

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра Харчових технологій

Допущено до захисту

_____ 20____ р.

Зав. кафедри, к. с.-г. н, доцент

_____ **Андрій ЧЕРНЕГА**

(підпис)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА

РОЗРОБКА СХЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ
ЗЕРНА ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРОТЕХНОЛОГІЙ

Виконав – студент II курсу, групи 21 м-тз
освітньої програми Технології зерна та зернопродуктів
спеціальності 181 «Харчові технології»
Очеретний Володимир Леонідович

Науковий керівник – доктор с.-г. наук, професор
Осокіна Ніна Максимівна

УМАНЬ – 2024.

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

- 1.1 Особливості технологічного процесу післязбиральної обробки зернових і олійних культур
- 1.2 Способи і засоби для виконання технологічного процесу зневоложення при післязбиральній обробці зернової сировини
- 1.3 Аналіз схем та конструкцій вітчизняних і закордонних зерносушарок
- 1.4 Аналіз методів і засобів зменшення енерговитрат та підвищення якості виконання технологічного процесу сушіння зерна
- 1.5 Огляд сушарок з вібраційним впливом на сировину

РОЗДІЛ 2 УМОВИ, СХЕМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 2.1 Обґрунтування та розробка конструктивно-технологічної схеми віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини
- 2.2 Мета, завдання і програма експериментальних досліджень
- 2.3 Експериментальне оснащення
- 2.4 Методика зволоження зернової сировини
- 2.5 Методика визначення дози обробки зерна озонотріском сумішшю

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 3.1. Фактори, від яких залежать енергетична і технологічна ефективність процесу сушіння зерна в зерносушарках
- 3.2 Математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу
- 3.3 Основні параметри віброозонуючого комплексу
- 3.4 Оцінка отриманої зернової сировини за вібраційної дії
- 3.5 Оцінка отриманої зернової сировини за комплексної віброозонуючої дії

РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

- 4.1 Розробка, наукове обґрунтування та опис схеми руху зерна
- 4.2 Місце віброозонуючого комплексу в технологічній схемі післязбиральної обробки зернової сировини

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

ВИСНОВКИ

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

АНОТАЦІЯ

Очеретний В.Л. обґрунтував параметри процесу сушіння зернової сировини за допомогою віброозонуючого комплексу.

Кваліфікаційну роботу присвячено вирішенню актуальної задачі інтенсифікації процесу сушіння зернової сировини та розробці нового віброозонуючого комплексу, що реалізує комплексний технологічний вплив на оброблюване середовище.

На основі аналізу закономірностей реалізації процесу сушіння, дії механічних коливань та озоноповітряної суміші на зернову сировину, обґрунтовано нові напрямки розвитку способу комплексної динамічної обробки сировини та його конструктивне впровадження у механічній коливній системі.

Експериментально досліджено вплив режимних параметрів досліджуваного розробленого комплексу на показники продуктивності та енергоємності процесу сушіння зернової сировини, а також на показники якості отриманої продукції.

Базуючись на отриманих даних встановлено, що питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю $W_K=14\%$ при початковій вологості $W_n=20\%$ становлять: за використання класичної технології з подачею сушильного агенту температурою $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ при тривалості обробки 240 хв. - $112,93\text{ Вт-год./кг}$ або $18,82\text{ Вт-год./кг}$ на 1% випаруваної води ($406,54\text{ КДж/кг}$ або $67,75\text{ КДж/кг}$ на 1% випаруваної води); за використання комплексного теплофізичного впливу при тривалості обробки 160 хв. - $91,01\text{ Вт-год./кг}$ або $15,16\text{ Вт-год./кг}$ на 1% випаруваної води ($327,63\text{ КДж/кг}$ або $54,6\text{ КДж/кг}$ на 1% випаруваної води).

Результати техніко-економічного оцінювання віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із пріоритетних завдань розвитку аграрної галузі України є забезпечення її продовольчої безпеки, а також нарощування експортного потенціалу за рахунок збільшення виробництва продукції рослинництва.

Суттєво інтенсифікувати процес сушіння зернової сировини можна шляхом використання вібраційних технологій та обладнання у поєднанні із введенням до складу сушильного агенту озону.

Обґрунтування теми дослідження. Інтенсифікацію процесу сушіння зерна можна досягти шляхом застосування вібраційного впливу на сировину та технології озонування, які забезпечують комплексний технологічний вплив на оброблюваний матеріал.

Мета і задачі досліджень. Мета роботи - підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат при сушінні зернової сировини шляхом розробки та обґрунтування технологічних параметрів віброозонуючого комплексу.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначено такі завдання:

- провести аналіз основних закономірностей перебігу процесу сушіння зернової сировини та обґрунтувати основні напрямки його інтенсифікації за умови вібраційного впливу на оброблювану сировину та технології озонування;
- розробити математичну модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу;
- розробити перспективну схему та конструкцію віброозонуючого комплексу для обробки зернової сировини під час її сушіння;
- обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри розробленого віброозонуючого комплексу та встановити його раціональні режими роботи;
- здійснити перевірку адекватності отриманої математичної моделі;
- здійснити виробничу апробацію експериментально-промислової моделі віброозонуючого комплексу для реалізації процесу сушіння зернової сировини та оцінити економічну ефективність його використання.

Об'єкт дослідження. Процес сушіння зернової сировини в умовах віброзваженого стану з використанням технології озонування.

Предмет дослідження. Віброозонуючий комплекс для сушіння зернової сировини, закономірності зміни параметрів досліджуваного процесу.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження базуються на методах теорії сушіння, теорії тепломасообміну, математичного моделювання технологічних процесів і проводилися з використанням основних положень вищої математики, а експериментальні дослідження - згідно розроблених та існуючих методик і галузевих стандартів в лабораторних умовах на розробленій експериментальній установці з використанням планування багатофакторного експерименту і застосуванням методів статистичної обробки результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- вперше отримано математичну модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу;
- визначено вплив факторів на ефективність технологічного процесу сушіння, які характеризують якісні і кількісні показники роботи віброозонуючого комплексу;
- вперше отримано теоретичні та експериментальні залежності концентрації озону в озоноповітряній суміші від віброприскорення сушильної камери за різних швидкостей руху сушильного агенту.

Практичне значення отриманих результатів. На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано раціональні параметри процесу та розробленого віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини.

Результати техніко-економічного оцінювання розробленого віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що провадження такого комплексу у виробництво дає змогу отримати річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

Апробація результатів. Основні положення і результати роботи були висвітлені на засіданнях наукового студентського гуртка та на Всеукраїнській студентській науковій конференції, приуроченій 160-річчю від дня народження видатного науковця у галузі біологічних наук, професора Й.К. Пачоського, що відбулася 25 квітня 2024 року в м. Умань.

Публікації. Очеретний В.Л. Розробка схеми технологічного процесу сушіння зерна із використанням вібротехнологій. *Збірник студентських наукових праць інженерно-технологічного факультету Уманського НУС.* тези доп. всеукр. студ. конф., приуроченій 160-річчю від дня народження видатного науковця у галузі біологічних наук, професора Й.К. Пачоського. (м. Умань 25 квітня 2024 року). Умань, 2024. С.126-127.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

1.1 Особливості технологічного процесу післязбиральної обробки зернових і олійних культур

Якість свіжозібраного зерна залежить в основному від стану стиглості, вмісту вологи в період збирання і подальшого зберігання. Партії зерна після збирання врожаю мають ряд особливостей. Свіжозібрана зернова маса неоднорідна за вологістю і ступенем стиглості окремих зерен, має високу фізіолого-біохімічну і мікробіологічну активність, незадовільні технологічні властивості, тому нестійка при зберіганні [1-5].

Процес дозрівання зерна в полі протікає неодноразово. Окремі колоски, а також зернівки мають неоднорідну ступінь стиглості, а, отже, неоднакову вологість. У масі зібраного зерна завжди є зернівки різних фаз стиглості і вологості. Різниця по вологості окремих зерен в партії пшениці з середньою вологістю 17,7% становить 10% (від 14,0 до 24,0%) [6].

Погода в період збирання, техніка збиральних робіт і терміни їх проведення впливають на валові збори зерна, його якість, в результаті чого потрібно проводити заходи, що забезпечують збереження зернових мас. Так, в різних районах нашої держави [1] зерно прибирають при різній вологості .

Велика частина зерна після збирання проходить стадію попереднього зберігання і обробки на токах. Для окремих партій ця стадія може тривати від кількох годин і доби до місяця і більше [3]. У таких випадках можливе зараження зерна комахами і кліщами, а за несприятливої погоди - зволоження, яке нерідко супроводжується проростанням зерна, розвитком мікроорганізмів і самозігріванням. Ці процеси починаються в свіжозібраному

зерні дуже швидко. Зниження якості зерна може статися і при транспортуванні.

Так, зерно, підмочене при збиранні або під час транспортування, навіть після його висушування має підвищену інтенсивність дихання в порівнянні з зернами з такою ж вологістю, що не піддавалися зволоженню [5].

Самозігрівання є результатом високої інтенсивності дихання зернової маси, розвитку в ній цвілі [1, 3, 5]. При розвитку самозігрівання і підвищенні температури до 40-50 °С і вище зерно темніє аж до повного почорніння, іноді повністю покривається міцелієм цвілі. Запах стає цвілевих, а потім гнило-затхлим, змінюється відповідно і смак, знижується схожість зерна аж до повної її втрати. Вміст клейковини в пшениці різко знижується, а її якість погіршується.

Тому правильний обробіток щойно зібраного зерна з урахуванням властивостей зернової маси є найважливішим заходом.

Щойно зібране зерно (зерновий ворох), особливо насіннєвого призначення, піддають спеціальній обробці - його очищають (видаляють домішки), сушать і при необхідності сортують. Без післязбиральної обробки отриманий урожай зерна не можна ні зберегти без значних втрат, ні використовувати на харчові або насіннєві цілі [1, 3, 4].

Післязбиральна обробка зерна вирішує два основні взаємопов'язані завдання:

- підвищення стійкості зерна при зберіганні без істотних втрат, для чого зернову масу просушують до сухого стану;
- доведення зернової маси до встановлених кондицій по чистоті, для чого його очищають від сміттєвих та зернових домішок, сортують з виділенням малоцінних зерен основної культури (недорозвинених, битих, ушкоджених, пророслих і дрібних).

Таким чином, післязбиральна обробка зерна є комплексом взаємопов'язаних і доповнюючих одна одну технологічних операцій, в результаті виконання яких забезпечується тривале збереження зерна і підвищується його якість до такого рівня, при якому воно може бути відразу

або через деякий період часу використано на харчові, фуражні або насіннєві цілі. Післязбиральна обробка зерна забезпечує високий технологічний ефект лише тоді, коли всі операції виконують правильно і своєчасно.

Серед операцій післязбиральної обробки зерна найбільш відповідальною і складною є сушіння, оскільки в основному вона визначає якість оброблюваного продукту. В даний час значну частину свіжозібраного зерна піддають високотемпературному сушінню підігрітим повітрям в сушильних відділеннях зернових очисно-сушильних комплексів. При цьому необхідний правильний вибір режимів сушіння для отримання зерна оптимальної кондиції по вологості при чітких обмеженнях по температурі його нагрівання. Вирішення цієї проблеми ускладнено тим, що сушильні відділення - це складні об'єкти управління, в яких, крім зерносушарки, функціонує значна кількість взаємодіючого між собою обладнання.

У щойно зібраному зерні з підвищеною вологістю переважання процесів гідролізу призводить не до зменшення фізіологічної активності, а до її подальшого зростання. Насіння може не тільки покращити свої посівні якості, але і знизити їх. Післязбиральне дозрівання в такому зерні не відбувається [5].

Тому, в результаті своєчасного та правильно проведеного сушіння прискорюється процес післязбирального дозрівання зерна, який в умовах звичайного зберігання триває протягом декількох тижнів, а то і місяців, підвищується його стійкість при зберіганні, поліпшуються технологічні і насінні гідності [1, 5].

Таким чином, важливість якісного сушіння зерна і складність його виконання, а також зростаючі обсяги оброблюваного матеріалу роблять актуальною проблему інтенсифікації процесу сушіння в комплексі заходів в період післязбиральної обробки зерна.

1.2 Способи і засоби для виконання технологічного процесу зневоложення при післязбиральній обробці зернової сировини

За конвективного способу сушіння теплота, необхідна для нагрівання матеріалу і випаровування з нього вологи, передається йому конвекцією від рухомого газоподібного теплоносія (нагрітого повітря або його суміші з пічними газами), який називається агентом сушіння. Агент сушіння не тільки передає теплоту матеріалу, але також поглинає і забирає випаровану з нього вологу.

Найбільшого поширення в сушарках отримав конвективний спосіб теплопередачі [9, 10, 11,]. При цьому головною технологічною характеристикою є стан шару матеріалу в процесі сушіння. При конвективному сушінні зерно може перебувати в стані щільного нерухомого, рухомого, псевдорозрідженого, віброкиплячого, падаючого або зваженого шару. Напрямок руху сушильного агента в конвективних сушарках щодо матеріалу може бути прямоточним, протитечійним і перехресним.

1.3 Аналіз схем та конструкцій вітчизняних і закордонних зерносушарок

За режимом роботи зерносушарки поділяються на три групи [7, 8]: безперервної дії, періодичної дії, напівперіодичної дії.

Конструктивні схеми більшості основних типів сушарок наведені в [7].

Камерні сушарки є герметичними камерами, всередині яких матеріал, що висушується, в залежності від його виду розташовується на сітках, деках, затискачах і інших пристроях.

Перевагами камерних сушарок можна вважати простоту будови та роботи. Недоліками: відносно мала продуктивність, спричинена періодичністю дії; отримання сировини з нерівномірною вологістю за всім об'ємом [7].

Тунельні сушарки, як правило, є апаратами безперервної дії, які

представляють собою довгі камери, в яких розміщуються вагонетки з матеріалом, що висушується [7].

Перевага - безперервність дії. Недолік - нерівномірність сушіння через погане перемішування матеріалу [7].

Стрічкові сушарки призначені для сушіння сипких (зернистих, гранульованих, грубодисперсних) і волокнистих матеріалів, а також готових виробів і напівфабрикатів.

Перевагою стрічкових сушарок є безперервність дії. Основними недоліками є велика металоємність і складність обслуговування [8].

Барабанні сушарки призначені для безперервного сушіння кускових, зернистих і сипких матеріалів: зерна, насіння соняшнику тощо.

До переваг барабанних сушарок слід віднести: велику продуктивність, високу економічність у витратах тепла й електроенергії, надійність у роботі, простоту конструкції і зручність експлуатації. Недоліки сушарок обумовлюються їх громіздкістю, високими капітальними витратами, тривалому контакті матеріалу з тепловим агентом (до 40 хв), забрудненню продуктів золою з топки (0,2-0,7 %), а також пожежонебезпекою та викидами в атмосферу[8].

Шахтні сушарки є установками безперервної дії [9, 10].

