

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу конвективного сушіння зерна з удосконаленням шахтної аерожолобної сушарки»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»

Баєв В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Забродоцька Л.Ю.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дударєв І.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Схеми машин аналогів	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Теоретичні дослідження	1 лист
5. Результат експериментальних досліджень	1 лист
6. Функціональна схема	1 лист
7. Схема коробів аерожобної сушарки	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Баєв В.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Забродоцька Л.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

БАЄВ В.Ю. Дослідження процесу конвективного сушіння зерна з удосконаленням шахтної аерожолобної сушарки. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

Кваліфікаційну роботу присвячено вирішенню актуальної задачі інтенсифікації процесу сушіння зернової сировини та розробці нової шахтної аерожолобної сушарки, що реалізує комплексний технологічний вплив на оброблюване середовище. Експериментально досліджено енергетичні параметри розробленої зерносушарки в залежності від режимних параметрів досліджуваного процесу сушіння та фізико-механічних властивостей зернової сировини.

Ключові слова: інтенсифікація сушіння, зерно, аерожолобна сушарка, камера, шахта, короб, сушительний агент, вологість зерна.

ABSTRACT

BAEV V.Y. Study of the process of convective drying of grain with the improvement of the mine air chute dryer. Manuscript.

Master's Degree Qualifying Research Paper in Programme Subject Area 0888 Inter-disciplinary programmes and qualifications involving agriculture, forestry, fisheries and veterinary under Agricultural Engineering Educational Program. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The master's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, appendices.

The qualification work is devoted to the solution of the urgent task of intensification of the drying process of grain raw materials and the development of a new mine aerofoil dryer, which implements a complex technological impact on the treated environment. The energy parameters of the developed grain dryer were experimentally investigated, depending on the mode parameters of the studied drying process and the physical and mechanical properties of grain raw materials.

Key words: intensification of drying, grain, air chute dryer, chamber, mine, box, drying agent, grain moisture.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	11
1.1 Інтенсифікація тепломасообмінних процесів зерносушарок.....	11
1.2 Аналіз будови та функціонування зерносушарок шахтного типу.....	21
Висновки до розділу.....	26
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ.....	27
2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми шахтної аерожолобної сушарки.....	27
2.2 Обґрунтування способу управління порозністю рухається зернового шару та пристрої для його здійснення при сушінні матеріалу в аерожолобній сушарці.....	32
Висновки до розділу.....	35
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..	36
3.1. Методика дослідження фізико-механічних властивостей зернової маси.....	36
3.2 Методика визначення раціонального режиму сушіння шару матеріалу.....	39
Висновки до розділу.....	41
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42

Висновки до розділу	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	49
ДОДАТКИ.....	51

ВСТУП

Актуальність теми. У технології обробітку та виробництва зерна важливе місце займає післязбиральна обробка. За наявними даними її у структурі загальних витрат становить 30...60 %, у структурі собівартості - до 40 %. Своєчасна та якісна післязбиральна обробка - один із шляхів скорочення втрат зерна, покращення його насінневих та продовольчих властивостей.

У зволоженій зоні головна та найбільш відповідальна операція післязбиральної обробки – сушіння зернового матеріалу. Відсутність своєчасної обробки може призвести до великих втрат. Так за вологості вороху 25...28 % схожість насіння через дні знижується до 20 %, втрати сухої речовини при вологості зерна 37 % становлять 0,7... 1 % на добу.

Загалом у країні необхідно піддавати сушінню 40...45 % зібраного зерна. Причому обсяг робіт невизначений, і залежить не так від кількості зерна, що обробляється, скільки від його вологості. Середня вологість зернового вороху може досягати 25...35% і більше за несприятливих погодних умов, а засміченість 20...30%. У сумі витрат на сушіння зерна частку енерговитрат у зерносушарках різних типів припадає від 35 до 55 %, частку палива - близько 90% від загальних витрат. За відсутності якісного очищення зерна від бур'янів та домішок, значна кількість теплової енергії при сушінні йде на нагрівання та видалення вологи із засмічувачів.

При правильній сушінні та правильному виборі діапазону температур не тільки не знижується якість насінневого зерна, а навпаки, підвищується його енергія проростання, схожість, якість клейковини. Завдяки застосуванню сушильної техніки з кожного гектара посівних площ можна отримати на 20...30 % більше поживних речовин. Застосування передпосівної обробки матеріалу в зерносушарках дозволяє досягти підвищення врожайності зернових культур на 10... 13,2 %.

Зернова маса при вступі на пункт післязбирального обробітку протягом збирального сезону може мати великий розкид основних параметрів стану.

Вологість окремих зерен навіть в початковий період збирання врожаю коливається від 10% до 50%, засміченість може досягати 30% і більше. Тому для отримання високоякісного насінневого матеріалу необхідно мати сушильне обладнання, яке могло б забезпечувати гнучкі режими сушіння, швидку переналагодження з одного режиму на інший, мала б легкість в управлінні, простоту конструкції, надійність дотримання параметрів заданого технологічного процесу, мати невисоку вартість.

Дослідженнями вітчизняних та зарубіжних вчених доведено, що одним із головних напрямів підвищення якісних показників насіння є вдосконалення технології обробки шляхом сушіння зерна у зваженому стані.

Використання аеродинамічних пристроїв для сушіння зерна показало їхню ефективність. Однак процес сушіння зерна на аерожолобах недостатньо глибоко досліджено.

На підставі викладеного можна відзначити, що розробка методу сушіння зерна в киплячому стані та використання цього методу в зерносушарках є актуальною проблемою, що має важливе народногосподарське значення.

Наукове та практичне значення одержаних результатів. Запропоновано конструкцію аерожолобної сушарки сипких рослинних матеріалів шахтного типу.

Мета роботи – визначення шляху та методів підвищення якісних показників насіння зернових колосових культур при обробці зерна на сушарках аерожолобного типу, а також зниження енергоємності процесу сушіння.

Гіпотеза дослідження. Якщо врахувати особливості обробки зерна в зваженому стані в аерожолобних пристроях, а саме особливості формування зернових шарів в аерожолобі та особливості тепломасообмінних процесів, то це може дозволити збільшити надійність та ефективність функціонування аерожолобів у технологічних лініях післязбиральної обробки зерна.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– провести загальний аналіз конструкційних особливостей будови і функціонування, показників призначення, позитивних переваг та недоліків зерносушарок шахтного типу;

- розробити конструктивно-технологічну схему аерожолобної шахтної сушарки;
- розробити спосіб управління шпаруватістю рухомого зернового шару та пристрій для його здійснення при сушінні матеріалу в аерожолобній сушарці;
- обґрунтувати принципову схему аерожолобної сушарки шахтного типу;
- провести лабораторні випробування з метою визначення області раціональних значень основних технологічних факторів при сушінні зерна.

Об’єкт дослідження – технологічні процеси аеродинамічного, теплового впливу повітряного потоку на зернову масу, експериментальний зразок установок, її повітророзподільні робочі органи.

Предмет дослідження – параметри технологічних процесів та аерожолобних пристроїв для післязбиральної обробки зерна

Методи дослідження. При виконанні теоретичних досліджень використовували структурний аналіз та синтез, методи теорії сушіння, математичного моделювання та класичної механіки, чисельні методи розв’язання систем диференційних та алгебраїчних рівнянь, методи постановки та обробки результатів досліджень.

