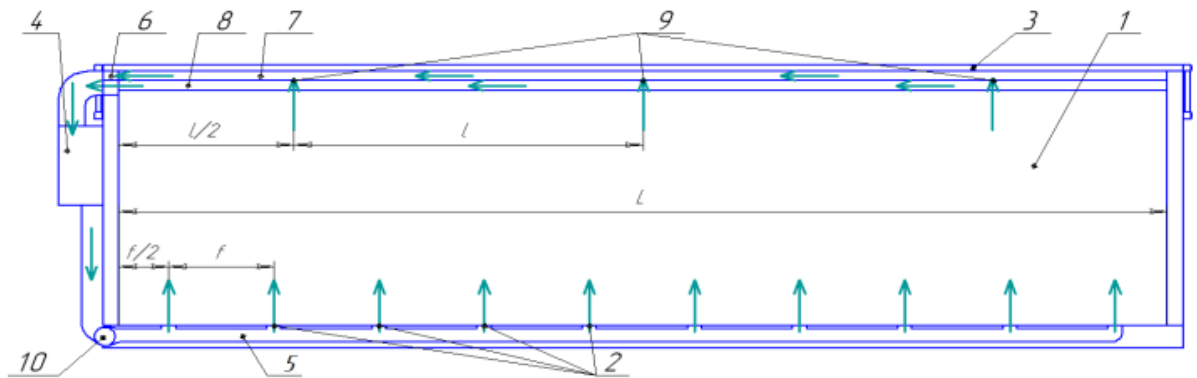


Рисунок 3.5 – Схема поздовжнього розрізу зерновоза: 1 – кузов; 2 – нагнітальні форсунки; 3 – рухомий дах; 4 – озонатор; 5 – поздовжні повітроводи системи подачі газу; 6 – поперечний повітропровід системи рециркуляції відпрацьованого газу; 7 і 8 – поздовжні повітроводи системи рециркуляції відпрацьованого газу; 9 – повітрязабірники; 10 – поперечний повітропровід системи подачі робочого газу; f – відстань між форсунками; l – крок повітрязабірників; L – довжина кузова

Перший та останній повітрязабірники 9 (рис. 3.5) знаходяться на відстані $l_k/2$ від переднього або заднього бортів. Вздовж осі кузова прокладено чотири поздовжні повітроводи, що знаходяться на певній відстані, яку можна знайти за формулою:

$$b_{\pi} = \frac{B_k}{4}, \text{ м} \quad (3.2)$$

де b_{π} – ширина між повздовжніми повітроводами, м;

B_k – ширина кузова, м.

Від бічних бортів поздовжні повітроводи розташовані на відстані $b_k/2$. На даному газоході розміщено кілька відводів із форсунками, їх кількість N визначається за формулою:

$$N = \frac{L_k}{b_{\pi}}, \quad \text{шт} \quad (3.3)$$

Відстань між нагнітальними форсунками 2 (рис. 3.3) буде рівно:

$$f = \frac{L_k}{N}, \quad (3.4)$$

де f – відстань між нагнітальними форсунками, м.

Крайні форсунки розташовані на відстані $f/2$ від заднього або переднього бортів кузова.

Запропонована конструкція працює в таким способом: перед завантаженням зерновоза рухомий дах 3 (рис. 3.6) кузова 1 переміщується із закритого положення у відкрите до бокових бортів 2. Після цього здійснюється автоматизоване завантаження зерна. Після заповнення кузова 1 дах 3 закривається, герметизуючи його.