Перевага шахтних сушарок полягає в тому, що в них можна в широких межах регулювати тривалість перебування зерна в сушильній камері і досить надійно забезпечувати підтримку заданого температурного режиму сушіння зернової маси [11, 12].

Шахтні сушарки мають серйозні технологічні недоліки. Головний з них полягає в обмеженому рівні зняття вологи за один прохід зерна через шахту, рівному 4-6%. Тому для повного висушування зерна іноді доводиться проводити обробку в кілька прийомів. Перезатримка частково просушеного зерна в очікуванні повторних проходів через сушарку є причиною зниження його якості [13].

1.4 Аналіз методів і засобів зменшення енерговитрат та підвищення якості виконання технологічного процесу сушіння зерна

Одним із перспективних методом підвищення швидкості сушіння є впровадження вібротехнологій. Вплив вібраційних коливань на шар матеріалу дає можливість його активного перемішування [14]. Траєкторія, частота і амплітуда коливного руху визначають інтенсивність руху частинок матеріалу. Коливання сушильної камери забезпечує розрихлення шару матеріалу і створює умови, при яких більша частина його поверхні бере участь в тепломасообміні з теплоносієм [8].

Вібраційні коливання збільшують і оновлюють поверхню теплообміну незалежно від способу підведення сушильного агенту, відбувається інтенсивне зняття вологи, збільшується швидкість сушіння. Процес сушіння відбувається рівномірно по всьому шару, не викликаючи місцевий перегрів матеріалу. Вібраційне сушіння є потужним засобом температурного регулювання процесу, що особливо важливо для термочутливих матеріалів [15].

Аналіз процесу вібраційного сушіння, технічних характеристик і конструктивних особливостей різних типів вібраційних сушарок свідчить про те, що намітилися дві основні тенденції їх розвитку. По-перше, за рахунок вдалих конструктивних рішень (організації збуджуючих коливань, способу нагрівання продукції, поєднання технологічних функцій перемішування, сушіння, поділу на фракції, транспортування) поліпшуються загальні техніко-економічні показники процесу. По-друге, інтенсифікація тепломасообмінних процесів дозволяє докорінно змінити підходи до організації процесу сушіння взагалі, а також створює можливості сушіння продукції, до якої висуваються надзвичайно високі, часто взаємовиключні (суперечливі) вимоги для потреб різних галузей виробництва [16].

Потреби в якісній сировині, а також економічно продиктована необхідність підвищення основних показників виробництва ставлять вимоги до створення нових технологій сушіння, які враховували б фізико -хімічні, біологічні,

харчові, смакові якості продукції, а також забезпечували б її подальше збереження [17].

Процес сушіння повинен повністю виключити такі негативні чинники, як клейстеризацію крохмалю і денатурізацію білків, утворення конгломератів і погіршення смакових якостей, а також розмноження хвороб і шкідників [5].

У роботах Tiwari, B. K та ін. [18] закладено основи енергозберігаючого сушіння зерна озоноповітряною сумішшю (електроактивованим сушильним агентом). Автором висунутий ряд гіпотез механізму впливу повітря з вмістом озону на процес сушіння і здійснена спроба теоретичного обґрунтування тепло- і масообмінних процесів в присутності озону, а також впровадження озоноповітряного сушіння в сільське господарство.

Сушіння зернової сировини з допомогою озоноповітряної суміші має ряд особливостей. В перший період сушіння частина озону вступає в окислювальні реакції на поверхні зерна з органічними і неорганічними речовинами, очищаючи поверхню матеріалу [19]. Опір потоку вологи зменшується. З іншого боку частина поверхневої вологи витрачається на реакцію з утвореними озонідами [20].

При проходженні через зернову масу озон розкладається на O_2 і O , виділяючи теплоту, рівну 142 кДж/моль. Атомарний кисень зв'язує вологу навколо себе у вигляді крапель, які виносяться потоком повітря. Після видалення поверхневої вологи озон може впливати на проникність клітинних мембран, а присутність атомарного кисню сприяє руху вологи з клітин назовні [21, 22].

Наступний етап сушіння - відведення сорбційно-зв'язаної вологи. На цьому етапі велику роль відіграють теплота, що виділяється при розпаді озону, присутність атомарного кисню та іонів різної полярності. Електричні сили можуть сприяти ослабленню дипольних зв'язків молекул води з клітинами зернової сировини. Все це істотно впливає на швидкість сушіння зерна в цей період [23, 24].

В зерні та харчових продуктах волога перебуває у зв'язаному стані, тобто

приймає участь в процесах життєдіяльності. Форми зв'язку у них різноманітні і для їх руйнування потрібна велика кількість енергії [25, 26].

При направленні озону на поверхню рослинного матеріалу, виникають вільнорадикальні процеси, які швидко поширюються у внутрішніх тканинах. По суті це зводиться до передачі енергії, яка вивільняється на молекулярних мішенях верхнього шару зернівки або харчового продукту, у внутрішні тканини і, звичайно, змінюється сумарний енергетичний потенціал [27, 28]. Причому частина надлишкової енергії витрачається на фізико-хімічні перетворення, внаслідок яких змінюється структура клітинних мембран, окислювально-відновлювальний потенціал, іонна проникність та інші властивості клітини. Частина енергії перетворюється в тепло, що прискорює розвиток наступних процесів [29, 30].

Якщо процес сушіння харчових продуктів в озono-повітряному середовищі спостерігати в мікроскоп, то можна чітко побачити, як накопичується міжклітинна вода і зменшуються контури клітин. Але ці пошкодження нестійкі і через декілька годин вони відновлюються [31].

Взаємодія озону з рослинним матеріалом спричиняє в ньому зменшення енергетичного рівня зв'язків вологи, а також вносить свою частку в інтенсифікацію тепломасообміну [32]. Встановлено, що масообмінні процеси прискорюються за рахунок того, що підвищується вологовіддача матеріалу на основі біохімічних, фізико-хімічних процесів і збільшується вологоутримуюча здатність сушильного агента [33, 34].

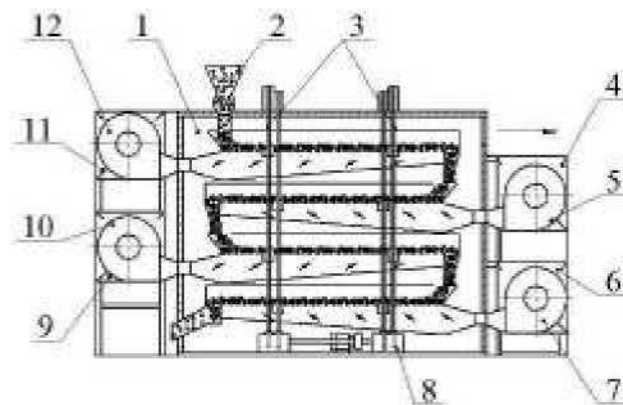
Озоно-повітряне сушіння також попереджує розвиток мікрофлори. Результативність дії озону на фітопатогенну мікрофлору, біохімічні процеси, агротехнічні показники матеріалу та інші властивості залежить від обраного режиму обробки, а також від виду матеріалу. Концентрація озону 10 мг/м^3 і вище дозволяє зменшити інтенсивність дихання зерна із самого початку процесу сушіння, чим перешкоджає розвитку процесу самозігрівання з послідовними позитивними ефектами: підвищенням збереження сухої речовини, наступанням більш глибокого стану спокою при зберіганні [35].

1.5 Огляд сушарок з вібраційним впливом на сировину

Зернові сушарки за міжнародною класифікацією винаходів належать до класів F 26B 17/04-17/14; F 26B 5/16; F 26B 01/00.

Відома установка з віброкиплячим шаром для сушіння сільськогосподарської продукції АІ-КВО (рис. 1.1) [36].

Вона являє собою камеру, в якій знаходяться чотири сушильних короба, розміщені один під іншим і попарно з'єднані вертикальними тягами, які пов'язані з ексцентриковим приводом і ресорами.



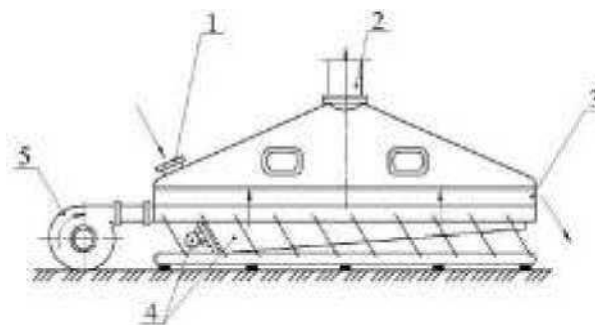
1 - сушильна камера; 2 - завантажувальний бункер; 3 - вертикальні тяги;
4, 6, 9, 11 - парові калорифери; 5, 7, 10, 12 - вентилятори; 8 - ексцентриковий
привод

Рисунок 1.1 - Вібросушильна установка АІ-КВО

Пари коробів коливаються за допомогою ексцентриків, перемішуючи і просушуючи при цьому матеріал, що знаходиться в коробах, обдуваючи його сушильним агентом.

Недоліками вібросушильної установки АІ-КВО є складність конструкції, великі габаритні розміри та металоємність.

У сушарці (рис. 1.2) вібрації піддається потік, по якому переміщується віброкиплячий шар матеріалу, всі частинки якого інтенсивно рухаються, канали і конгломерати руйнуються, чим виключається налипання [37].



1 - завантажувальний отвір; 2 - витяжний канал; 3 - вихідний отвір;

4 - вібробуджувач; 5 - вентилятор

Рисунок 1.2 - Сушильний агрегат з коливним транспортером і киплячим шаром

Відома установка фірми «Петрі і Мак Наут» [38], що складається з двох ярусів для сушіння і охолодження зерна з похилими газорозподільними решітками з підірними стінками для регулювання товщини зернового шару і швидкості його переміщення (рис. 1.3).

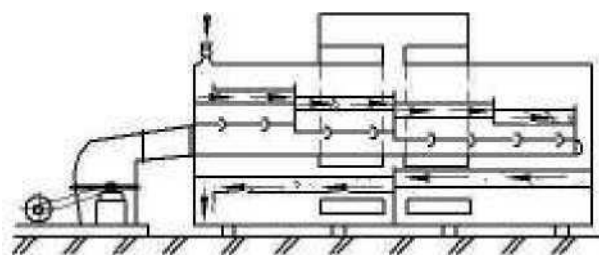


Рисунок 1.3 - Установка з киплячим шаром фірми «Петрі і Мак Наут»

Огляд існуючих сушарок з вібраційним впливом встановив їх основні недоліки, які полягають у складності конструкції, обслуговуванні, значних габаритних розмірах. Існуючі конструкції вібросушарок не дозволяють одночасно знезаражувати зернову сировину та призупиняти фізіолого-біохімічні процеси, які відбуваються в насініні під час зберігання [39-42].

Тому очевидна необхідність створення принципово нової конструкції вібраційної зернової сушарки, в якій у якості сушильного агенту буде використовуватись не просто підігріте повітря, а його суміш із озоном певної концентрації з метою комплексної обробки зернової сировини.

Висновки за 1 розділом

1. Проведений аналіз особливостей виконання післязбиральної обробки зернової сировини виявив складність і високі вимоги як до самого процесу, так і до сировини, що обробляється.

2. Огляд існуючих конструкцій серійних зернових сушарок дав змогу визначити недоліки сушильного обладнання, переважно пов'язані з неякісною обробкою зернової сировини, значними енерговитратами, складністю експлуатації, значною металоємністю та вартістю.

3. Ґрунтуючись на сучасному розвитку вібротехнологій і широкому впровадженні використання озону в різних галузях промисловості, було зазначено ефективність їх використання для сушіння зернової сировини у процесі післязбиральної обробки.

4. Розглянуті в роботі конструкції і технології не повністю вичерпують можливості використання вібрації і озону, хоча свідчать про доцільність їх застосування і поєднання не тільки в аграрному виробництві, а й у інших галузях з метою інтенсифікації процесів і отримання якісної продукції.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, СХЕМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Обґрунтування та розробка конструктивно-технологічної схеми віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини

Перспективними способами підвищення якості зернового матеріалу та зниження енерговитрат при технологічній операції сушіння є використання вібраційного впливу, який забезпечує рівномірність обробки зернового матеріалу за рахунок постійного оновлення поверхні зернівки, яка контактує з сушильним агентом, та впровадження озоноповітряного сушіння.

У зв'язку з вище викладеним нами пропонується конструктивна схема віброозонуючого комплексу періодичної дії для сушіння зернової сировини (рис. 2.1). U-подібна камера 1, оснащена вібратором 2, встановлена на рамі 3 на пружинах 4. Камера, що містить завантажувальний 5 і розвантажувальний 6 лотки, через еластичне з'єднання 7 сполучена з повітропроводом 8 для виведення відпрацьованого сушильного агенту.

Нижня частина камери містить перфороване днище 9 і піддон 10, який через еластичне з'єднання 11 сполучений з повітропроводом 12 з електричними нагрівальними елементами 13, по якому подається підігріте повітря та озон, що генерується озонатором 14 і підводиться по повітропроводу 15. Озоні повітряна суміш подається в повітропровід 12 вентилятором 16, який приводиться в рух електродвигуном 17. Рама встановлена на опорах 18.

Віброозонуючий комплекс працює наступним чином. Вологий зерновий матеріал через завантажувальний лоток 5 поступає в U-подібну камеру 1. Одночасно вмикається вібратор 2, електричні нагрівальні елементи 13, озонатор 14 та електродвигун 17 вентилятора 16. Суміш повітря і озону, що генерується озонатором, через повітропровід 15 з допомогою вентилятора подається в повітропровід 12, де нагрівається електричними нагрівальними елементами 13 і через еластичне з'єднання 11, піддон 10 та перфороване днище

9 поступає в U-подібну камеру з вологим зерновим матеріалом.

Пройшовши через матеріал, відпрацьований сушильний агент через еластичне з'єднання 7 та повітропровід 8 виводиться із сушильної камери. При досягненні необхідної вологості зернового матеріалу вимикається озонатор, електродвигун вентилятора та нагрівальні електричні елементи. Вивантаження зерна здійснюється через розвантажувальний лоток 6 за рахунок вібрацій U-подібної камери.