Експериментальні дослідження проводились за галузевими та розробленими методиками на стандартному обладнанні і приладах у лабораторних умовах. При проведенні експериментальних досліджень застосовувалися математичні методи планування експерименту та їх обробка з використанням комп’ютерних технологій.

Наукову новизну роботи заключається у створенні методів, що застосовуються для вивчення: виду аеродинамічної характеристики мережі аерожолобів, що послідовно працюють; динаміки руху зерна по робочим органам; стани зернового шару у процесі обробки; ефективності сушіння зерна на аеродинамічних пристроях на основі теорії планування експерименту та прийомів статистичної обробки даних;

Апробація результатів роботи. Б. Басв. Особливості шахтних зерносушарок: тези III студентської науково-технічної конференції «Сучасні

технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, ЛНТУ. – 2023. С. 42-45.

Структура й обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 13 назви та 2 додатків. Основна частина викладена на 50 сторінках, містить 10 рисунків і 2 таблиць.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

1.1 Інтенсифікація тепломасообмінних процесів зерносушарок

Сушіння насінневої маси зернових культур – найважливіша операція у процесі післязбиральної обробки. Оскільки головною проблемою у технологічному процесі сушіння зерна є підвищення пропускної спроможності сушильних агрегатів з одночасним зниженням витрат теплової енергії на одиницю віддаленої вологи, науковими установами, виробниками та практикою розроблено способи інтенсифікації цієї важливої операції.

Одним з таких способів є попереднє нагрівання зерна перед подачею його в сушильну камеру [1]. У промисловості для цієї мети застосовують спеціальні камери попереднього нагрівання сирого зерна. У комплексах агропідприємств такий спосіб здійснюється за наявності в лінії накопичувальних ємностей сирого зерна, в одному з яких за допомогою додаткового підведення теплоти (наприклад, з того ж топкового відділення сушарки) ведеться підігрів.

У найпростішому варіанті це може бути вентиляований бункер, до вентилятора якого підведений повітропровід гарячого шахтна сушарка. Можливий варіант підігріву маси за допомогою постійно включених електрокалориферів бункера, щоправда, у меншому діапазоні. Цей спосіб дозволяє масі почати віддачу вологи відразу ж після її завантаження в шахту сушарки, минаючи процес прогрівання. Крім того, процес попереднього нагріву супроводжується зниженням вологості зерна на 2...3%. Під час розрахунку сушильного агрегату у разі температура зерна на вході в сушарку буде іншою.

Істотний ефект дає і переведення сушарок на роботу з рециркуляцією відпрацьованого шахтна сушарка, що пройшов сушильну або охолоджувальну камери [5]. Причому рециркуляція відпрацьованого сушильного агента може бути повною або частковою. Адже в типових конструкціях сушарок агент сушіння використовується одноразово, пронизуючи і сире, ще не нагріту масу у верхніх секціях шахт, і напівсуху, вже нагріту майже до краю масу в нижніх секціях.

З технології сушіння добре відомо, що сиру масу необхідно підсушувати агентом із нижчою температурою. З іншого боку, якщо у верхній частині сушарки агент сушіння використовує свою вологопоглинаючу здатність майже повністю, то сказати це про нижні камери не можна. Іншими словами, який відпрацював у нижніх секціях шахт агент сушіння має ще досить високу температуру і вологопоглинаючу здатність, тобто. для маси у верхніх шахтах він може бути повноцінним агентом сушіння.

Один з таких варіантів передбачає прохід шахтна сушарка послідовно через три секції шахти колонкової сушарки, коли агент сушіння з максимально можливою температурою знімає вологу спочатку в нижній секції шахти, потім, кілька охолонувшись, - в середній і, нарешті, розвернувшись, просушує найбільш сиру масу у верхній секції [5]. Після цього він викидається у повітря.

Найбільшу складність у здійсненні сушіння за такою технологією, як нам представляється, буде розрахунок параметрів процесу сушіння для того, щоб агент сушіння в верхній зоні не наситився вологою до краю, інакше замість підсушування він зволожуватиме зернову масу та за певних умов навіть утворювати конденсат, що не допустимо.

Найбільш ефективним технологічним прийомом, особливо при обробітку зерна високої вологості, є переведення сушарок на роботу в рециркуляційному режимі [4]. Звичайне прямоточне сушіння передбачає одноразовий пропуск зерна через сушильну (сушильні) та охолоджувальну камери (колонки). За потреби значного зняття вологи, як згадувалося, застосовують багаторазовий пропуск зерна через сушарку або переведення шахт (якщо дозволяє конструкція сушарки) з паралельною на послідовну схему роботи. Вологе зернову масу можна висушити і за один пропуск, підтримуючи температуру теплоносія на рівні гранично допустимої, однак у цьому варіанті техніко-економічні показники сушарки суттєво знизяться. Щоб уникнути перегріву та погіршення якості зерна його вологість у прямоточних сушарках знижують не більш ніж 6...8%.

У рециркуляційних же сушарках частина просушеного зерна змішується знову з сирим зерном, що надходить, внаслідок чого воно просушується до

кондиційної вологості за одну перепустку. Чим вище вихідна вологість сирого зерна, тим менше кількості його подають у сушарку і тим більша маса сухого зерна здійснює рециркуляцію.

Принцип дії рециркуляційних сушарок зводиться до наступного: по замкнутому контуру сушарки безперервно рухається великий потік сухого зерна, кілька разів перевищує фактичну продуктивність сушарки. У цей потік вводять сире зернову масу в обсязі продуктивності сушарки, одночасно виводячи відповідний обсяг сухого зерна із контуру рециркуляції.

При сушінні в рециркуляційному режимі сире зернову масу проходить наступні стадії процесу: перемішування з сухим зерном, що рециркулює, його нагрівання, контактний вологообмін, конвективне сушіння в шахті та охолодження. Перші два процеси можуть здійснюватися одночасно і в одному апараті. У деяких варіантах рециркуляційного сушіння застосовують і попередній нагрівання сирого зерна.

Важливим елементом цієї технології є процес нагрівання суміші сирого та рециркулюючого зерна в теплолаогообміннику протягом 10...20 хв, де відбувається перерозподіл теплоти та вологи між сирими холодними та сухими нагрітими зернами шляхом контактного тепловологопереносу (сорбційне сушіння сирого зерна). При цьому відбувається вирівнювання температури та вологості в шарі, а також переміщення вологи до поверхні одиничних зернівок. Ретельне перемішування сирих та сухих зернівок є однією з умов ефективної роботи такої сушарки.

Після тепловологообмінника зернову суміш направляють на сушіння в сушильну камеру (камери), при вивантаженні з якої потік поділяється на два; один з них прямує на подальше підробіток або до складу, а другий - на рециркуляцію. При наявності в сушильному агрегаті двох паралельно працюючих шахт (більшість вітчизняних промислових сушарок) з однієї шахти пускають зернову масу на рециркуляцію, та якщо з другий – на розвантаження. Такий варіант зручний у експлуатації ще й тим, що експозицією сушіння (регулюванням вивантажувального пристрою) другий шахті домагаються просушування зерна до

кондиції.