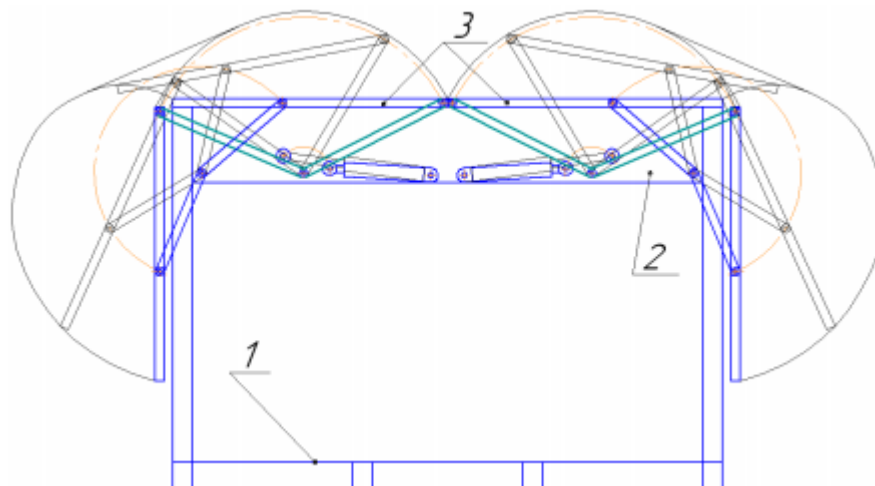


Рисунок 3.6 – Схема роботи рухомого даху зерновозу: 1 – кузов; 2 – наставка бічного борту; 3 – рухомий дах

Далі зернова купа транспортується до місця призначення і в міру руху зерновоза проводиться одночасне знезараження зерна озоноповітряним потоком. При цьому система озонування має два режими роботи.

Перший режим - "озонування". Потік повітря з кузова 1 (рис. 3.5), завантаженого зерновим матеріалом та герметично закритого рухомим дахом 3, через систему огорожі 14, фільтруючий елемент 5, напірно-витяжний вентилятор 6, редуктор тиску 7, датчик 8 і триходовий кран 9 надходить у озонатор 4. Датчик 8 визначає поточну концентрацію озону та в залежності від одержаного значення визначає режим роботи системи озонування. Якщо в повітряному потоці, що надійшов вміст окислювача незначний, то комплекс автоматичного управління дає команду на включення системи в дію. При цьому озонатор виробляє озон, який підмішується до повітря, і через триходовий кран 12, датчик 13, систему розподілу робочого газу 15 озоноповітряна суміш подається в кузов зерновоза для дезінфекції зернового вороху, що транспортується. У разі достатньої для обробки зерна концентрації окислювача у газі, що відпрацював, система просто вентилює його.

При під'їзді до місця призначення водій переводить роботу системи в другий режим - "розвантаження". При цьому повітряний потік, що відпрацював через триходові крани 9 і 12 (рис. 3.5) направляють деструктор 11 для розкладання залишкового небезпечного газу. Вентилювання зернового матеріалу, що перевозиться, здійснюється до тих пір, поки датчики 8 і 13 не зафіксують зниження концентрації озону до гранично-допустимого рівня $0,1 \text{ мг/м}^3$. Після цього провадиться розвантаження кузова зерновоза.

Протягом роботи системи озонування за безпекою водій стежить за сигналізатором перевищення гранично-допустимої концентрації озону поза кузова зерновоза. У разі перевищення безпечного рівня газу подається звуковий та світловий сигнал, автоматично відключаючи весь комплекс.

Отже, переваги пропонованого зерновоза очевидні. Застосування серійних самоскидів при транспортуванні зернового вороху призводить до доставки шкідників з полів на зерноочисний комплекс.

3.3. Методика проведення експерименту з обробки зернового матеріалу озоноповітряної сумішшю

Обробку зернового матеріалу озоноповітряною сумішшю проводили на установці, описаній у підрозділі 3.1. При цьому витрата повітря, що визначається за ротаметром, вбудованим в озонатор, підтримували в діапазоні $0,6 \dots 1,0 \text{ м}^3/\text{год}$ за допомогою зміни прохідного перерізу газоходів

кранами. Концентрацію озону в озоноповітряній суміші варіювали за рахунок зміни режимів роботи озонаторної установки та збільшення подачі повітряного потоку в ежектор. Залишковий газ виводили за межі робочої зони людини. Систему озонування максимально герметизували, а за перевищенням рівня гранично-допустимої концентрації озону в повітрі стежили газоаналізатором sigma sts-f-2 з відповідними датчиками. У разі сигналізації приладу установку відключали та усували причину витoku газу. Озонування проводили протягом встановленого проміжку часу. Завантаження ємності зерновим матеріалом проводили на 60...70%, рівними партіями усередині однотипних досліджень.