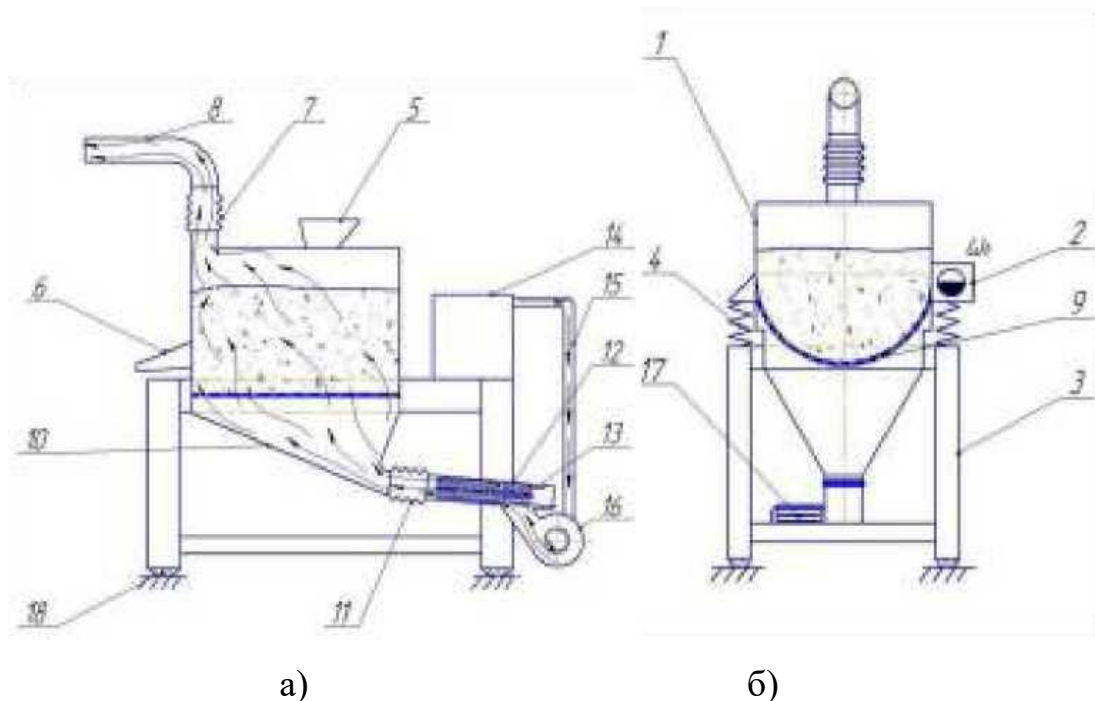


Рисунок 2.1 - Конструктивна схема віброозонуючого комплексу періодичної дії для сушіння зернової сировини

а - вигляд спереду; б - вигляд збоку; 1 - U-подібна камера; 2 - вібратор;

3 - рама; 4 - пружини; 5 - завантажувальний лоток; 6 - розвантажувальний лоток; 7, 11 - еластичні з'єднання; 8 - повітропровід для виведення відпрацьованого сушильного агенту; 9 - перфороване днище; 10 - піддон; 12 - повітропровід для подачі сушильного агенту; 13 - електричні нагрівальні елементи; 14 - озонатор; 15 - повітропровід для подачі озоноповітряної суміші; 16 - вентилятор; 17 - електродвигун; 18 - гумові опори

2.2 Мета, завдання і програма експериментальних досліджень

Метою та завданням експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних передумов реалізації процесу сушіння зернової сировини за умови встановлення раціональних технологічних та режимних параметрів розробленого комплексу.

Програма експериментальних досліджень передбачала виконання таких завдань:

- встановити раціональні режимні параметри роботи віброозонуючого комплексу;

- визначити вплив експлуатаційних та конструктивних параметрів розробленого комплексу на якісні характеристики досліджуваного процесу.

Відповідно до поставлених завдань загальна програма досліджень містить такі етапи:

- розробка експериментального віброозонуючого комплексу;
- отримання показників якості обробленої сировини за умови комплексного віброозонуючого впливу;
- аналіз та оптимізація отриманих експериментальних даних методами аналітичних та графічних кривих.

Алгоритм проведення експериментальних досліджень подано блок-схемою (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 - Блок-схема підготовки та проведення експериментальних досліджень розробленого віброозонуючого комплексу

2.3 Експериментальне оснащення

Для визначення швидкості руху та температури сушильного агента було використано термоанемометр АМ 831 (рис. 2.3) з виносним датчиком, що дало можливість визначати дані показники безпосередньо в повітропроводі.



Рисунок 2.3 - Загальний вигляд термоанемометра АМ 831 з виносним датчиком вимірювання швидкості руху та температури повітря

Для підтримання заданої температури сушильного агенту при нагріві його з допомогою електричних нагрівальних елементів використовувався терморегулятор ТРМ-10 (рис. 2.4), який вмикав та вимикав їх живлення при досягненні сушильним агентом мінімальної та максимальної температури відповідно.



Рисунок 2.4 - Загальний вигляд терморегулятора ТРМ -10

Для визначення відносної вологості та температури сушильного агенту на вході та виході із сушильної камери використовувались термометри - вологоміри з виносними датчиками (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 - Загальний вигляд термометра-вологоміра з виносним датчиком

Для реєстрації частоти обертання дебалансного вала було використано безпровідний тахометр UNI-T UT372 (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 - Загальний вигляд тахометру UNI-T UT 372

Для визначення концентрації озону у складі сушильного агента на вході та виході із сушильної камери використовувався вимірювач концентрації озону «НТІКО-2» (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 - Загальний вигляд вимірювача концентрації озону «НТІКО-2»

Таким чином, представлене конструктивне оформлення для проведення лабораторних та виробничих випробувань надає змогу досить точно встановити основні якісні і технологічні параметри розробленого віброозонуючого комплексу та отриманого матеріалу в межах експериментальних досліджень.

2.4 Методика зволоження зернової сировини

Якщо початкова вологість зернової сировини до проведення дослідів є менше запланованої і не задовольняє програму досліджень, то за дві-три доби до проведення дослідів необхідно штучно зволожити зернову сировину до заданої вологості.

Для рівномірного розподілу вологості по всій масі продукту його зволожують таким чином. Зважують зразок сухого продукту G_n і визначають

його вологість W_n у сушильній шафі за стандартною методикою. Потім розраховують кількість води V , яку необхідно додати до наважки, щоб отримати задану вологість продукту W_k за такою формулою [7]:

$$V = G_n \frac{W_k - W_n}{100 - W_k} \quad (2.1)$$

де G_n - маса сировини при вологості W_n , кг; W_n , W_k - відповідно вологість продукту до і після зволоження, % від загальної маси.

При ретельному перемішуванні в сировину упродовж дня додають воду невеликими порціями. Зволожений продукт ставлять в холодильник або термостат і зберігають при температурі 3-5 °C два дні. Упродовж цього періоду продукт ретельно перемішують два-три рази в день [7].

2.5 Методика визначення дози обробки зерна озонופовітряною сумішшю

Аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню зерна та впливу на нього, дозволяє зробити висновок, що хімічний склад зерна різноманітних сільськогосподарських культур відрізняється дуже не значно. З цього слідує, що вплив обробки озоном для різноманітних культур повинен описуватися певними загальними параметрами та підпорядковуватися загальним закономірностям [5].

Визначаємо ефективну дозу озону для обробки 1 кг зерна:

$$D = CV_y, \quad (2.2)$$

$$D = \frac{CVt}{m}, \quad (2.3)$$

де C - концентрація озону в озонופовітряній суміші, мг/м³.

Визначимо питому кількість озонופовітряної суміші на 1 кг зерна:

$$V_y = \frac{Vt}{m}, \quad (2.4)$$

де V - кількість повітря, що подається, $\text{м}^3/\text{с}$; t - час обробки с ;

m - маса зерна, що обробляється, кг .

Розглядаючи насіння кукурудзи та пшениці, потрібно відзначити, що середній діаметр зернин відповідно $D_1 = 7 \text{ мм}$ та $D_2 = 3 \text{ мм}$, при чому висота зернини пшениці $h = 5 \text{ мм}$, середня маса тисячі насінин кукурудзи $m_1 = 300 \text{ г}$, пшениці - $m_2 = 45 \text{ г}$.

Визначаємо приблизну площу поверхні зернини кукурудзи, як площу сфери:

$$S_1 = 4\pi R_1^2, \quad (2.5)$$

де R - радіус сфери, мм .

Визначаємо приблизну площу поверхні зернини пшениці, яка контактує з озоноповітряною сумішшю, як площу циліндра:

$$S_2 = \pi R_2^2 h, \quad (2.6)$$

де R - радіус циліндра, мм ; h - висота циліндра, мм .

Тоді, площа поверхні тисячі насінин кукурудзи та пшениці відповідно $S_1 = 153,86 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ та $S_2 = 35,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Введемо показник h , що визначає відношення маси m насінини до площі його поверхні S [41]:

$$\Delta h = \frac{m}{S}. \quad (2.7)$$

Судячи з усього, відношення показників Δh та доз обробок D , для різних культур повинно бути пропорційним:

$$\delta = \frac{D_1}{D_2} \approx \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{m_1 R_2^2}{m_2 R_1^2}, \quad (2.8)$$

де m - маса тисячі насінин;

R - радіус насінини.

Для розглянутих культур співвідношення склало 1,53, оскільки пропорційність зберігається, то можна припустити, що для різних сільськогосподарських культур існує коефіцієнт g , що залежить від Δh та визначає ефективну дозу обробки.

(2.9)

$$g = \frac{\Delta h_0}{\Delta h_x}.$$

Впровадивши єдиний показник Δh_0 рівний $1,0 \text{ кг/м}^2$, визначимо для нього питому дозу обробки $D_0 = 1,27 \text{ мг/кг}$.

Відповідно, для обробки насіння сільськогосподарських культур [41]:

(2.10)

$$D_x = gD_0 = \frac{\Delta h_0}{\Delta h_x} D_0.$$

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Фактори, від яких залежать енергетична і технологічна ефективність процесу сушіння зерна в зерносушарках

При вирішенні задач, які пов'язані із підвищенням енергетичного удосконалення сушильних установок, необхідно визначати кількісні показники, які називають критеріями ефективності або характеристиками цілі [1, 2].

Важливим показником енергетичного (теплого) удосконалення зерносушарок прийнято термічний коефіцієнт корисної дії, що являє собою відношення корисно використаної теплоти (q_k) до всієї теплоти (q_3), яку витрачено на процес зневоложення:

$$\eta_t = \frac{q_k}{q_3}. \quad (3.1)$$

Витрачена теплота в розрахунку на один кілограм сухого повітря, що нагрівається в теплогенераторі або топковому блоці, визначається співвідношенням [3]:

$$q_3 = c_p (t_1 - t_0) \quad (3.2)$$

де c_p - питома теплоємність повітря, Дж/(кг • К);

t_1 - температура сушильного агенту на вході в

зерносушарку, К; t_0 - температура повітря, яке подається в теплогенератор, К.

Теплота, яка витрачена на випаровування вологи, віднесена до кілограма нагрітого повітря (сухого), визначається за формулою [4]:

$$q_k = \frac{r(d_2 - d_1)}{1000}, \quad (3.3)$$

де d_1, d_2 - вологовміст сушильного агенту на вході і виході сушарки, кг/м³.

Тоді:

$$\eta_T = r \frac{d_2 - d_1}{c_p (t_1 - t_0) \cdot \rho_{CA}} 10^{-3}, \quad (3.4)$$

де ρ_{CA} - густина сушильного агенту, кг/м³.

Найбільший коефіцієнт корисної дії зернової сушарки можна досягти при максимальній різниці вологовмісту сушильного агенту на вході і виході зерносушарки, тобто коли вологовміст сушильного агенту на виході із сушарки досягне насичення $d_2 = d_M$ (відносна вологість тоді становитиме 100%), а температура сушильного агенту на виході - $t_2 = t_M$.

При сушінні із використанням конвективного методу [1]:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}, \quad (3.5)$$

де t_2 - температура сушильного агенту на виході із зернової сушарки.

У даному виразі корисною тепловою енергією є вся теплота, яка виділяється енергоносієм в зерновій сушарці.

Отже:

$$\eta_{\max} = (t_1 - t_M) / (t_1 - t_0), \quad (3.6)$$

де t_M - температура вологого термометра, °С.

Ступінь впливу початкової t_1 і кінцевої t_2 температури сушильного агенту на енергетичну ефективність процесу сушіння неоднозначна. Відповідно до співвідношення (3.5) ККД збільшується при підвищенні t_1 , оскільки при цьому має збільшуватись швидкість сушіння і відповідно зменшуватись t_2 . Однак, дослідження [4, 5] показують, що підвищення швидкості сушіння супроводжується підвищенням інтенсивності нагріву зерна. В результаті цього співвідношення між витратами теплоти на нагрівання зерна, яка втрачається в навколишнє середовище, та фізичною теплотою зерна, що надходить до сушарки, зростає. При цьому зменшується ступінь насичення сушильного агенту [6].

Енергетичну ефективність сушильного процесу можна оцінити більш загальним (для всіх сушарок) показником - питомими витратами енергії на одиницю (1 кг) випаруваної вологи або висушеного зерна, що може бути кількісно оцінено за допомогою співвідношення [7]:

$$q_0 = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_0)}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}} = \frac{I_1 - I_0}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}}, \quad (3.7)$$

де I_1, I_0 - ентальпія сушильного агенту на вході до сушарки і на вході до теплогенератора відповідно.

Величина $\Delta d = d_2 - d_x$ в знаменнику (3.7) визначає кількість випаруваної вологи, яка з урахуванням того, що процес сушіння відрізняється від ізобарного, може бути відповідно до [7] визначена із співвідношення:

$$\Delta d = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_2) - \sum Q_{\text{втр}}}{3,01 + 5,51 \cdot (t_1 + t_2 + 546) \cdot 10^{-5} + r_1}, \quad (3.8)$$

де r_j - теплота, яку сприйняла волога (1кг) в сушарці;

$\sum Q_{\text{втр}}$ - теплові втрати, віднесені до 1 кг випаруваної вологи.

Таким чином, енергетична ефективність зерносушарки загалом залежить від режимних параметрів сушильного процесу: температури сушильного агенту, його швидкості, інтенсивності видалення вологи і експозиції сушіння. Два останні показники залежать від виду зерна і його вологості, а також способу сушіння, конструкції сушарки тощо.

Рішення проблеми зниження енергоємності та підвищення якості виконання технологічного процесу сушіння зерна може бути здійснено за рахунок пошуку нових методів та напрямків вдосконалення технології сушіння як в існуючих, так і в розроблюваних зерносушарках, і, зокрема, використанням раціональних регламентів і режимів сушіння.

Підвищення технологічної ефективності сушіння зерна має своїм основним завданням збільшення величини показників призначення сушильного обладнання, а саме - продуктивності зерносушарки і якісних

показників готового продукту.

Перспективними напрямками при вирішенні задач інтенсифікації видалення вологи із зерна з одночасним зниженням питомих витрат енергії на його реалізацію та підвищенням якості зернового матеріалу є застосування вібраційних сушарок, в яких в якості сушильного агенту виступає суміш підігрітого повітря і озону певної концентрації. В даних сушильних установках зерно, що висушується, піддається вібраційному впливу, що забезпечує постійне оновлення поверхні матеріалу, який висушується, інтенсифікуючи в свою чергу процес сушіння та підвищуючи якість обробки. А озонופовітряна суміш в якості сушильного агенту виступає рушійним фактором для видалення як вільної, так і зв'язаної вологи, яка міститься в зерновому матеріалі.

Для більш повного використання переваг вібраційних та озонуючих технологій в зерносушінні необхідна більш докладна інформація про їх вплив на параметри сушильного процесу, енергетичні і технологічні показники, які можна отримати методом математичного моделювання.