Відомі кілька схем переведення шахтних сушарок на рециркуляцію, що різняться в основному способами нагрівання та перемішування сирого та сухого зерна.

Технологічний ефект рециркуляційного сушіння досягається за рахунок застосування попереднього підігріву маси, контактного тепловологообміну з мінімальним витратою енергії та використання теплоносія з більш високою температурою як у камері попереднього нагріву, так і в основній (рециркуляційній) камері.

Що ж до технологічного розрахунку параметрів режиму рециркуляційної сушіння зерна, то слід зазначити, що він суттєво ускладнився. Це пов'язано з необхідністю задаватися додатково цілою низкою параметрів, а також з розрахунком процесу змішування зернових мас із різними вихідними параметрами.

З технічних рішень, спрямованих на інтенсифікацію процесу сушіння в шахтних сушарках, відзначимо застосування коробів із жалюзійними вертикальними стінками, що дозволяють знизити гідравлічний опір сухого шару за рахунок скорочення його товщини (скорочення шляху шахтна сушарка) та застосування коробів зі стінками, нахиленими всередину (збільшується корисний об'єм шахт) [3].

1.2 Аналіз будови та функціонування зерносушарок шахтного типу

На агроринку України зарубіжні фірми пропонують широкий вибір сушарок шахтного типу для сушіння зернової сировини з продуктивністю до 220 т/год та вологістю більше 40 %. Основа конструкцій - сушильна шахта, в яку паралельними рядами вмонтовано короби з оцинкованими впускними і випускними повітропроводами конічної форми, які розміщені в шаховому порядку. По висоті шахта розділена на дві зони: нагрівання і охолодження. Зернова маса в прямоточній шахті переміщується самопливом, зверху донизу

один раз, знижуючи свою вологість на 6-7 %.

У більшості таких сушарок реалізована функція рекуперації тепла (повторне використання тепла та вологи). Це дає не тільки економію палива, але й електроенергії. Причина - теплообмін відбувається за допомогою підвідних і відвідних коробів, які дають змогу рівномірно розподілити загальний обсяг сушильного агенту в шахті сушарки.

Сушарки шахтного типу характеризуються:

- високою продуктивністю сушіння;
- пристосованістю до роботи з використанням альтернативного палива;
- універсальністю щодо сушіння зернової маси різних культур;
- ефективністю роботи системи відокремлення пилу від сипкої маси;
- низьким рівнем шуму під час роботи;
- пристосованістю до якісного очищення камер сушіння під час переходу на сушіння іншої культури;
- простим обслуговуванням та експлуатацією.

Головні критерії у виборі сушарки - продуктивність, універсальність сушіння широкого спектру зерна та насіння, економічність процесу сушіння та ціна сушарки.

Шахтна сушарка складається з однієї або двох прямокутних вертикальних камер (шахт), які заповнюють зерновою масою по всій висоті. Верхня частина шахти — камера сушіння з однією або кількома зонами сушіння, нижня — охолоджувальна камера. Над двома шахтами змонтовано надсушильні бункери, в яких міститься запас сировини. Усередині вертикальної сушильної шахти горизонтальними рядами в шаховому порядку розташовані металеві коробки різної форм. Кожна шахта розділена на сушильну і охолоджувальну камери, які продовжують одна одну. Шахтна сушарка встановлена на фундаменті. З нижньої частини шахт спеціальною системою подається теплоносій, який і сушить зернову масу.

Сушильна шахта являє собою сталеву конструкцію на опорах, в яку паралельними рядами вмонтовано коробки. У верхній частині шахти розміщується

накопичувальна резервна секція, тобто бункер, куди транспортним устаткуванням подається вологий матеріал. В цій секції встановлені датчики верхнього і нижнього рівня зерна, які забезпечать безперервне заповнення сушарки в автоматичному режимі, вмикаючи і вимикаючи завантажувальні пристрої. Короби мають оцинковані впускні і випускні повітропроводи конічної форми, які також розміщені в шаховому порядку. По висоті шахта розділена на дві зони: нагрівання і охолодження. Зернова маса в шахті переміщується самопливом — зверху донизу.

Для оптимізації процесу сушіння зернової маси та зниження витрат, вибираючи нову сушарку, необхідно звертати увагу на такі моменти:

- сушіння матеріалу без травмування і перегріву оболонки насінини;
- сушарка повинна мати ощадний режим та процес сушіння, тобто мінімум механічних пошкоджень. Це означає, що зернову масу по можливості повинне проходити через сушарку тільки раз і повільно під дією сили власної ваги;

- гаряча зона внутрішньої поверхні шахти і зовнішня обшивка сушарки повинні мати теплоізоляцію. Це дозволить істотно знизити неефективні витрати тепла в навколишнє середовище, а разом з ними і загальні витрати тепла і, відповідно, палива, особливо з урахуванням кліматичних умов виробництва України;

- пальники і паливна автоматика повинні бути якісними. Цим самим буде забезпечено підтримку температури теплоносія на встановленому рівні в автоматичному режимі та разом з тим — економію палива;

- шахтна сушарка повинна працювати в автоматичному режимі і не залежати від можливого негативного впливу сторонніх факторів та помилок персоналу.

Сушарки, водночас із високими енергетичними показниками, мають серйозні проблеми з викидами зернового пилу, оскільки зернову масу, протікаючи крізь високу шахту згори вниз, безперервно стикається з поперечними (для потоку зерна) металевими коробами для подачі гарячого теплоносія і охолоджувального повітря, здавлюється і стирається. Цей зерновий пил є надзвичайно

вибухонебезпечним. Щоб його видалити з простору зерносушарки і тим самим запобігти викиду зернового пилу в атмосферу, застосовуються відповідні та ефективні технічні рішення.

На сьогоднішній день на ринку України отримали широке розповсюдження сушарки шахтного типу таких компаній-виробників: ORNUM (Швеція), Grain Handler (США), BONFANTI (Італія), Kepler Weber (Бразилія), Ingenieria Mega (Аргентина), Monsun Lachenmeier (Данія), Strahl (Італія), STELA Laxhuber GMBH (Німеччина), RIELA (Німеччина), NEUERO (Німеччина), ВАТ Карлівський машинобудівний завод (Україна). Узагальнені технічні характеристики сушарок цих компаній не дають детальної інформації про особливості їхньої конструкції і завдяки чому досягається велика продуктивності та затребуваність у споживачів. Разом з тим, кожна із них має суто свої, характерні особливості конструкції та технологічного принципу роботи, які і є визначальними у формуванні продуктивності.

Сушарки компанії TORNUM (рис. 1.1) характеризуються унікальними технічними рішеннями, використаними в їхніх конструкціях. Сушильна шахта встановлена на опори і являє собою сталеву конструкцію, в яку паралельними рядами вмонтовано коробки, які мають оцинковані впускні і випускні повітропроводи конічної форми. Вони розміщені в шаховому порядку. По висоті шахта розділена на дві зони: нагрівання і охолодження. У верхній частині шахти розміщений бункер, який обладнаний завантажувальним пристроєм і датчиками рівня зерна. У нижній частині, для розвантаження висушеного зерна із шахти, встановлений розвантажувальний механізм із роликовим або електроімпульсним клапаном. Швидкість розвантаження зерна розраховується системою автимотивованого управління на основі даних про температуру і вологість просушеного сипкого матеріалу.