При проведенні досліджень комах поміщали у скляну ємність об'ємом 5 л, що закривається кришкою з вхідним і вихідним штуцерами, до яких приєднували шланги, що підводять і відводять озоноповітряну суміш (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Місткість для дезінсекції комах

Концентрацію озону в озоноповітряній суміші визначали на виході з ємності у повітряпроводі, що відводить. Підрахунок загинувших і шкідників робили вручну.

3.4. Вплив процесу озонування на виживання шкідників зерна

Найбільш небезпечні комахи, які розмножуються всередині зерна, наприклад довгоносик. Також значну шкоду зерну завдає зернова міль та її личинки.

Дослідження щодо впливу озонної обробки на виживання шкідників зерна проводили згідно з методикою, що наведена в попередньому розділі. В озоноповітряній суміші концентрація озону змінювалася в діапазоні 5...15

мг/м³ залежно від режиму роботи озонатора та часу обробки. Витрата агента дезінсекції складала 1,0 м³/год. Обробку проводили протягом години за температури навколишнього повітря +25°C. В результаті досліджень отримано дані, подані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вплив озонної дезінсекції шкідників після годинної обробки

Шкідники	Час після обробки, год	Всього штук	Паралізовані і мертві особини		Живі особини	
			кількість, шт	%	кількість, шт	%
Довгоносик	1	168	163	97	5	3
Зернова міль	1	22	21	95	1	5
Гусінь зернової молі	1	4	2	50	2	50

Аналіз таблиці 3.1 показує, що озонування з концентрацією озону в озоноповітряній суміші 5...15 мг/м³ протягом години ефективно знищує найпоширеніших шкідників зерна. Безпосередньо після озонної обробки було паралізовано 95% особин зернової молі та 97% жуків довгоносика. Всі комахи, які після озонування були не здатні переміщатися, згодом вмирали. Тому паралізовані шкідники були віднесені до мертвих. Деяким комахам вдалося пережити озонну обробку, проте вони перебували під впливом озону. Через це зернова міль не могла літати, а частина довгоносиків рухалися ривками, після чого завмирили на довгий час. Найбільшу стійкість до озонування виявили гусениці, лише одна була паралізована, а решта досить енергійно рухалася навіть вертикально по склу. Оскільки озон впливає на плазму шкідників, його дія спостерігалася і після озонування [21]. Отже, годинне озонування зернового матеріалу з концентрацією озону в озоноповітряній суміші 5...15 мг/м³ дозволить знищити 97% жуків довгоносика, всю зернову міль та близько 75% її гусениць.

Однак, враховуючи післядію озону на комах, концентрацію газу доцільно скорочувати, а обробку проводити з певною періодичністю.

3.5. Висновки по розділу 3

Застосування технології озонного знезараження зерна з використанням кузова вантажного дозволить знищити шкідників, які розмножуються всередині зерна. Годинна озонна обробка з концентрацією озону 5...15 мг/м³ дозволяє знищити 97% жуків довгоносика, всю зернову міль і біля $\frac{3}{4}$ її гусениць.

ВИСНОВКИ

Технології, які використовуються для післязбиральної обробки зерна, застаріли. Необхідно впроваджувати у виробництво прогресивні технології та технічні засоби обробки та зберігання зернового матеріалу. Необхідно при очищенні зернового вороху використовувати принцип фракціонування, при сушінні свіжоприбраного вологого врожаю інтенсифікувати процес вологовіддачі, при зберігання матеріалу застосовувати сучасні способи дезінфекції, при обробці насіння потрібно проводити заходи щодо підвищення їх посівних якостей.

Впровадження процесу озонування в технологічну лінію післязбиральної обробки дозволить усунути більшість із виявлених недоліків.

Зараженість зерна можна значно знизити рахунок застосування процесу озонування. Обробка озоном бункерного зернового вороху в кузові зерновоза дозволить скоротити час та кошти на дезінфекцію, отримавши якісніший вихідний матеріал. Технологія озонного знезараження, що застосовується, зерна в серійних самоскидах має масу недоліків. Тому слід у перспективі налагодити випуск спеціалізованих зерновозів, обладнаних системою озонування та виключають попадання сторонніх предметів усередину кузова. Одним з варіантів є запропоноване технічне рішення, реалізувати яке можна як на автомобільному, так і залізничному транспорті.