3.2 Математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу

Як відомо, вплив озону при обробці насіння сільськогосподарських культур залежить від характеру розподілу та поглинання озону по всьому об'ємові матеріалу, що обробляється [8].

При пропусканні через шар зернової сировини озонופовітряної суміші, частина озону буде поглинатися, у зв'язку з чим вміст озону зменшиться, відповідно частина зерна може бути необроблена при заданій концентрації озону.

Тому для достовірного визначення впливу озонופовітряної суміші на обробку зерна потрібно виявити закономірності поглинання озону

зерном.

Швидкість поглинання озону зерною сировиною з озоноповітряної суміші визначається сорбуючою активністю зерна та значенням концентрації озону.

Цю залежність можна описати рівнянням виду [8]:

$$\frac{dC}{dt} = -K_c \cdot C \cdot S_z, \quad (3.9)$$

де C - концентрація озону, мг/м³;

K_c - коефіцієнт, який показує швидкість розповсюдження концентрації озону в шарі зерна по глибині, 1/м² • с;

S_z - площа зернової маси, м².

Для визначення константи швидкості поглинання озону через шар насіння пропускалась озоноповітряна суміш з визначеними параметрами (V_{CA} , V , S_z , C) та через певні проміжки часу вимірювалась концентрація озону на вході та виході шару зерна.

При початкових умовах: $t = 0$; $C = C_0$ зміна концентрації озону в озоноповітряній суміші може бути описана рівнянням:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{S_z}{V} [V_{CA} (C_0 - C) - K_c C V], \quad (3.10)$$

де V_{CA} - швидкість подачі сушильного агента, насиченого озоном, м/с;

V - об'єм оброблюваного зерна, м³;

C_0 - концентрація озону на вході, мг/м³;

C - концентрація озону на виході, мг/м³.

Розв'язок рівняння (3.10) має вигляд:

$$C = \frac{C_0 \cdot V_{CA}}{V_{CA} + K_c \cdot S_z \cdot V} \left[1 - \exp \left(- \frac{V_{CA} + K_c \cdot S_z \cdot V}{V} \right) \cdot t \right]. \quad (3.11)$$

З рівняння (3.11) при відомих параметрах V_{CA} , V , S_z , C можна визначити величину константи швидкості поглинання озону зерном. Оскільки рівняння (3.10) є трансцендентним відносно K_c і його рішення в

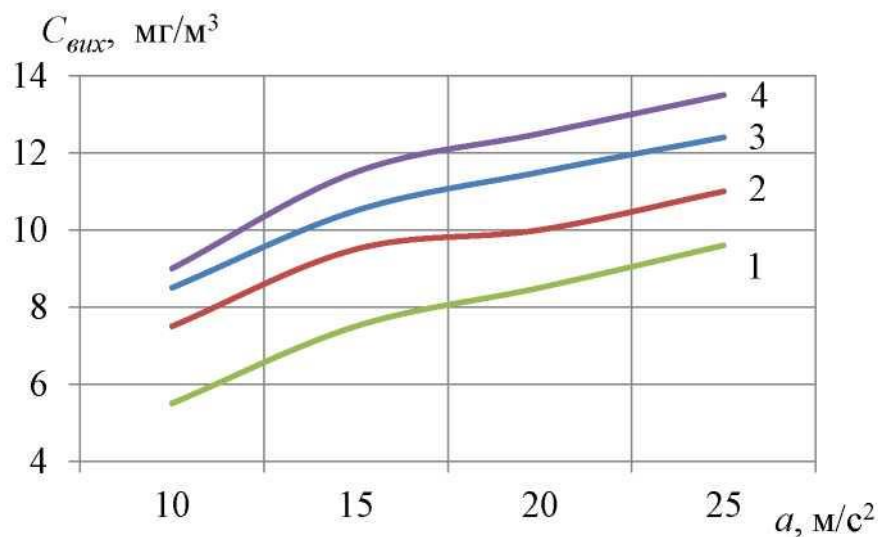
елементарних функціях не може бути отримано, тому величину K_c можна знайти за рівнянням (3.11) методом ітерації за допомогою ЕВМ.

Математичний опис розповсюдження озону по глибині шару зерна може бути оснований на прикладі руху озоноповітряного потоку в вигляді плоского фронту. Рівняння розповсюдження озону матиме вигляд:

$$\frac{dC}{dX} = \frac{K_c \cdot S(a) \cdot C}{V_{ca}}, \quad (3.12)$$

Коефіцієнт $S(a)$ площі взаємодії поверхні насінини з озоном можна збільшити в результаті розрихлення шару зерна за рахунок використання вібраційного впливу на оброблювану сировину. Стан розрихлення шару зернової сировини в свою чергу залежатиме від інтенсивності коливання

Знаючи значення константи швидкості поглинання озону, можна визначити відношення між концентрацією озону в газовій суміші на виході шару насіння за різних віброприскореннях сушильної камери при технологічному завантаженні 75 % від повного об'єму та необхідною швидкістю сушильного агенту, насиченого озоном (рис. 3.1).



1 - при швидкості руху сушильного агенту $V_{CA} = 0,5$ м/с; 2 - при швидкості руху сушильного агенту $V_{CA} = 1,5$ м/с; 3 - при швидкості руху сушильного агенту $V_{CA} = 2,5$ м/с; 4 - при швидкості руху сушильного агенту $V_{CA} = 3,5$ м/с

Рисунок 3.1 - Теоретична залежність концентрації озону $C_{вих}$ в

озоноповітряній суміші від віброприскорення сушильної камери a

Отримані графічні та теоретичні залежності вперше дають змогу

визначати продуктивність озонатора та інтенсивність розподілу концентрації озону по глибині шару під дією вібраційного впливу в залежності від віброприскорення сушильної камери та швидкості руху сушильного агенту.

3.3 Основні параметри віброозонуючого комплексу

Для отримання необхідного віброзваженого стану зернової сировини, яка піддається сушінню, потрібно провести аналіз особливостей різних типів коливних систем.

Автоколивання виникають в результаті компенсації внаслідок дисипації витрат енергії коливної системи автоматичним постачанням енергії від неколивного джерела за рахунок самої системи. В автоколивних

системах, які містять м'яке самозбудження, стан рівноваги нестійкий і порушується самовільно, без втручання зовнішніх факторів. Для подібних систем із жорстким самозбудженням приведення в рух із стану рівноваги здійснюється лише за рахунок зовнішнього джерела. При цьому, спеціальний пристрій після відключення джерела енергії призводить до зупинки системи в положенні, яке знаходиться всередині області нестійкості. Це викликає спонтанне виникнення коливального руху при послідуєчому ввімкненні.

Автоколивальні системи є ефективними при малих розсіюваннях енергії, оскільки при цьому досить легко досягаються автоколивання, які близькі за формою і частотою до однієї із власних форм та частот вібрації. У випадку неколивної системи вище описана можливість є відсутньою, але поширюються можливості керування параметрами вібрації. Автоколивання відрізняються від вільних коливань неможливістю затухання, а від вимушених та параметричних (характер дії яких в обох випадках заданий) - властивістю самозбудження, при якому процес коливань керується самими коливаннями.

Вимушені коливання виникають при дії на систему протягом усього вібраційного процесу певних зовнішніх змушуючих сил, параметри яких періодично змінюються. Дані коливання відбуваються з частотою змушуючої

сили та підтримуються за рахунок постійного надходження енергії ззовні. Переважна кількість сучасних вібраційних машин працює в режимах вимушених коливань, що дозволяє варіювати амплітудним та фазовим спектрами вібрації у широкому діапазоні. За рахунок цього вібраційне обладнання може працювати в режимі звичайного резонансу; в режимі супергармонійного резонансу; в режимі комбінаційного резонансу; у субгармонійному режимі.

При цьому змушуюча дія віброзбуджувача викликає створення незрівноваженої коливної системи. Віброзбуджувач може створювати дві змушуючі дії: силу P та момент M .

В залежності від вимог технологічного процесу змушуюча дія на робочий орган вібраційної машини може бути одно-, дво- і тривимірною; в залежності від характеру та спрямованості дії - коловою, еліптичною, спрямованою [43].

У випадку спрямованої вібрації вектор силового параметра має незмінний напрямок та коливальний модуль. У разі колової вібрації вектор силового параметра рівномірно обертається, але має незмінний модуль. При цьому спрямований або коловий силовий параметр не завжди викликають відповідно спрямовану або колову вібрацію точок робочого органу.

Еліптичну змушуючу дію можна отримати за рахунок додавання дій спрямованих та колових силових параметрів вібрації. Колова змушуюча сила може бути створена в результаті комбінації дій двох спрямованих синхронних компланарних сил одного модуля, які синусоїдально коливаються. У випадках, коли модулі різні або різниця фаз не дорівнює куту між напрямками сил, результатом складання буде еліптична сила, або (у частковому випадку синфазності даних сил) спрямована сила, що синфазна своїм складовим. Підбираючи спрямовані синфазні та синусоїдально коливні сили, що спільно діють на робочі органи вібраційних машин, можна одержати будь-які плоскі та просторові силові параметри вібрації: сили і моменти, або комбінацію сил та моментів. Це в свою чергу дозволяє майже необмежено варіювати

траєкторію руху робочих органів та значно розширити спектр технологічного використання вібраційних машин [43].

Силове збудження коливань обумовлюється дією на систему силових параметрів вібрації, які не залежать від координат стану коливальної системи та їх похідних. Кінематичне збудження коливань здійснюється за рахунок надання деяким точкам чи тілам системи певних переміщень, тобто при зміні певних кінематичних параметрів вібрації коливальної системи, які не залежать від координат стану та їх похідних.

Самозбудження коливань відбувається в певних нелінійних автономних динамічних системах при постачанні енергії від неколивального джерела. Комбіноване віброзбудження виникає при певній комбінації розглянутих вище способів збудження коливань, наприклад, для різних режимів роботи вібраційної машини чи особливостей їх конструктивних схем.

До основних енергетичних параметрів вібрації можна віднести роботу змушуючих сил або моментів та внутрішніх сил опору коливної системи. Робота зовнішніх сил створюється за рахунок віброзбуджувача та витрачається на подолання сил опору системи і забезпечення коливного руху робочих органів вібраційної машини за заданими параметрами. Внутрішніми силами опору коливної системи є сили реактивного та дисипативного опору [43].

3.4 Оцінка отриманої зернової сировини за вібраційної дії

При дослідженні показників якості процесу сушіння розробленої машини проведено ряд експериментів із зерною сировиною за вібраційної дії та відсутності озону. Експерименти проводились на штучно зволоженій до 20% (за вище описаною методикою в розділі 2) м'якій пшениці, оцінка якої полягала у встановленні показників її вологості в залежності від температури теплоагенту та віброприскорення сушильної камери (рис. 4.10). Тривалість обробки t_o становила 240 хв. при швидкості теплоагенту $V_{CA} = 1,5$ м/с і

температурі $t_{CA} = 45-65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Заміри показників проводились кожні 10 хв.

Грунтуючись на отриманих даних кінетики процесу сушіння зернової сировини, можна зробити висновок, що підвищення температури сушильного агенту сприяє пришвидшенню вологовиділення, при чому температура вище $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ не дає суттєвих результатів. Тобто, температура сушильного агенту вище зазначеного значення є не доцільною з точки зору енерговитрат на живлення електричних нагрівних елементів.

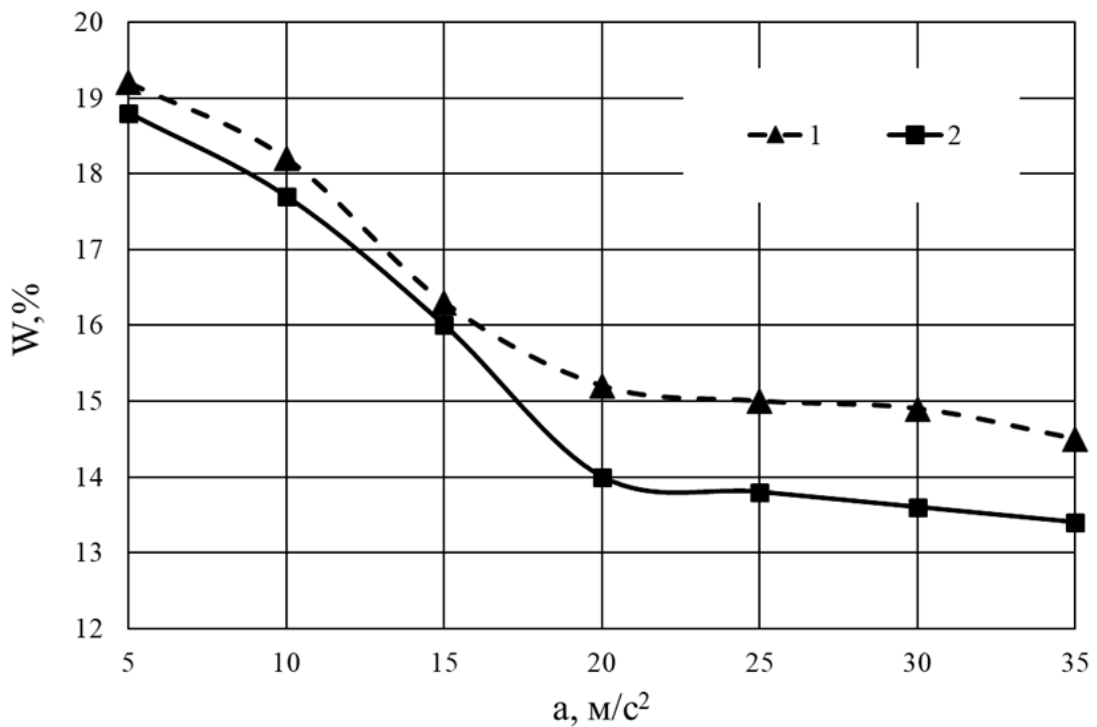


Рисунок 3.2 - Залежність зміни вологості зернової сировини в залежності від віброприскорення за температури сушильного агенту $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1 – завантаження сушильної камери 75%; 2 – завантаження 50-100% об'єму.