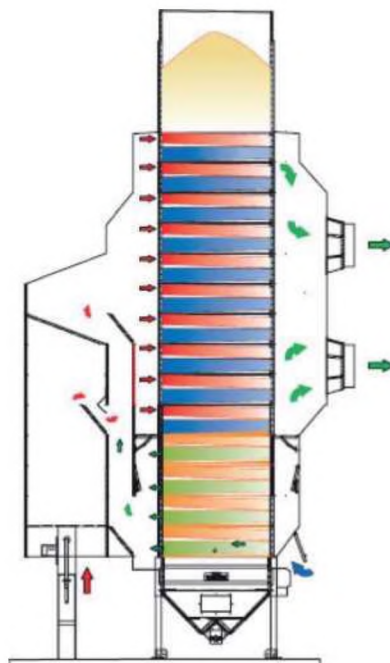


Рисунок 1.1 – Технологічна схема зерносушарки TORNUM із системою рециркуляції

Усі сушарки створені за модульною системою. Тому, виготовляючи нову модель, незалежно від розміру, використовуються одні й ті ж конструкційні елементи. І якщо необхідно сушити більші об'єми зерна, модульна конструкція сушарки дозволяє збільшити її розмір із внесенням мінімальних змін.

Захист навколишнього середовища під час роботи зерносушарок TORNUM ґрунтується на використанні сучасних технологій для дотримання екологічних норм у виробничих приміщеннях. Всі добре знають, що пил є проблемою під час сушіння сипких рослинних матеріалів. Чим більше пилу потрапляє в сушильну камеру під час завантаження зерна, тим більше пилових викидів з'являтиметься у повітрі в процесі сушіння, забруднюючи простір навколо сушарки та довкілля. Для контролю чистоти повітря сушарки комплектують високоефективними фільтрами-вентиляторами. Вбудована очисна система затримує до 96 % пилу та легких домішок. За бажанням замовника нові зерносушарки можуть бути обладнані автоматичним вимкненням потоку повітря під час вивантаження зерна. Цей суттєво зменшує об'єми викиду пилу із сушарки в довкілля і дозволяє звести їх до мінімально значення.

Конструкція сушарок серії «ТК» дозволяє підвищити ефективність процесу сушіння сипких рослинних матеріалів за низького енергоспоживання.

Для сушарок використовуються всі найбільш поширені джерела теплоти: газ, нафта, альтернативне біопаливо. Залежно від моделі в сушарках TORNUM використовуються системи безпосереднього та опосередкованого нагрівання зернового матеріалу. Під час безпосереднього нагрівання застосовують газові пальники або на рідкому паливі. Тепло в зерносушарку подається через спеціально сконструйовану камеру гарячого повітря.

Потужність і робоча температура у шахтній сушарці задається оператором і підтримуються автоматично. Різноманітні альтернативні варіанти нагрівання сушарок гарантують дотримання сучасних екологічних норм залежно від вимог країни, де використовується сушарка. В усіх моделях зерносушарок застосовано високоефективний принцип змішаного потоку для забезпечення поступового та рівномірного сушіння зерна. Споживання енергії зменшено на 35 % порівняно зі стандартними сушарками безперервного змішаного потоку. Цього досягнуто завдяки застосуванню рециркуляції повітря з нижньої блоків камер сушіння, а також із відсіку охолодження.

У сушарках з рекуперацією тепла використовуються радіальні та осьові вентилятори. Останні вентилятори розміщуються у верхній частині сушарки та спрямовані вгору. Радіальні вентилятори розміщуються в нижній частині агрегату. Поєднання осьових і радіальних вентиляторів дає змогу знизити рівень шуму.

Сучасні сушарки Grain Handler (СІЛА) відзначаються двома поширеними типами — Cross-Flow (рис. 1.2), коли в процесі сушіння теплоносії проходить перпендикулярно через рухому зернову масу, і Mix-Flow, коли сушильний агент проходить у поздовжньому напрямку через рухомий шар матеріалу. Інша важлива відмінність сушарок Grain Handler — це можливість сушити будь-який вид насіння, починаючи від маку та гірчиці та закінчуючи квасолею, рисом і соняшником. Широкий діапазон температур і точні температурні режими — до 0,3°C забезпечують якісне сушіння не тільки зерна, але й насінневого матеріалу з

продуктивністю від 10 до 185 т/год, залежно від вихідних показників вологості та виду продукції. Значна висота сушарки обумовлює рух матеріалу в її порожнині та тим самим нагрівання і сушіння впродовж тривалого часу. Це створює ощадний режим сушіння та зменшує частку розтріскування зернини від впливу температури.



Рисунок 1.2 – Шахтна сушарка Grain Handler типу Cross-Flow

Традиційний метод просіювання замінено на систему гравітаційної сепарації зернового матеріалу. У процесі сушіння зернова маса рухається по коробах, скидається каскадом, активно перемішується і опускається шахтою. Завдяки особливому розташуванню повітряних каналів забезпечується рівномірне та ощадне просушування кожної зернини. Цьому в значній мірі сприяє конструкційне влаштування пальника, яке спрямоване на виключення появи локальних осередків з холодним повітрям.

На шахтних сушарках Grain Handler встановлені відцентрові вентилятори з низькими обертами. Це дозволило знизити в два рази витрату повітря та рівень шуму під час технологічного процесу. Вентилятори розташовані знизу та збоку сушарки.

По всій довжині шахти розміщені отвори для налаштування або очищення конструкції перед сушінням іншого виду зернової суміші.

Сучасні сушарки шахтного типу MEGA моделі серії TC (Аргентина) (рис.

1.3) у мають надміцну модульну структуру завдяки установці кожного модуля на індивідуальну рам.



Рисунок 1.3 – Шахтна сушарка MEGA

Шахтна сушарка жалюзійного типу поєднує в собі переваги колонкової і шахтної систем. Система сушіння — комбінована. Основний режим — сушіння нагріванням. Додатковий режим — сушіння нагріванням з охолодженням. Застосування кожного режиму залежить від вологості зерна і погодних умов. Сушарка також адаптована для роботи на біопаливі. Тому вона крім газового пальника має піч для твердого палива.

Сушіння зерна із застосуванням такого режиму дозволяє:

- досягти економічності і значної продуктивності процесу сушіння;
- економити час на завантаження;
- зменшити зношення супровідного обладнання;
- зменшити поточні витрати; знизити капіталовкладення в порівнянні з сушарками аналогічної потужності.

Особливості конструкції:

- маятниковий тип розвантажувального механізму дозволяє чергувати вивантаження матеріалу, тим самим сприяти його кращому та інтенсивнішому охолодженню;
- газові пальники MEGA дозволяють досягати однорідного розподілу температури теплоносія;
- жалюзійний тип шахтної зерносушарки обумовлює рух зернової маси в шахті зигзагом;
- під час обертального руху зерна його оточує однорідний потік сухого і теплого повітря.

Шахтні сушарки RIELA (Німеччина) мають модульну конструкцію (рис. 1.4). Це дозволяє збільшити їхню висоту і таким способом підвищувати продуктивність сушіння.