Застосування технології озонного знезараження зерна з використанням кузова вантажного дозволить знищити шкідників, які розмножуються всередині зерна. Годинна озонна обробка з концентрацією озону 5...15 мг/м³ дозволяє знищити 97% жуків довгоносики, всю зернову міль і біля $\frac{3}{4}$ її гусениць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини.— К.: Каравела, 2008.-551с.
2. <https://propozitsiya.com/ua/tehnologiya-pislyazbiralnoyi-obrobki-ta-sushinnya-zerna>
3. Шейченко В.О. Недовесов В.І., Анеляк М.М., Кузьмич А.Я., Грицака О., Дудніков І.А. Особливості обмолоту та сепарації зерна в багатобарабанному молотильно-сепарувальному пристрої. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. наук. зб. Глеваха, 2018. Вип. №7 (106). с. 63–73.
4. Паламарчук В.Д. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Навчальний посібник / В.Д. Паламарчук, І.С. Поліщук, С.М.Каленська, Л.М.Єрмакова – Вінниця, 2011. – 374 с.
5. Постнікова М.В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис. канд. техн. наук / М.В. Постнікова. - Мелітополь:ТДАТУ, 2011. - 22 с.
- 6.https://atm.vntu.edu.ua/subject/books/E_ta_YA_P/Lab_E_ta_YAAP.pdf
7. Шейченко В.О. Недовесов В.І., Анеляк М.М., Кузьмич А.Я., Грицака О., Дудніков І.А. Особливості обмолоту та сепарації зерна в багатобарабанному молотильно-сепарувальному пристрої. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. наук. зб. Глеваха, 2018. Вип. №7 (106). с. 63–73.
8. Паламарчук В.Д. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Навчальний посібник / В.Д. Паламарчук, І.С. Поліщук, С.М.Каленська, Л.М.Єрмакова – Вінниця, 2011. – 374 с.
9. Постнікова М.В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис. канд. техн. наук / М.В. Постнікова. - Мелітополь:ТДАТУ, 2011. - 22 с.
- <https://atm.vntu.edu.ua/subject/books/E ta YA P/Lab E ta YAAP.pdf>
11. Дерев'янка Д. А. Вплив травмування на якість насіння зернових культур :монографія / Д. А. Дерев'янка, О. П. Тарасенко, В. І. Оробінський. – Житомир, 2012. – 439 с.
12. Дерев'янка Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння : монографія / Д. А. Дерев'янка. – Житомир, 2015. – 772 с.
13. Дерев'янка Д. А. Шляхи покращення якісних показників зерна / Д. А. Дерев'янка // Зб. наук. ст. / Луцький нац. техн. ун-т. – 2011. – Вип. 21. – С. 117–122.

14. Дерев'янка Д. А. Поліпшення ефективності післязбиральної обробки зерна та насіння / Д. А. Дерев'янка // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 2. – С. 25–26.

15. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. № 2 (97). С. 99-104.

16. Tsurkan O.V., Prysiazhniuk D.V., Herasymov A.A. Osobennosti protsessa y oborudovaniya dlia sushky zernovoho сыria s yspolzovanyem ozona. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. № 4. S. 37-45.

17. Д. В. . Борисюк, А. В. Спирін, Д. В. Присяжнюк, і І. В. Твердохліб, «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРООЗОНОВОГО СУШІННЯ ЗЕРНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ», *НаукПраці ВНТУ*, вип. 2, Чер 2023.

18. Epelle E., Macfarlane A., Cusack M. Ozone application in different industries: A review of recent developments. Chemical Engineering Journal. 2023. №454.

19. Díaz-López M., Siles J. A., Ros C. The effects of ozone treatments on the agro-physiological parameters of tomato plants and the soil microbial community. Science of the Total Environment. 2022. № 812.

20. Kuźniar P., Belcar J., Zardzewiały M. Effect of ozonation on the mechanical, chemical, and microbiological properties of organically grown red currant (*Ribes rubrum* L.). J. Fruit. Molecules. 2022. № 25;27(23). P. 8231.

21. Prysiazhniuk D. V. Determination of the dose of progressing grain raw materials with ozone-air mixture during vibration drying. Herald of Khmelnytskyi National University. 2022. Issue 1(305). P. 224–227.