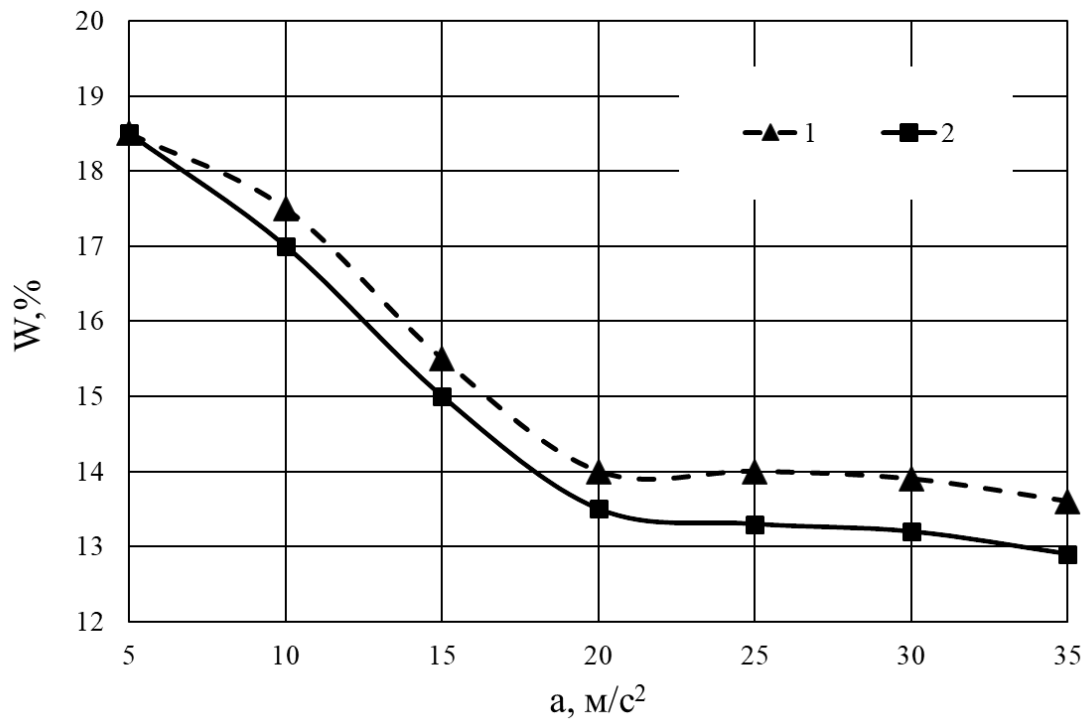


Рисунок 3.3 - Залежність зміни вологості зернової сировини в залежності від віброприскорення за температури сушильного агенту 55 °С.

1 – завантаження сушильної камери 75%; 2 – завантаження 50-100% об'єму.

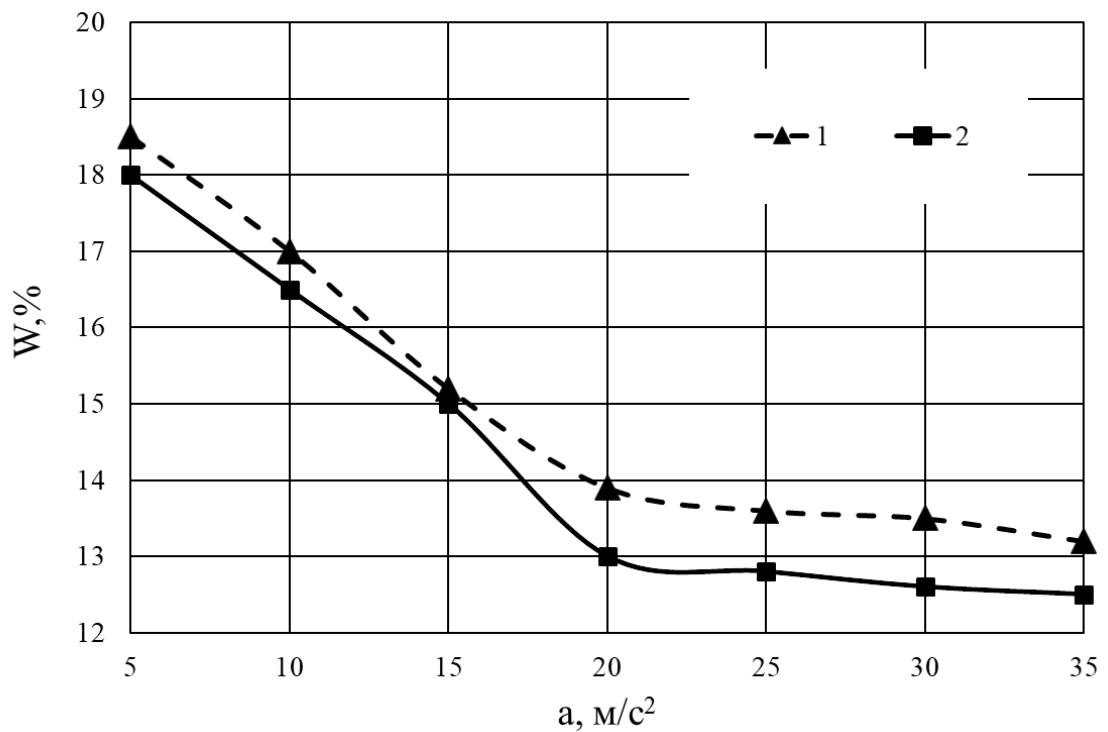


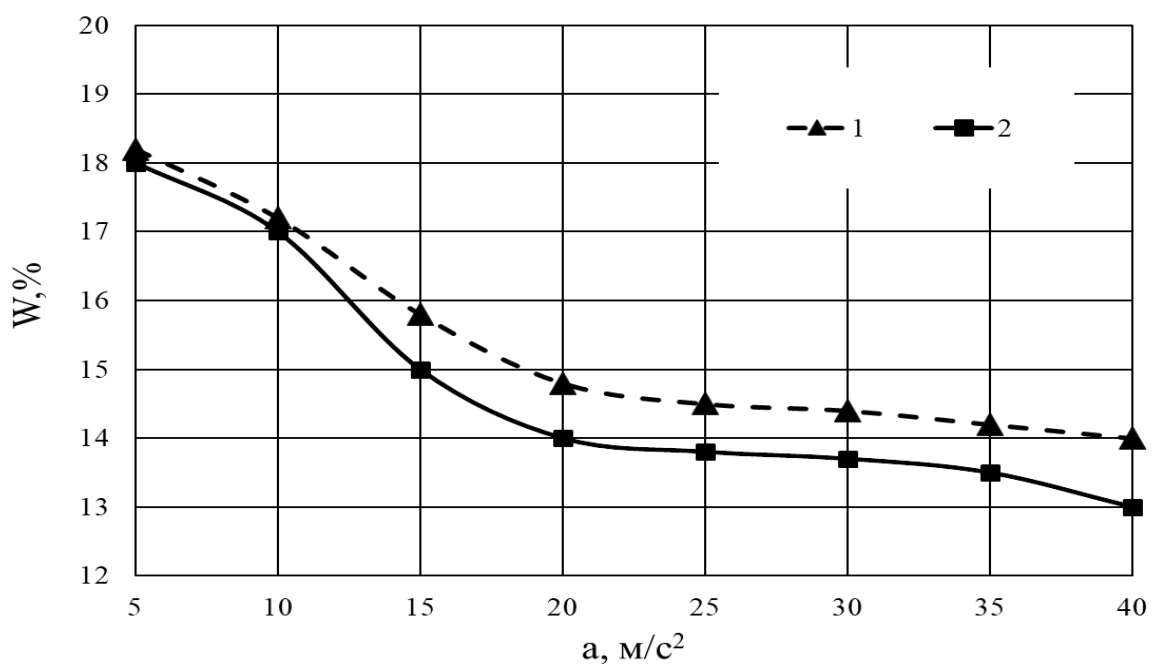
Рисунок 3.4 - Залежність зміни вологості зернової сировини в залежності від віброприскорення за температури сушильного агенту 65 °С.

1 – завантаження сушильної камери 75%; 2 – завантаження 50-100% об'єму.

Крім того, найбільш інтенсивне вологовиділення із зернового матеріалу відбувається при віброприскоренні $a = 20-22,5 \text{ м/с}^2$, після чого залишається на рівні. Отже, віброприскорення вище вказаного значення є не раціональним, оскільки його підвищення не сприяє істотному зниженню рівня вологи, а лише веде до зростання споживаних енерговитрат.

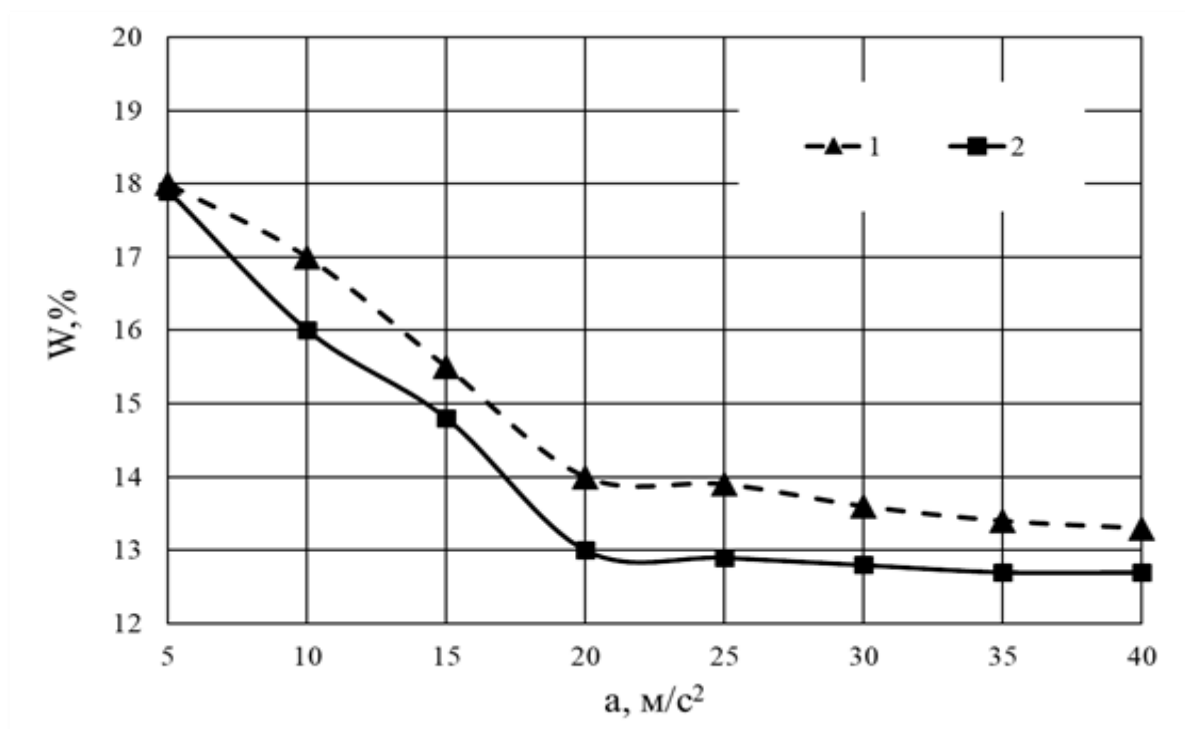
3.5 Оцінка отриманої зернової сировини за комплексної віброозонуючої дії

При експериментальних дослідженнях розробленого комплексу здійснено аналіз впливу комплексної теплофізичної дії на показники якості обробленої сировини, яку попередньо було зволожено та заражено спорами грибків головні і фузаріуму.



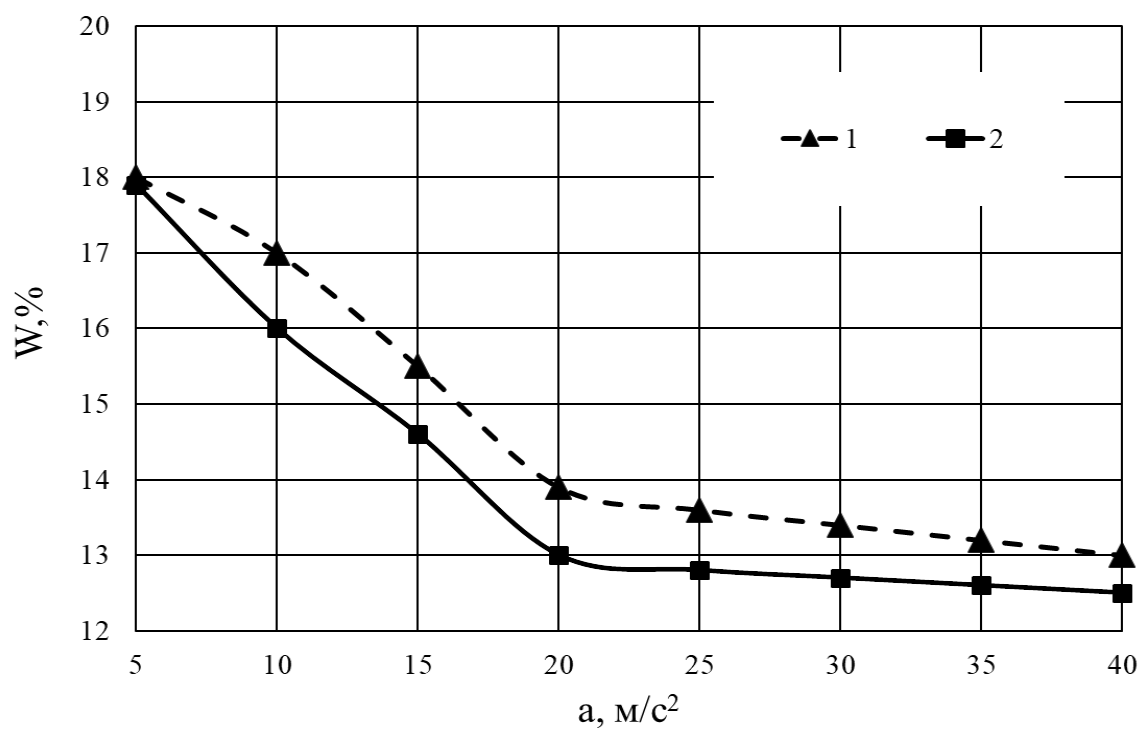
1 – завантаження сушильної камери 75%; 2 – завантаження 50-100% об'єму

Рисунок 3.5 - Зміна вологості сировини залежно від віброприскорення з використанням озону за температури сушильного агенту 45°C



1 – завантаження сушильної камери 75%; 2 – завантаження 50-100% об'єму

Рисунок 3.6 - Зміна вологості сировини залежно від віброприскорення з використанням озону за температури сушильного агенту 55 °C



1 – завантаження сушильної камери 75%; 2 – завантаження 50-100% об'єму

Рисунок 3.7 - Зміна вологості сировини залежно від віброприскорення з використанням озону за температури сушильного агенту 65 °C.