Рисунок 1.4 – Шахтна сушарка шахтного типу RIELA

Сушарка шахтного типу Monsun (Данія) (рис. 1.5) мають конструкційне виконання, яке забезпечує як швидкісні, так і ощадні режими сушіння зернових культур. Проектна продуктивність сушіння зерна досягає 220 т/год. За один прохід шахтна сушарка здатна знизити вологість зерна кукурудзи з 38 до 15 %.

Крім традиційного зерна і насіння вона забезпечує високотехнологічне і безпечне сушіння насіння олійних культур — ріпаку та соняшнику.



Рисунок 1.5 – Шахтна сушарка шахтного типу Monsun

Шахтна сушарка виготовлена з оцинкованої сталі, що забезпечує високу корозійну стійкість. Сушильні секції складаються з каналів конічної форми. Секції охолодження мають конструкцію, аналогічну сушильним блокам. Спеціальні заслінки дозволяють легко трансформувати зони, використовуючи їх як для сушіння, так і охолодження, залежно від поставленого завдання. Для швидкого вивантаження вологої зернової маси в нижній частині наявні люки. Зона вивантаження висушеного зерна обладнана оглядовими отворами для постійного контролю та її очищення. Сепаратори зернової пилу забезпечують постійний рівень пиловидалення не менше ніж; 97 %. Також вони можуть обладнуватися кожухами для поглинання шуму, що значно покращує умови роботи персоналу. Контроль за роботою сушарки автоматизований. Шахтна сушарка Monsun комплектується різними типами генераторів тепла.

Сушарки KEPLER WEBER (Бразилія) являють собою конструкцію модульних панелей з оцинкованої сталі, щільність якої становить 270 г/м³. Сушильна колона може складатися з козирків або жолобків, перпендикулярних до

поток зернової маси. Сушарки комплектуються газовими пальниками на природному чи скрапленому газі, дизельними пальниками з теплообмінником, теплогенераторами для спалювання альтернативного біопалива (дрова, пелети, брикети, солома і т.д). Залежно від продуктивності зерносушарки діляться на три ряди:

- малопродуктивні — від 10 до 30 т/год (для фермерських господарств;
- середньопродуктивні — від 40 до 100 т/год з двома типами шахти сушіння;
 - з жолобками або козирками, а також сушіння з охолодженням або без нього і сушіння в шахті з повною рекуперацією;
 - високопродуктивні — від 100 до 200 т/год для великих підприємств.

Шахтні сушарки NEUERO (Німеччина) призначені для сушіння всіх видів зернових культур: ріпак, насіння соняшнику і бобових. Основними складовими частинами сушарки є сушильна шахта, завантажувальний та розвантажувальний механізми, вентилятор, теплогенератор, нагрівальна та випускна камери, прилади контролю, блок управління. Сушильна шахта, встановлена на опори, являє собою сталеву конструкцію, в яку паралельними рядами вмонтовано коробки. По висоті шахта розділена на сушильну (верхню) і охолоджувальну (нижню) зони. Завантажувальний бункер розміщений у верхній частині шахтної сушарки над сушильними секціями і обладнаний завантажувальним пристроєм та датчиками рівня зерна. Під зоною охолодження встановлено розвантажувальний механізм. Теплогенератор встановлений поруч із шахтою і може працювати як на дизельному паливі, так і на газі. Теплогенератор подає нагріте повітря безпосередньо в зону сушіння або через теплообмінник. Оператор керує роботою агрегату з центрального пульта управління.

Усі сушарки обладнуються спеціальними ізоляційним ковпаками. Завдяки цьому мінімізуються втрати тепла і вірогідність закупорювання сушильної колони через виділення конденсату. Конструкція зерносушарки і пристрій вивантаження зроблені таким чином, що сипких матеріал проходить рівномірно по всій площі

сушильної колони, завдяки цьому відсутні осередки перегріву насіння, що сприяє максимально ефективному використанню тепла.

Сушарки Strahl (Італія) призначені для сушіння зерна і насіння різних сільськогосподарських культур. Основою енергоощадного процесу сушіння є принцип рекуперації зерна (рис. 1.6).

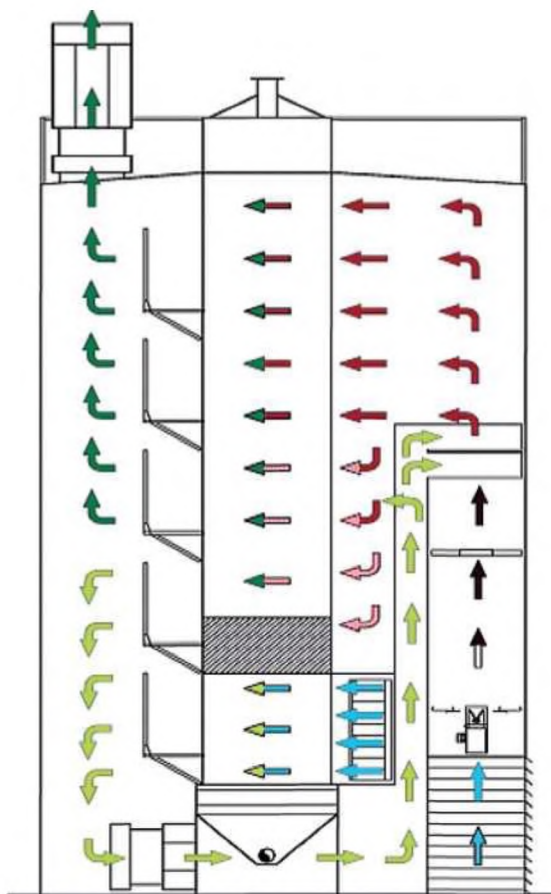


Рисунок 1.6 - Технологічна схема сушарки Strahl

Технологія сушіння дозволяє економити біля 21 % енергоресурсів і витратити на 35 % менше електроенергії, ніж стандартна шахтна сушарка. Вентилятори обладнані поглиначами шуму, які попереджають попадання пилу і сміття в довкілля.

Головна особливість сушарок «Strahl» — це здатність ефективно працювати у несприятливих погодних умовах та сушити зернову масу з високою вологістю (35 % і більше). Для цього в сушарці впроваджено свою концепцію сушіння зерна

з використанням сучасних технічних рішень, яка дозволяє швидко, економно та без забруднення довкілля отримувати висушене зерно високої якості.

Шахні сушарки Strahl у базовій комплектації обладнані системами рекуперації тепла, перманентного пиловидалення (до 80 %) завдяки застосуванню підвентиляторних жалюзі, що автоматично закриваються під час вивантаження сухого матеріалу.

Висновки до розділу

Шахтні сушарки характеризуються:

- високою продуктивністю;
- пристосованістю до роботи з використанням альтернативного біопалива;
- універсальністю в технологічних підходах до сушіння зерна широкого спектру;
- розміщенням теплогенератора в кожусі сушарки, що підвищує ефективність процесу енерговитрат;
- ефективною роботою системи відокремлення пилу;
- низьким рівнем робочого шуму;
- пристосованістю до самоочищення робочих камер;
- простим обслуговуванням та експлуатацією.