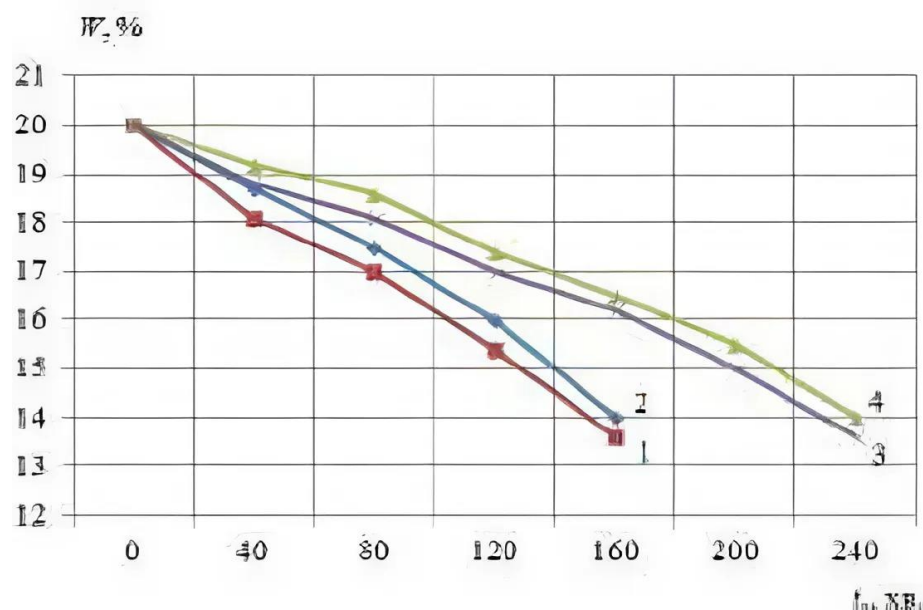
Отримана зернова сировина оцінювалася за такими показниками, як кінцева вологість, схожість, стан осіменіння грибками головні і фузаріуму в залежності від температури сушильного агенту, концентрації озону в його складі та часу обробки.

Кінцева вологість зерна при технологічному завантаженні сушильної камери 50% та 75% від повного об'єму визначалась при обробці його сушильним агентом температурою 45 °С, 55 °С та 65 °С, у складі якого був присутній озон концентрацією $N_O = 10 \text{ мг/м}^3$ за рекомендаціями досліджень [40] (рис. 3.5-3.7). Тривалість обробки t_o становила 160 хв при швидкості сушильного агенту $V_{CA} = 1,5 \text{ м/с}$.

Базуючись на отриманих даних кінетики процесу сушіння зернової сировини при концентрації озону в складі сушильного агенту $N_{O_3} = 10 \text{ мг/м}^3$, очевидно, що підвищення його температури до 55 °С сприяє інтенсивному вологовиділенню, при чому температура вище зазначеного значення не дає суттєвих результатів і призводить до зайвих енерговитрат.

Крім того, найінтенсивніше волога із зернового матеріалу виділяється при віброприскоренні $a = 20-25 \text{ м/с}^2$, після чого істотно не змінюється. Звідси випливає, що підвищення віброприскорення сушильної камери понад вказаного значення є не ефективним, оскільки не сприяє істотному зниженню рівня вологи, а лише веде до зростання енерговитрат на привод дебалансного валу.

Порівнюючи криві сушіння зернової сировини за умови вібраційної та віброозонуючої дії умов, очевидно, що тривалість обробки з використанням озону у складі сушильного агенту $N_O = 10 \text{ мг/м}^3$ скорочує тривалість даного процесу на $At_o = 80 \text{ хв.}$, а отже знижує енерговитрати даної технологічної операції (рис. 3.8).



- 1, 2 - за використання озону (при технологічному завантаженні сушильної камери 50% та 75% від повного об'єму відповідно);
- 3, 4 - за використання вібраційного сушіння (при технологічному завантаженні сушильної камери 50% та 75% від повного об'єму відповідно)

Рисунок 3.8 - Кінетика сушіння зернової сировини

Висновки за 3 розділом

1. Встановлено фактори, від яких залежать енергетична і технологічна ефективність процесу сушіння зерна в зерносушарках, а саме: температури сушильного агенту, його швидкості, інтенсивності видалення вологи і експозиції сушіння. Два останні показники залежать від виду зерна і його вологості, а також способу сушіння, конструкції сушарки тощо.

2. Розроблена математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу. Отримані графічні та теоретичні залежності вперше дають змогу визначати продуктивність озонатора та інтенсивність розподілу концентрації озону по глибині шару під дією вібраційного впливу в залежності від віброприскорення сушильної камери та швидкості руху сушильного агенту.

3. У результаті проведених пошукових експериментів визначено

раціональні межі дослідження технологічного параметру процесу сушіння зернової сировини та проаналізовано статистичний характер вихідних значень отриманих результатів.

4. У ході експериментальних досліджень було отримано компромісні технологічні параметри досліджуваного процесу сушіння зернової сировини, які становлять: віброприскорення $a=15-20 \text{ м/с}^2$, температура сушильного агенту $T_{CA}=50-55 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрація озону $N_O=8-10 \text{ мг/м}^3$, час обробки $t_o=130-160 \text{ хв.}$ за швидкості руху сушильного агенту $V_{CA}=1,5 \text{ м/с.}$

РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розробка, наукове обґрунтування та опис схеми руху зерна

Технологічна схема розроблена за принципом послідовної обробки зерна в потоці від моменту його приймання до завантаження в сховища для зберігання.

Схема руху зерна на підприємстві включає в себе наступні операції:

- Зважування автомобілів та їх розвантаження.
- Очищення зернової маси.
- Сушіння вологого зерна.
- Розміщення на зберігання в сховища.
- Відвантаження на автомобільний транспорт.

Встановлення автомобілерозвантажувача дозволяє значно збільшити продуктивність лінії. До будь-якого приймального пристрою обов'язково входить накопичувальний бункер. Приймальні бункери необхідні для зміни продуктивності приймальних пристроїв у процесі розвантаження та невідповідності у ряді випадків продуктивності машин, що приймають зерно та транспортних механізмів. За відсутності приймальних бункерів неможливо забезпечити безперервну роботу норій. Під приймальним бункером розташований стрічковий транспортер. Він з'єднує приймальний пристрій з очисними машинами.

Ковшовий елеватор або норію – використовують для вертикального транспортування зерна у складі зерноочисних ліній зерноочисно-сушильних комплексів, а також для подачі зерна в склади та зерносховища.

Попереднє очищення зерна від грубих домішок проводять на скальператорі. Він призначений для виділення крупних домішок (крупних грудок землі, стебел рослин, палиць, камінців і т.д.).

Далі зерно надходить на ситовий сепаратор. Він призначений для відділення від зерна домішок, що відрізняються товщиною, шириною, та

аеродинамічними властивостями, за допомогою решіт і повітряного потоку. Очищена зернова маса з пневмосепаруючого каналу потрапляє по стрічковому конвеєру до зерноскладища.

При необхідності зерно за допомогою норії надходить до віброозонуючого комплексу, де його висушують до відповідної вологості, для подальшого зберігання.

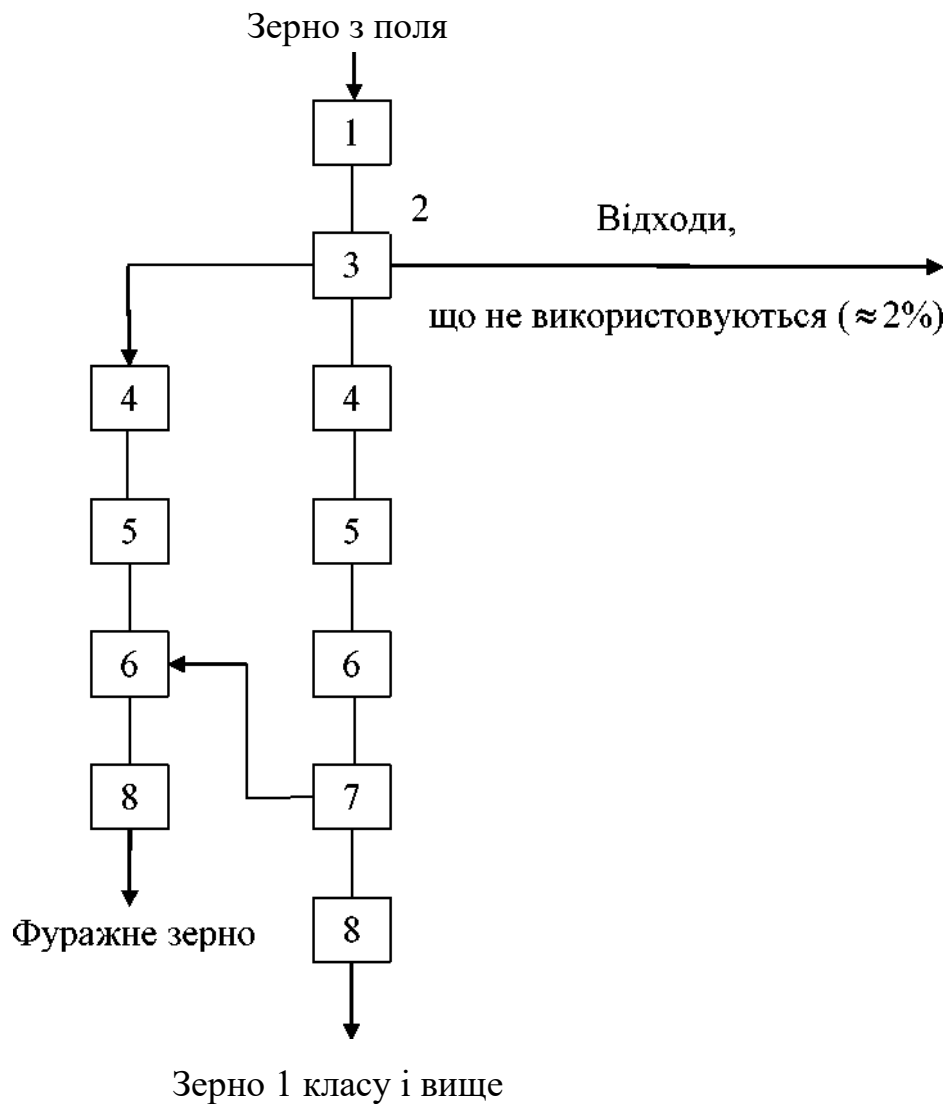
Після всіх проведених операцій, залежно від потреби, зерно може відвантажуватись на автотранспорт, або розміщуватись в складищах на зберігання.

4.2 Місце віброозонуючого комплексу в технологічній схемі післязбиральної обробки зернової сировини

Розроблений віброозонуючий комплекс з об'ємом сушильної камери 60 дм³ призначений для фермерських господарств і може використовуватися для сушіння зернової сировини під час післязбиральної обробки.

В технологічній схемі післязбиральної обробки, що включає лінії попереднього, первинного та вторинного очищення, віброозонуючий комплекс займає центральне місце.

На рис. 4.1. показана схема лінії післязбиральної обробки зернової сировини. Технологічна послідовність роботи лінії полягає в наступному. Матеріал з живильника 1 потрапляє на машину попереднього очищення 3, після якої очищене зерно потрапляє в бункери активного вентилявання 4, а відходи, що не використовуються, - у відповідний бункер. З бункерів 4 зерно надходить до віброозонуючих комплексів 5, а після них в інші два бункери 6, в яких воно відлежується. Для отримання зерна продовольчої якості і насіннєвого призначення його (при необхідності) обробляють на машині первинного і додатково вторинного очищення 7.



1 - живильник; 2 - транспортування зернової сировини; 3 - машина попереднього очищення; 4 - бункер активного вентилявання;

5 - віброозонуючий комплекс; 6 - бункер для відлежування; 7 - машина первинного та вторинного очищення; 8 - розвантажувальний конвеєр

Рисунок 4.1 - Схема лінії післязбиральної обробки зернової сировини

Висушене зерно насінневої якості вивантажується через вікно, яке відкривається в боковій стінці контейнера 8 і направляється на лінію безтарного зберігання і відвантаження або на лінію завантаження в мішки. Висушене

фуражне зерно після відлежування у бункері 6 поступає до розвантажувального конвеєра 8, з якого також направляється на лінію безтарного зберігання і відвантаження або на лінію завантаження в мішки.

Готова продукція вивантажується через вікно, яке відкривається в боковій стінці контейнера і направляється на лінію безтарного зберігання і відвантаження комбікормів або на лінію завантаження в мішки.

Слід зазначити, що конструкція віброозонуючого комплексу є складнішою за існуючу схему. Тому його обслуговування, експлуатація та ремонт вимагають відповідної кваліфікації обслуговуючого персоналу і особливого дотримання санітарних норм і правил техніки безпеки.

Висновки до розділу 4

Модернізація елеваторного обладнання дозволить зерновому підприємству забезпечити цілий ряд якісних ринкових переваг:

- сучасна технологічна база підприємства забезпечить високу якість зберігання зерна та мінімізує втрати зернових при транспортуванні та переробці;
- високотехнологічне обладнання дозволить підвищити енергетичну ефективність підприємства, а також забезпечить екологічну та промислову безпеку експлуатації елеваторного комплексу;
- застосування інноваційних рішень в області автоматизації систем управління технологічними процесами на елеваторі забезпечить чіткий контроль роботи підприємства, а також дозволить знизити чисельність персоналу і вплив людського фактору на виробничі процеси.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація заходів з охорони праці на зернозаготівельних комплексах

На зерноскладах основною речовиною, що забруднює повітря, є зерновий пил, що відноситься до макротоксичних речовин.

Аспіраційні та пневмотранспортні установки є основними джерелами викидів забруднюючих речовин в атмосферу на таких підприємствах .

Максимальні гранично допустимі концентрації в атмосферному повітрі населених пунктів для зернового і борошняного пилу становлять: максимальна разова доза – $0,2\text{мг/м}^3$, середньо добова – $0,03\text{мг/м}^3$, клас небезпеки – третій, наказ МОЗ України від 10.05.2024 № 813 [44].

Невеликі фермерські елеватори, як правило, належать до 3-ї, найбільш безпечної групи. Термін дії Дозволу для неї необмежений.

Кожного року підприємство від екологічної буде отримувати дозвіл на викиди в атмосферу певної кількості забруднюючих речовин. З метою очищення стічної води (танення снігу, дощі...) на підприємстві запроектовано встановлення очисних споруд за механічним принципом очищення (фільтри-відстійники,). Також важливо зменшити шум, що утворюється за роботи технологічного обладнання. Для цього використовують спеціальні шумопоглинаючі конструкції за зведення робочої башти. Шум, так само як і пил може викликати професійні захворювання.

Кожне підприємство зернопереробної промисловості має декілька видів відходів. Відходи зерноочистки, залежно від категорії, продаються для виготовлення комбікормів, паливних гранул та ін.. А відходи споживання вивозять на спеціальні майданчики, що класифікуються за номером, в залежності від виду відходів.

Організація умов охорони праці на робочому місці

Ступінь концентрації отруйних газів, пилу та парів у повітрі операторської

відповідають встановленим вимогам наказ МОЗ України від 10.05.2024 № 813 [44].

Приміщення обладнане примусовою загальнообмінною вентиляцією згідно з вимогами СНиП 2.04.05-91 [45].

Робоче місце оператора зерносховища відповідає вимогам ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2014 [46].

Освітлення операторської відповідає вимогам «Інженерного обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» відповідно до пункту: «Приміщення розподільних пристроїв, диспетчерські, операторські з постійним перебуванням людей» ДБН В.2.5-28:2018 [47].

Згідно з ДСТУ 12.1.047:2009 [48] (який регулює вимоги до рівня шуму на робочих місцях в Україні) та іншими нормами, допустимий рівень шуму в таких приміщеннях, як операторські, повинен бути в межах 60 дБА — це максимальний рівень шуму для робочих місць, де проводиться інтелектуальна діяльність, наприклад, в операторських кімнатах, адміністративних приміщеннях тощо.