У виборі сушарки для агрогосподарства застосовують різні критерії. Але найголовніші із них — це продуктивність, універсальність, економічність та адаптація до сушіння з використанням біопалива.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На інтенсивність сушіння впливає структура шару зернового матеріалу та параметри агента сушіння. Необхідно дослідити вплив цих трьох параметрів на процес. Програма експериментальних досліджень передбачає дослідження фізико-механічних властивостей сипкого рослинного матеріалу та визначення оптимального режиму сушіння зернового шару.

Для правильного вибору режиму і вибору раціональної конструкції елементів аерожолобної сушарки необхідно враховувати набір таких характеристик матеріалу: розмір і форма зернівок, щільність і пористість зернового шару, статичний і динамічний кути природного укосу. Отримані залежності дозволять судити про таких параметрах сировини як транспортабельність, сипкість і злежуваність.

1. Щільність сипкого матеріалу визначається його хімічних складом, структурою і вологістю. Визначення щільності зерна здійснювалося в ході експерименту пікнометром (рис. 3.1) методом гідростатичного зважування.



Рисунок 3.1 – Пікнометр

Експеримент проводився наступним чином. «Відбирали поспіль три наважки масою по 5 г кожна. Зважували на аналітичних вагах і поміщали кожную наважку окремо в сітчасту корзину, виготовлену з білої жерсті товщиною 0,5 ... 0,7 мм, і закривали кришкою з того ж матеріалу. Безпосередньо до початку

експерименту зважували масу кошики з підвісами. Після чого кошик опускалася в мірний циліндр, заповнений етиловим ефіром, і знаходиться в термостаті з температурою води $293 \pm 1,5$ К. Для видалення бульбашок повітря з кошика з продуктом рідина піддавалася перемішування. Відзначали показання ваг за допомогою гир, що навішуються на плече коромисла» [6] Обсяг зерна в кожній наважці V , м^3 необхідно вирахувати за наступною формулою

$$V = \frac{m_n - m_g}{\rho}, \quad (3.1)$$

де m_n , m_g маса відповідно матеріалу та вантажа, кг;

ρ – щільність етилового ефіру при 21°C , $\text{кг} / \text{м}^3$.

Щільність зернового матеріалу в кожній наважці визначається формулою

$$\rho = \frac{m_n}{V}, \quad (3.2)$$

де m_n – маса наважки, кг;

V – об'єм наважки, м^3

В якості остаточного результату експерименту вибирали середньоарифметичне значення за підсумками трьох паралельних вимірювань.

Характеристики матеріалу, що визначається можливістю переміщення однієї частинки відносно іншої при переміщенні всього шару, є кут природного укусу» Визначення даного кута природного укусу вимірювалися двома методами: визначення статичного та динамічного кутів природного укусу на експериментальній установці, представленої на рис. 3.2.

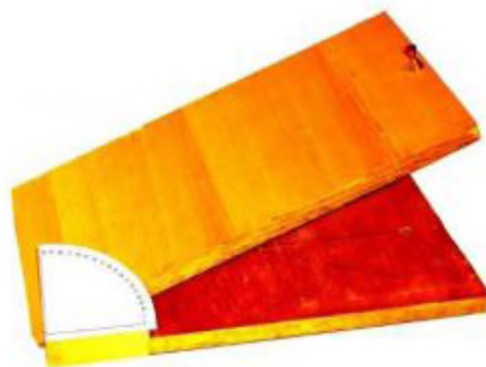


Рисунок 3.2 – Установка для вимірювання кута природного укосу

1 спосіб. Зерно засипали в прямокутну ємність, після чого відбувалося видалення однієї з бічних поверхонь ємності. В результаті відбувалося обвалення насипної маси, а вийшов між горизонтальною поверхнею і схилом дисперсного матеріалу кут був статичним кутом природного укосу.

2 спосіб. На горизонтальну рівну поверхню висипали дисперсний матеріал, після чого відбувається зміна кута між горизонтальною поверхнею лабораторної установки і його підставою до початку зсипання продукту з горизонтальної поверхні. Одержаний таким способом кут називають динамічним кутом природного укосу. Кожен з експериментів проводили 6 разів для отримання більш точних результатів.

«Характеристика, що вдає із себе відношення обсягу пор до загального обсягу шару продукту, називається порозністю шару» [7], яка визначається залежністю

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_n}{\rho} \quad (3.3)$$

де ρ_n – насипна щільність зернового матеріалу, кг/м³;

ρ – питома вага зернового матеріалу, кг/м³.

Величина насипної щільності зернового матеріалу визначається відношенням одиниці маси до одиниці об'єму. Дана величина залежить від вологості зерна і його щільності, а також від форми зерен, фракційного складу і їх

шорсткості. Вона необхідна при розрахунках продуктивності аерожолобної сушарки.

Експеримент проводили під впливом сили гравітації для маси зернівок. Розрахункова формула наступна

$$\rho_n = \frac{G}{V} \quad (3.4)$$

де G – маса наважки, кг;

V – об'єм наважки, м³.

3.2 Методика визначення раціонального режиму сушіння шару матеріалу

Для проведення експериментальних досліджень сушіння зернового матеріалу використовували лабораторну установку, яка зображена на рис. 3.3 та рис. 3.4.

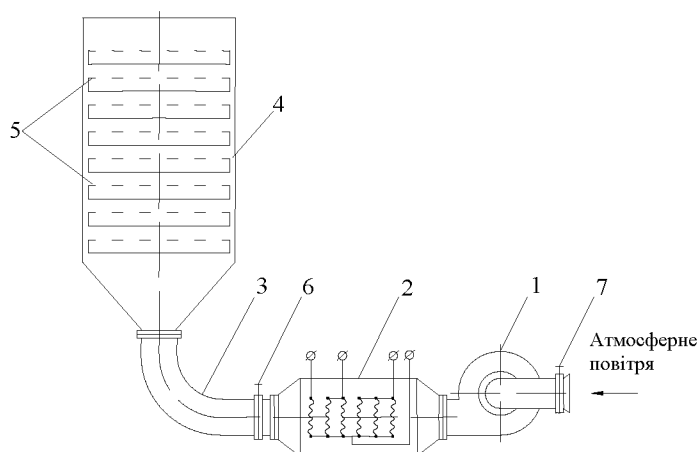


Рис. 3.3. Лабораторна установка: 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – повітропровід; 4 – камера сушіння; 5 – касети; 6, 7 – заслінки



а)

б)

Рисунок 3.4 – Фото лабораторної установки для дослідження процесу сушіння:

а) загальний вигляд; б) сушильна камера

Установка, яка складається з вентилятора 1, калорифера 2, повітропровода 3, сушильної камери 4, у якій встановлено касети з перфорованим днищем 5. Для регулювання температури теплоносія, який подається в сушильне відділення, нагрівальні елементи калорифера обладнані вимикачами.

Дослідна установка працює так: повітря вентилятором нагнітається у калорифер, де нагрівається до відповідної температури. Далі повітропроводом подається у сушильну камеру, проходить через перфоровані касети з матеріалом. Далі відпрацьований сушильний агент виводиться із камери сушіння.

Експериментальні дослідження проводилися після пуску установки, підготовки партії вологого матеріалу і визначення режиму підводу сушильного агенту.

Також використовувалося додаткове лабораторне обладнання (рис. 3.5): ваги, набір бюксів, сушильна електрошафу, термометр-щуп, іссикатор та різні за об'ємом ємкості.

Вологість матеріалу визначали згідно з ГОСТом 12041-82.



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 – Лабораторне обладнання: а) термостат ТС80; б) сушильна електрошафа 2; в) термометр-щуп

На початку проведенням дослідів вологий матеріал і касети зважували. Заповнені касети вставляли в сушильну камеру та розпочинали процес сушіння. Зважування матеріалу проводили через кожні 10 хв. протягом сушіння. Зміну відносної вологості зернового матеріалу визначали за наступною формулою:

$$W_i = 100 - \frac{m_0}{m_i} (100 - W_0) \quad (3.5)$$

де W_0 та W_i – початкова відносна вологість матеріалу та після i -го заміру,

m_0 та m_i – маса матеріалу початкова та після i -го заміру, кг.

Досліди проводили із трикратною повторюваністю.

Висновки до розділу

У третьому розділі описані експериментальні установки, використані прилади та обладнання, програма експериментальних досліджень, складена відповідно до поставлених за дачами, загальноприйнятих та авторських методик.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження фізико-механічних властивостей проводилися згідно з методикою, викладеною у розділі 3. Результати досліджень представлені на рис. 4.1-4.4.

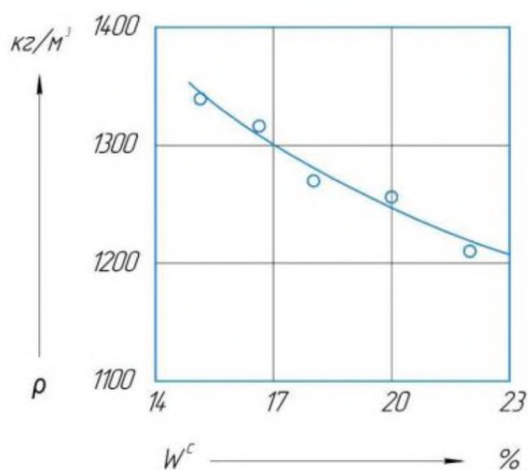


Рисунок 4.1 – Залежність щільності зернового матеріалу ρ від вологості його W^c

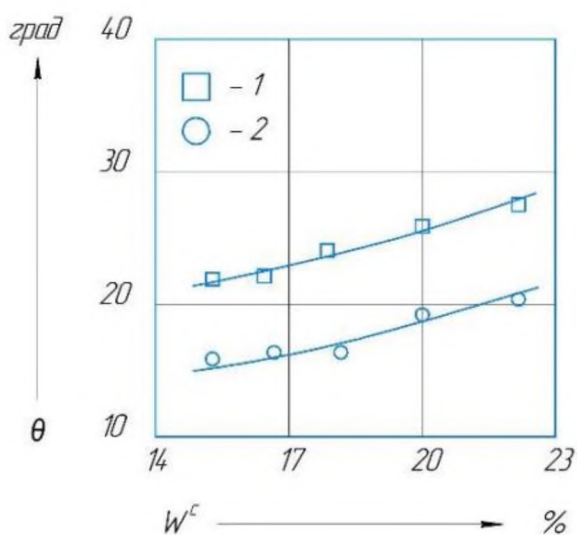


Рисунок 4.2 – Залежності кутів природного укусу зернового матеріалу від вологості W : 1 - статичний, 2 – динамічний

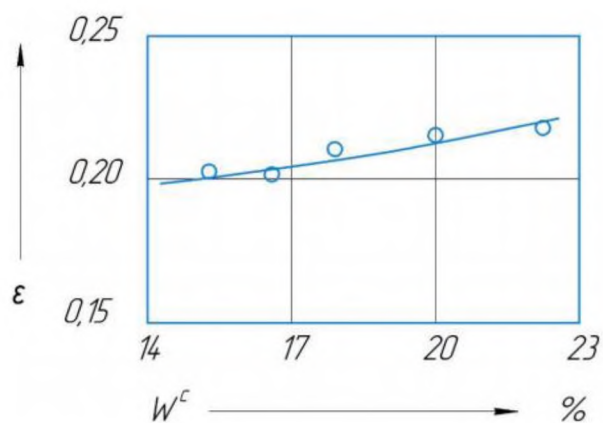


Рисунок 4.3 – Залежність порозності шару зерна пшениці ϵ від вологості W_c

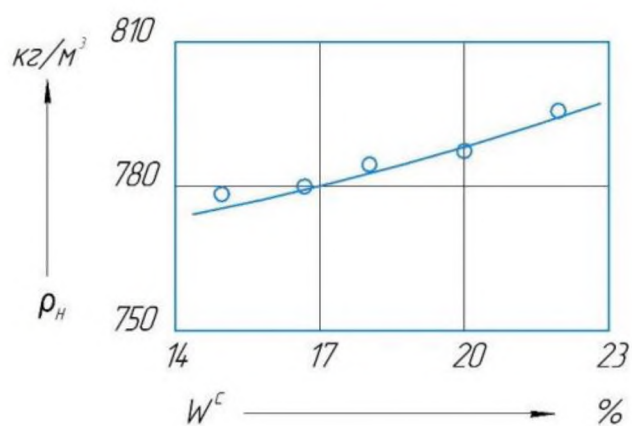
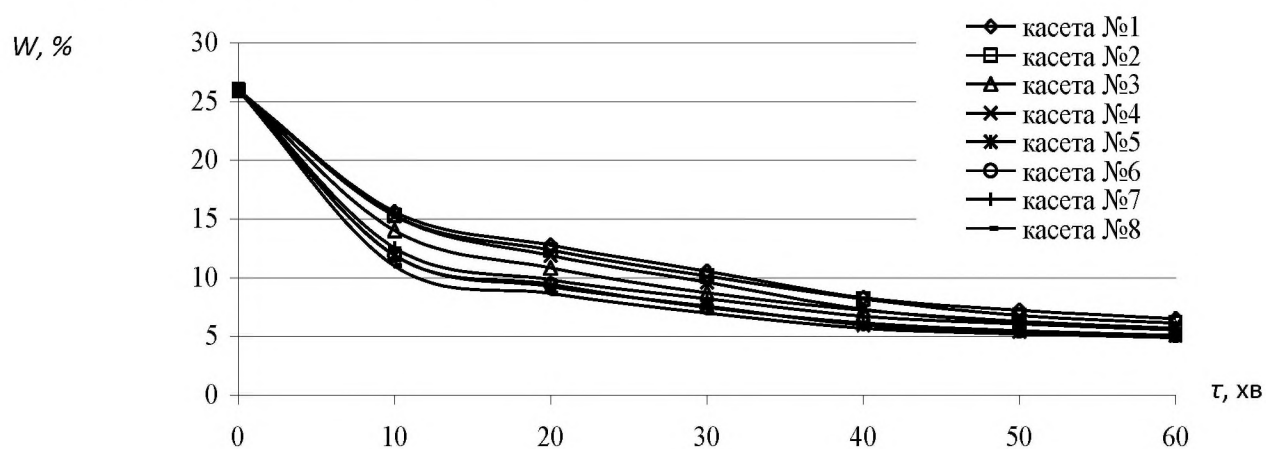
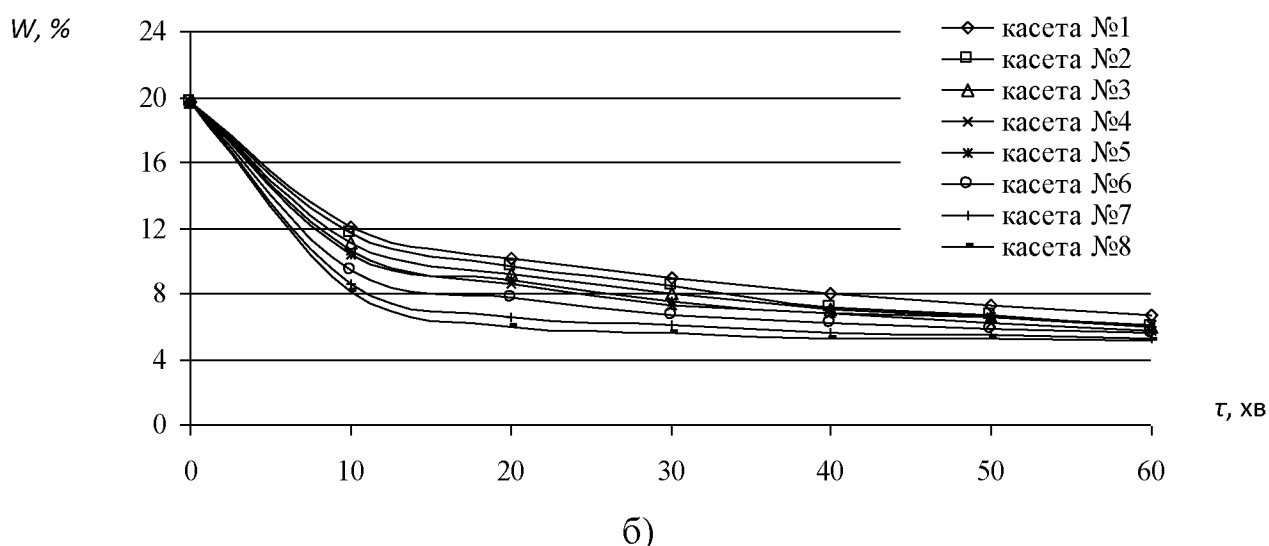