Встановлене в приміщенні оператора електричне обладнання та його заземлення відповідає встановленим нормам ДСТУ 12.2.007.12:2008 [49].

Розробка заходів з охорони праці

Перед початком роботи для всіх операторів проводяться інструктажі з охорони праці, а саме вступний інструктаж на робочому місці, поточний та повторний інструктажі. Проводяться бесіди, лекції, присвячені питанням гігієни праці, заходам боротьби з травматизмом та ін. [50, 51].

Для забезпечення захисту від шуму та вібрації приміщення оператора ізолюють від шуму пилу вібрації зерноочисного обладнання. На робочому місці оператора знаходиться лише персональний комп'ютер, який створює незначний рівень шуму 30-40 дБА, що значно нижче дозволених 60 дБА [48].

Моделювання небезпечних ситуацій

На рисунку 5.1 наведено модель процесу виникнення небезпечної ситуації (НС) у приміщенні оператора під час роботи зерноочисного комплексу. .

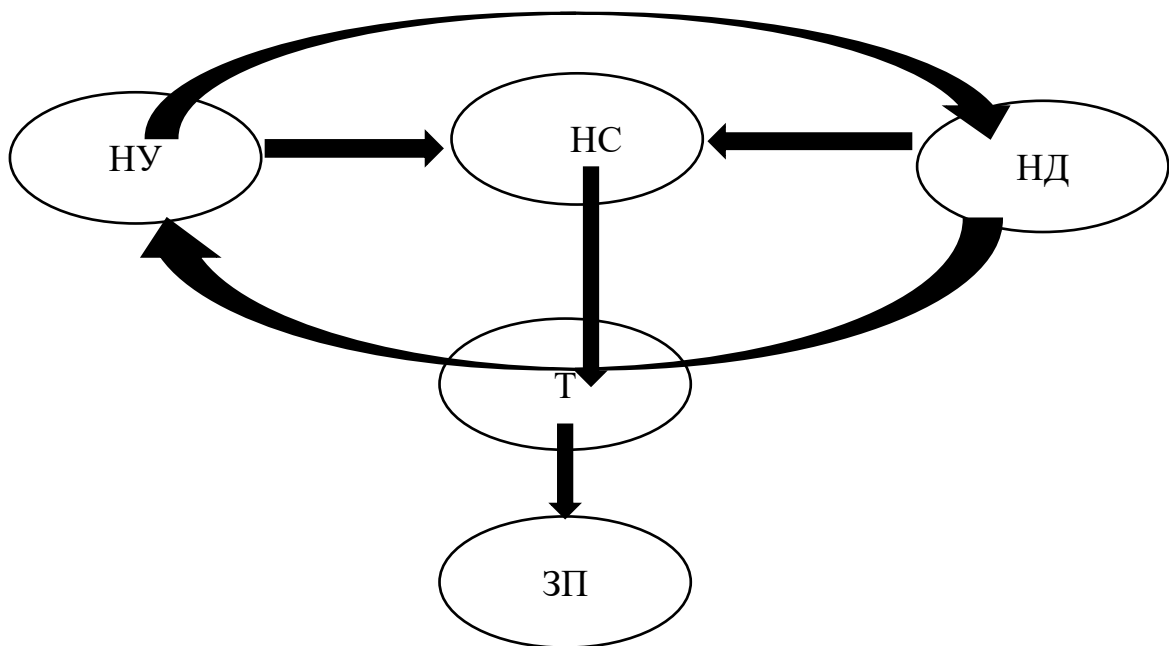


Рис. 5.1 Модель небезпечної ситуації під час виробництва макаронів

Віброозонуючий комплекс працює у складі зерноочисної лінії, що керується персональним комп'ютером (НУ). При цьому оператор може випадково розлити речовину з низьким опором електричному струму (чай, кава та ін.) з потраплянням до розетки змінного струму (НД), за надзвичайно несприятливих умов його тіло може бути провідником заземлення (НС), що потенційно призведе до травми (Т) і залежно від сили струму та ділянки тіла крізь які протікав струм можливе зниження працездатності (ЗП).

Приміщення оператора віброозонуючого комплексу забезпечене усім необхідним та відповідає вимогам нормативних документів з безпеки охорони праці.

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Перспективність застосування віброозонуючого комплексу, запропонованого на підставі теоретичних і експериментальних досліджень, може бути визначена виявленням економічної ефективності його використання. Дана ефективність визначається шляхом зіставлення витрат на виконання технологічного процесу сушіння зернової сировини з допомогою розробленого віброозонуючого комплексу і базових аналогічних зразків.

Розроблений віброозонуючий комплекс з об'ємом сушильної камери 60 дм³ призначений для фермерських господарств і може використовуватися для сушіння зернової сировини під час післязбиральної обробки

Економічна ефективність використання розробленого віброозонуючого комплексу розрахована з умови річного навантаження на одну зерносушарку. При цьому за базу для порівняння прийнята зерносушарка серійного виробництва СБЦ-3М. Економічна ефективність порівнюється з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М розрахунки наведені в додатку А

Слід зазначити, що конструкція віброозонуючого комплексу є складнішою за існуючу схему. Тому його обслуговування, експлуатація та ремонт вимагають відповідної кваліфікації обслуговуючого персоналу і особливого дотримання санітарних норм і правил техніки безпеки.

В таблиці 6.1 наведені техніко-економічні показники розробленого віброозонуючого комплексу та базової зернової сушарки, яка використовується в даному технологічному процесі.

Таблиця 6.1

Техніко-економічні показники сушарок

Показники	Зернова сушарка	
	Розроблена	Базова
Питома продуктивність, кг/м ³	1,08•10 ⁴	3,9•10 ³
Середньорічне навантаження, год	300	300
Тривалість сушіння, хв.	170	80
Технологічна потужність, кВт	3	17,5
Ємкість сушильної камери, м ³	0,06	4
Відпускна ціна машини, грн	1,35•10 ⁵	492000
Експлуатаційні витрати, грн/кг	3,667•10 ⁻³	0,036
Економічний ефект, грн	66690	-
Термін окупності, років	2,02	-

Висновки за 6 розділом

1. Результати техніко-економічного оцінювання розробленого віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що провадження такого комплексу у виробництво дає змогу отримати річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

2. Визначено місце віброозонуючого комплексу в технологічній схемі післязбиральної обробки зернової сировини та виконано апробацію результатів досліджень.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено проблему підвищення ефективності і швидкості процесу сушіння зернової сировини із одночасним зменшенням енерговитрат на його виконання при використанні розробленого віброозонуючого комплексу.

1. Огляд існуючих конструкцій серійних зернових сушарок дав змогу визначити недоліки сушильного обладнання, переважно пов'язані з неякісною обробкою зернової сировини, значними енерговитратами, складністю експлуатації, значною металоємністю та вартістю. Ґрунтуючись на сучасному рівні розвитку вібротехнологій і обладнання та використанні озону в різних галузях промисловості, було визначено ефективність їх використання для сушіння зернової сировини у процесі післязбиральної обробки.

2. Розроблена математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу. Отримані графічні та теоретичні залежності вперше дають змогу визначати продуктивність озонатора та інтенсивність розподілу концентрації озону по глибині шару під дією вібраційного впливу в залежності від віброприскорення сушильної камери та швидкості руху сушильного агенту.

3. Розроблено перспективну схему та конструкцію віброозонуючого комплексу для реалізації технологічного процесу сушіння, в якому зернова сировина, що обробляється, піддається вібраційному впливу з одночасною подачею сушильного агенту, який є сумішшю підігрітого повітря та озону заданої концентрації.

4. У ході експериментальних досліджень було отримано раціональні технологічні параметри досліджуваного процесу сушіння зернової сировини: віброприскорення $a=15-20 \text{ м/с}^2$, температура сушильного агенту $T_{CA}=50-55 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрація озону $N_{O_3}=8-10 \text{ мг/м}^3$, час обробки $t_0=130-160 \text{ хв.}$ за швидкості руху сушильного агенту $V_{CA}=1,5 \text{ м/с.}$

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено віброозонуючий комплекс для сушіння зернової сировини як насіннєвого, так і для харчового призначення.

Забезпечуючи дбайливе сушіння як насіннєвого, так і товарного зерна, віброозонуючий комплекс поліпшує як насіннєві, так і товарні властивості зерна. Завдяки вібраційному впливі на зерновий матеріал, він перебуває у постійному русі, що унеможлиблює його перегрівання та забезпечує рівномірний обробіток зерна і його постійний контакт із сушильним агентом. У свою чергу, використання озону, який генерується з допомогою коронного розряду у озонаторі бар'єрного типу, у складі сушильного агента інтенсифікує процес сушіння та забезпечує одночасне знезараження зерна від хвороб та шкідників. Після проходження сушильного агента через оброблювану сировину надлишковий озон з допомогою деструктора розкладається до рівня ГДК, який становить 0,1 мг/м³ [41].

Даний віброозонуючий комплекс може знайти застосування у дрібних фермерських господарствах.

Підігрів сушильного агента здійснюється за допомогою електричного теплогенератора, що виключає потрапляння шкідливих продуктів спалювання рідкого та газоподібного палива в зернову сировину.

За результатами досліджень розроблено технічну документацію на віброозонуючий комплекс. Результати техніко-економічного оцінювання розробленого віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що провадження такого комплексу у виробництво дає змогу отримати річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мерко І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса, 2001. 348 с.
2. Сенчук С.Р. Кухарчук О.В., Сидорчук О.В. та ін. Державна технічна політика і розвиток аграрного виробництва. Збірник наукових праць Національного аграрного університету «Механізація сільськогосподарського виробництва». Київ, 1999. Т. VI. С. 120-124.
3. Маньківський А.Я., Скалецька Л.Ф., Подпрятів Г.І. та ін. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Ніжин, 1999. 384 с.
4. Піддубний В. А., Осокіна Н. М., Ткаченко Г. В. Визначення фізико-механічних властивостей насіння сої як сировини олійного виробництва. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2024. №2(56). С. 60-66. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.8>
5. Жемела Г.П. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Полтава, 2003. 420 с.
6. Данильчук П.В. Довідник по зберіганню зерна. Київ, 1989. 96 с.
7. Станкевич, Г. М. Страхова Т. В., Борта А. В. Сушіння зерна : підручник для студентів закладів вищої освіти, які навчаються за спец. "Технологія зберігання і переробки зерна" та працівників зернової галузі. Вид. 2-ге, перероб і допов. — Одеса : КП ОМД, 2021. — 248 с.
8. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна – Одеса, «Поліграф», 2009. –182с.
9. Спарена шахтна зерносушарка з одним топковим відділенням: пат. 139774 Україна, МПК F26B 17/00 / Марцун О.М. , Осокіна Н.М., Скобленко В.П., Ярошенко В.В., Ткаченко Г.В. – № у 201905458; заявл. 21.05.2019; чинний з 27.01.2020, Бюл. № 2/2020

10. Шахтна зерносушарка з повторним використанням робочих газів: пат. 139775 Україна, МПК F26B 17/00 / Марцун О.М., Осокіна Н.М., Улянич І.Ф., Ярошенко В.В., Ткаченко Г.В. – № u201905463; заявл. 21.05.2019; чинний з 27.01.2020, Бюл. № 2/2020
11. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна вітчизняних зерносушарок зменшенням опору внутрішньокапілярної дифузії вологи. Наукові праці ОНАХТ, 2010. № 38, т. 1. С. 122–130.
12. Піддубний В. А., Осокіна Н. М., Ткаченко Г. В. Оцінка фізико-механічних властивостей продуктів дроблення насіння сої олійного виробництва. Вібрації в техніці та технологіях. 2024. № 2(113). С. 110-118. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-2-12>
13. Ткаченко Г.В., Новак Л.Л., Осокіна Н.М. Експлуатація одного топкового відділення з двома зерносушарками ДСП-32 для сушіння насіння сої// Хранение и переработка зерна.– 2017.– № 6.– С. 30-35
14. Чурсінов Ю. Порівняльний огляд технічних засобів сушіння зерна. Пропозиція. Київ, 2006. С. 122-124.
15. Пазюк, В. М., Пазюк, О. Д., Романенко, М. Д. Енергозберігаючі режими сушіння насіннєвого зерна та реалізація їх у вібраційній зерносушарці. Вібрації в техніці та технологіях, 2016, 3 С.202-206.
16. Liu, C., Wang, L., Wu, P., & Xiang, F. (2012). Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying. Powder Technology, 221, 192-198.
17. Bulgakov, V., Holovach, I., Kiurchev, S., Pascuzzi, S., Arak, M., Santoro, F., ... & Olt, J. (2020). The theory of vibrational wave movement in drying grain mixture.
18. Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Curran, T., Gallagher, E., Cullen, P. J., & O'Donnell, C. P. (2010). Application of ozone in grain processing. Journal of cereal science, 51(3), 248-255.
19. Шмат К.І., Диневич Г.Ю., Карманов В.В. та ін. Технологія і обладнання для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Херсон, 2001. 160 с.

20. Lullien-Pellerin, V. (2012). Ozone in grain processing. *Ozone in Food Processing*, 81-101.
21. Straumite, E., Rucins, A., Viesturs, D., Kleperis, J., & Kristins, A. (2021). Evaluation of ozone influence on wheat grain quality during active drying.
22. Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020). Studies of the ozonation process when drying grain. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 422, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
23. Straumite, E., Rucins, A., Viesturs, D., Kleperis, J., & Kristins, A. (2021). Evaluation of ozone influence on wheat grain quality during active drying.
24. Granella, S. J., Christ, D., Werncke, I., Bechlin, T. R., & Coelho, S. R. M. (2018). Effect of drying and ozonation process on naturally contaminated wheat seeds. *Journal of cereal science*, 80, 205-211.
25. Granella, S. J., Bechlin, T. R., Christ, D., Zanardi, B., Rego, J. M., & Coelho, S. R. M. (2019). Improvement of heat & mass transfer with added ozone into drying air on corn-soy. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(4), 427-434.
26. José Granella, S., Raquel Bechlin, T., Christ, D., & Machado Coelho, S. R. (2019). Kinetic and physicochemical properties of drying-ozonation process on wheat grain. *Journal of food processing and preservation*, 43(9), e14057.
27. Sivaranjani, S., Prasath, V. A., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Khaneghah, A. M. (2021). Recent advances in applications of ozone in the cereal industry. *LWT*, 146, 111412.
28. Steponavičienė, A., Steponavičius, D., Raila, A., & Kemzūraitė, A. (2012). Modelling the ozone penetration in a grain layer. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 20(4), 292-300.
29. Broberg, M. C., Feng, Z., Xin, Y., & Pleijel, H. (2015). Ozone effects on wheat grain quality—A summary. *Environmental Pollution*, 197, 203-213.
30. White, S. D., Murphy, P. T., Bern, C. J., & van Leeuwen, J. H. (2010). Controlling deterioration of high-moisture maize with ozone treatment. *Journal*

of Stored Products Research, 46(1), 7-12.

31. Kleperis, J., Kristiņš, A., Veinbergs, J., Gvardina, I., Viesturs, D., Ruciņš, A., ... & Brūveris, J. (2019, December). Application of ozone in grain drying: Autonomous sensor system construction and peculiarities. In Rural Development: Proceedings of the International Scientific Conference (pp. 34-39).
32. Борисюк, Д. В., Спірін, А. В., Присяжнюк, Д. В., Твердохліб, І. В. Дослідження процесу віброозонового сушіння зерна та енергетичних параметрів установки для його реалізації. Наукові праці ВНТУ. 2023. № 2. С.87-94.
33. Jian, F., Jayas, D. S., & White, N. D. (2013). Can ozone be a new control strategy for pests of stored grain?. Agricultural Research, 2, 1-8.
34. Cook, Edward M., DuMont, Harman D. Process drying practice. New York etc, 1991. 256 p.
35. New Perspective for Energy farings in Agriculture. D. Reidel Publishing Company. 1986. P. 186-217
36. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Озонування як перспективний спосіб обробки зернової сировини. Зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2017. № 21 (35). С. 307-312.
37. Паламарчук, І. П., Паламарчук, И. П., Кюрчев, С. В., Кюрчев, С. В., Паламарчук, В. І., Верхованцева, В. О., Верхованцева, В. А. Патенту на корисну модель № 124232 "Віброконвеєрна інфрачервона сушарка". 2021 14с.
38. Naik, M., Nickhil, C., Sankalpa, K. B., & Abhirami, P. (2024). Grain drying. In Unit Operations in Food Grain Processing (pp. 129-159). Academic Press.
39. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2017. № 2 (97). С. 99-104.
40. Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. та ін. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної

обробки.

Наукові праці Національного університету харчових технологій. Київ, 2016. № 6. С. 151-156.

41. Цуркан О.В., Герасимов О.О., Коломієць О.С. та ін. Перспективи використання озону в післязбиральній обробці зерна. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2016. № 3 (95). С. 80-84.
42. Присяжнюк Д.В. Озон як рушійний фактор для видалення зв'язаної вологи із зернової сировини. Вібтрації в техніці та технологіях. Вінниця, 2018. № 2 (89). С. 94-97.
43. Паламарчук В.І. Обґрунтування параметрів процесу та обладнання конвеєрного інфрачервоного сушіння сировини олійного виробництва: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Одеса, 2016. 266 с.
44. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 10 травня 2024 року № 813 "Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць" [<https://moz.gov.ua>]. — Режим доступу: [<https://moz.gov.ua/uk/decrees/nakaz-moz-ukrayini-vid-10-05-2024-813-pro-zatverdzhennya-derzhavnih-mediko-sanitarnih-normativiv-dopustimogo-vmistu-himichnih-i-biologichnih-rechovin-v-atmosfernomu-povitri-naselenih-misc>], (дата звернення: 06.11.2024).
45. *СНУП 2.04.05-91* "Опалення, вентиляція та кондиціонування". — Київ, Україна, 1991.
46. ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2014. Система стандартів безпеки праці. Безпека електричних установок. Частина 1. Загальні вимоги. — Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2014. — 24 с.
47. ДБН В.2.5-28:2018. Електричні установки будинків і споруд. Проектування. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. — 152 с.
48. ДСТУ 12.1.047:2009. Шум на робочих місцях. Загальні вимоги безпеки. — Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та

споживчої політики, 2009. — 32 с.

49. ДСТУ 12.2.007.12:2008. Безпека праці. Заземлення електричних установок. Загальні вимоги. — Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2008. — 24 с.
50. ДСТУ 12.0.004:2004. Охорона праці. Організація і методи навчання з питань охорони праці. — Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2004. — 24 с.
51. ДСТУ 12.1.044:2007. Охорона праці. Інструктажі з охорони праці. Загальні вимоги. — Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2007. — 24 с.

«ДОДАТКИ»

Економічна ефективність використання розробленого віброозонуючого комплексу

1 Визначення вартості розробленої машини

Вартість 1 кг чистої маси матеріалів, що йдуть на виготовлення базової машини:

$$M = \frac{C_{mb}}{\sigma_b}, \quad (1)$$

де C_{mb} - вартість матеріалів у собівартості базової машини, грн;
 σ_b - чиста маса базової машини без покупних частин, кг.

Затрати на виготовлення нової машини без вартості матеріалів і покупних частин, що йдуть на 1 кг її чистої маси:

$$H = \frac{C_b - (C_{mb} + C_{pvn})}{\sigma_b}, \quad (2)$$

де C_b - собівартість базової машини, грн;
 C_{pvn} - вартість покупних виробів, що використовуються у новій машині, грн;
 σ_b - чиста маса базової машини без покупних частин, кг.

Галузева собівартість нової машини на стадії технічного завдання:

$$C_o = \sigma_n \cdot (\lambda \cdot H \cdot K_n + M) + C_{pvn} \cdot K_{tz}, \quad (3)$$

де σ_n - чиста маса нової машини без покупних частин, кг;
 λ - коефіцієнт конструктивної складності нової машини в порівнянні з технологією виготовлення базової машини;
 K_n - коефіцієнт зміни «Н» залежно від обсягу випуску;
 K_{tz} - коефіцієнт транспортно-заготівельних робіт.

Нормативний прибуток:

$$P_n = \frac{C_o \cdot P_o}{100}, \quad (4)$$

де P_o - норматив галузевої рентабельності, %.

Оптова ціна нової машини з урахуванням податку на додану вартість:

$$S_o = (C_o + P_n) \cdot \left(1 + \frac{P_{dv}}{100}\right), \quad (5)$$

де P_{dv} - податок на додану вартість, %. Відпускна ціна нової машини з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж техніки:

$$S_n = S_o \cdot \left(1 + \frac{T_c}{100}\right), \quad (6)$$

де T_c - торгівельна націнка посередницької організації, %.

2. Визначення економічної ефективності розробленої машини

Питома продуктивність машини за добу:

- для нової машини:

$$W_{znn} = (W_n / W_{kn}) \cdot T_n, \quad (7)$$

де W_n - продуктивність розробленого віброозонуючого комплексу, кг/год;

W_{kn} - об'єм сушильної камери нової машини;

T_n - тривалість роботи нової машини протягом доби, год;

- для базової машини:

$$W_{zmb} = (W_b / W_{kb}) \cdot T_b, \quad (8)$$

де W_b - продуктивність базової машини, кг/год;

W_{kb} - об'єм сушильної камери базової машини;

T_b - тривалість роботи базової машини протягом доби, год.

Річний обсяг роботи машини:

- для нової машини:

$$Q_n = W_{znn} \cdot D_n, \quad (9)$$

де D_n - тривалість роботи нової машини протягом року, днів; для базової машини:

$$Q_b = W_{zmb} \cdot D_b, \quad (10)$$

де D_b - тривалість роботи базової машини протягом року, днів.

Збільшення річного виробітку нової машини за рахунок підвищення її продуктивності:

$$Q = Q_n - Q_b. \quad (11)$$

Затрати праці на сушіння зернової сировини:

- для нової машини:

$$V_{zn} = \frac{L_n}{W_{zmn}}, \quad (12)$$

де L_n - чисельність обслуговуючого персоналу нової машини, люд.;

- для базової машини:

$$V_{zb} = \frac{L_b}{W_{zmb}}, \quad (13)$$

де L_b - чисельність обслуговуючого персоналу базової машини, люд.

Річна економія затрат праці при застосуванні нової машини:

$$V = Q \cdot (V_{zb} - V_{zn}). \quad (14)$$

Основна заробітна плата працівників:

- для нової машини:

$$ZP_{on} = \frac{L_n \cdot f}{W_{zmn}}, \quad (15)$$

де f - тарифна годинна ставка працівника, грн/год;

для базової машини:

$$ZP_{ob} = \frac{L_b \cdot f}{W_{zmb}}. \quad (16)$$

Відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату чергових і додаткових відпусток, часу для виконання державних

і громадських обов'язків:

- для нової машини:

$$ZP_{dn} = ZP_{on} \cdot \frac{K_d}{100}, \quad (17)$$

де K_d - коефіцієнт, який враховує відрахування на додаткову заробітну плату, %.

- для базової машини:

$$ZP_{db} = ZP_{ob} \cdot \frac{K_d}{100}. \quad (18)$$

Відрахування на оплату праці працівників:

- для нової машини:

$$ZP_n = ZP_{on} + ZP_{dn}, \quad (19)$$

- для базової машини:

$$ZP_b = ZP_{ob} + ZP_{db}. \quad (20)$$

Відрахування на соціальні потреби:

- для нової машини:

$$CP_n = \frac{ZP_n \cdot K_s}{100}, \quad (21)$$

де K_s - коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні потреби, %;

- для базової машини:

$$CP_b = \frac{ZP_b \cdot K_s}{100}. \quad (22)$$

Амортизаційні відрахування на реновацію машини:

- для нової машини:

$$A_n = \frac{S_n \cdot a}{100 \cdot W_{зм} \cdot T_n \cdot D_n}, \quad (23)$$

де a - нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію, %;

- для базової машини:

$$A_b = \frac{S_b \cdot a}{100 \cdot W_{zmb} \cdot T_b \cdot D_b}. \quad (24)$$

Відрахування на капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування машини:

- для нової машини:

$$R_n = \frac{S_n \cdot a}{100 \cdot W_n \cdot T_n \cdot D_n}; \quad (25)$$

- для базової машини:

$$R_b = \frac{S_b \cdot a}{100 \cdot W_{zmb} \cdot T_b \cdot D_b}. \quad (26)$$

Витрати на енергоресурси, необхідні для приводу машини:

- для нової машини:

$$P_{zn} = \frac{N_{cn} \cdot t_{vn} \cdot C_e}{W_{zmn}}, \quad (27)$$

де N_{cn} - загальна потужність, що необхідна для приводу нової машини, кВт;

t_{vn} - час роботи електродвигунів нової машини протягом години, год;

C_e - вартість електроенергії, грн/(кВт-год);

- для базової машини:

$$P_{zb} = \frac{N_{cb} \cdot t_{vb} \cdot C_e}{W_b}. \quad (28)$$

де N_{cb} - загальна потужність, що необхідна для приводу базової машини, кВт;

t_{vb} - час роботи електродвигунів базової машини протягом години, год.

Витрати на зберігання машини:

- для нової машини:

$$Z_n = \frac{T_{nn} \cdot T_{sn}}{Q_n}, \quad (29)$$

де T_{nn} - норматив витрат праці на підготовку нової машини до зберігання, люд.-год;

T_{sn} - годинна тарифна ставка слюсаря, який обслуговує нову машину, грн/год;

- для базової машини:

$$Z_b = \frac{T_{nb} \cdot T_{sb}}{Q_b}, \quad (30)$$

де T_{nb} - норматив витрат праці на підготовку базової машини до зберігання, люд.-год;

T_{sb} - годинна тарифна ставка слюсаря, який обслуговує базову машину, грн/год.

Відрахування на експлуатаційні матеріали:

- для нової машини:

$$U_{emn} = \frac{U_{mn}}{Q_n}, \quad (31)$$

Де U_{mn} - витрата на матеріали, що використовуються при експлуатації нової машини, грн;

- для базової машини:

$$U_{emb} = \frac{U_{mb}}{Q_n}, \quad (32)$$

Де U_{mb} - витрата на матеріали, що використовуються при експлуатації базової машини, грн.

Повна собівартість робіт:

- для нової машини:

$$C_{sn} = ZP_n + CP_n + A_n + R_n + P_{zn} + Z_n + U_{emn}; \quad (33)$$

- для базової машини:

$$C_{sb} = ZP_h + CP_b + A_h + R_h + P_{zb} + Z_h + U_{emb}. \quad (34)$$

Експлуатаційні витрати на машину:

- для нової машини:

$$U_n = ZP_n + CP_n + R_n + P_{zn} + U_{emb}; \quad (35)$$

- для базової машини:

Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації машини:

для нової машини:

$$K_{pn} = \frac{S_n}{W_n \cdot D_n \cdot T_n}; \quad (37)$$

- для базової машини:

$$K_{pb} = \frac{S_b}{W_b \cdot D_b \cdot T_b}, \quad (38)$$

де S_b - відпускна ціна базової машини, грн.

Питома металомісткість машини:

- для нової машини:

$$M_n = \frac{\sigma_{zn}}{Q_n}, \quad (39)$$

де σ_{zn} - маса нової машини в зборі, кг;

- для базової машини:

$$M_b = \frac{\sigma_{zb}}{Q_b}, \quad (40)$$

де σ_{zn} - маса базової машини в зборі, кг.

Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах під час використання розробленого віброозонуючого комплексу:

$$E_r = (Q_n - Q_b) \cdot (U_b - U_n). \quad (41)$$

Термін окупності капіталовкладень на розробку віброозонуючого комплексу:

$$T_{ок} = \frac{S_n}{E_r} \quad (42)$$

Отримані результати економічного розрахунку віброозонуючого комплексу в порівнянні з базовою машиною заносимо до таблиці 1

Таблиця 1

Результати економічного розрахунку віброозонуючого комплексу в порівнянні з базовою машиною

Показники	Машина	
	Нова	Базова
Оптова ціна нової машини з урахуванням ПДВ, грн	$1,206 \cdot 10^5$	-
Відпускна ціна нової машини з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж техніки, грн	$1,35 \cdot 10^5$	-
Основна заробітна плата працівників, грн/кг	$1,667 \cdot 10^{-3}$	0,014
Відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату чергових і додаткових відпусток, часу на виконання державних і громадських обов'язків, грн	$3,333 \cdot 10^{-4}$	$2,769 \cdot 10^{-3}$
Відрахування на оплату праці працівників, грн/кг	$2 \cdot 10^{-3}$	0,017
Відрахування на соціальні потреби, грн/кг	$7,568 \cdot 10^{-4}$	$6,287 \cdot 10^{-3}$
Амортизаційні відрахування на реновацію машини, грн/кг	$2,466 \cdot 10^{-4}$	$2,488 \cdot 10^{-3}$
Витрати на енергоресурси для приводу машини, грн/кг	$6,46 \cdot 10^{-4}$	0,01
Витрати на зберігання машини, грн/кг	$1,389 \cdot 10^{-5}$	$3,846 \cdot 10^{-5}$
Відрахування на експлуатаційні матеріали, грн/кг	$3,858 \cdot 10^{-6}$	$2,051 \cdot 10^{-5}$
Повна собівартість робіт, грн/кг	$3,914 \cdot 10^{-3}$	0,038
Експлуатаційні витрати на машину, грн/кг	$3,667 \cdot 10^{-3}$	0,036
Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації машини, грн/кг	$1,737 \cdot 10^{-3}$	0,018
Питома металомісткість машини, кг/кг	$8,179 \cdot 10^{-5}$	$1,496 \cdot 10^{-3}$
Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах під час використання нової машини, кг	$6,669 \cdot 10^4$	-
Термін окупності капіталовкладень на розробку машини, р	2,02	-