Рисунок 4.4 – Залежність насипної щільності зерна ρ_n від вологості W_c

Проведена обробка дослідних даних дала змогу отримати криві сушіння матеріалу, які представлені на рис. 4.5.



а)



Зміна вологості зерна з часом при вентиляванні сушильним агентом температурою $t_{ca} = 50 \div 55^\circ\text{C}$: а – $W_n = 25,98\%$; б – $W_n = 19,75\%$

Визначено раціональні режими роботи послідовно працюючих аерожолобів у безперервно-періодичному режимі їм відповідає частота обертання ротора шлюзового затвора механізму випуску зерна $n_{ш} = 45-50 \text{ хв}^{-1}$ та витрата повітря, що подається вентилятором всередину сушильного короба $Q = 1,13-1,20 \text{ м}^3/\text{с}$ у безперервному режимі раціональним параметрам відповідають $n_{ш} = 8-15 \text{ хв}^{-1}$, $Q = 1,40-1,42 \text{ м}^3/\text{с}$.

Встановлено, що швидкості руху верхнього та нижнього шарів в аерожолобі у безперервному режимі руху зернового шару коливаються від 1 до 8 мм/с. Нерівномірність зміщення шарів більшою мірою обумовлюється зміною витрати повітряного потоку. Фактори - кут нахилу перегородки та КЖС жалюзі переливного порога виявилися незначними. Тому при встановленні режимів роботи сушарок з аерожолобними коробами необхідно вибирати найбільші значення витрати агента сушіння з рекомендованого діапазону.

Звідси випливає, що аерожолобна сушарка повинна мати кілька сушильних коробів та камер падаючого шару, в яких зернові шари змінюють своє становище, що реалізовано нами при розробці аерожолобної сушарки.

Встановлено, що суттєве збільшення товщини шару зерна відбувається при куті нахилу вантажонесучої перегородки до горизонту 6° і з зростом

витрати повітряного потоку. У конструкції аерожолобних сушарок для зміни товщини сипкого шару необхідно передбачати можливість зміни кута нахилу вантажонесучої перегородки.

Вивчено вплив величини подачі зерна в сушильний короб, на характеристики зернового шару, профіль його поверхні. Повне заповнення зерном площі газорозподільних ґрат досягається при подачі зерна 2,5 кг/с. Хвилястість поверхні зернового шару по довжині сушильного короба незначна і не істотно впливає на рівномірність сушіння.

Висновки до розділу

Найбільший вплив на псевдозрідження зернового шару роблять робота шлюзового затвора випускного пристрою та вологість зерна, витрата повітря має складний вплив.

Визначено вплив вологості зернівки на її аеродинамічні властивості. У ході кореляційного аналізу отриманих даних встановлено, що є сильний кореляційний зв'язок між вологістю і швидкістю витання коефіцієнт кореляції дорівнює 0,95. У геометричних розмірів і швидкості витання коефіцієнти кореляції такі: між довгою і швидкістю витання -0,93, шириною і швидкістю витання-0,82, товщиною і швидкістю витання - 0,77. Аналіз приватних коефіцієнтів кореляції свідчить про те, що найбільший вплив на швидкість витання при постійній вологості зернівки надає довжина зернівки.

При зменшенні вологості відбувається підвищення щільності, а залежність має виражений криволінійний характер. Статичний кут природного укусу в залежності від вологості W_c від 14 до 23 % змінювався в межах від 21 до 26°, а динамічний - від 15 до 20°. Зі зменшенням вологості W_c від 22 до 14 % порізність шару зменшується з 0,23 до 0,20. При зменшенні вологості W_c з 22 до 14 % відбувається зменшення насипної щільності зернової маси.

Підвищення температури сушильного агенту інтенсифікує процес сушіння (рис. 3.10).

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми шахтної аерожолобної сушарки

Відома шахтна аерожолобна сушарка [8], що містить завантажувальну горловину, сушильну камеру з клиноподібними коробами, розташованими один під одним, вивантажувальну горловину, стінки шахти мають вікна для відведення відпрацьованого теплоносія.

Недоліком зазначеної сушарки є те, що агент сушіння, що відпрацював відводиться через вікна у стінці шахти та повторно не використовується. З огляду на те що площа поперечного перерізу випускного вікна мала порівняно з площею поперечного перерізу перегородки аерожолоба, усередині шахти створюється надлишковий статичний тиск відпрацьованого повітря, який перешкоджає збільшенню швидкості фільтрації теплоносія через зерновий шар, що ускладнює процес сушіння та знижує надійність процесу транспортування матеріалу аерожолобом, при цьому збільшуються витрати на привід вентиляторів.

Найбільш близьким до цього технічного рішення є сушарка, що містить шахту [9], в якій встановлені сушильні коробки з перфорованими перегородками. Стінка кожного сушильного коробка відігнута на висоті 100...200 мм від перфорованої перегородки на всій її довжині і утворює кишень з кутом нахилу бічної стінки $35...50^\circ$ по вертикалі та $5...15^\circ$ по горизонталі, кишені герметично закриті конфузоровані. Над шахтою встановлений надсушильний бункер, а під шахтою закріплений підсушильний бункер із дозатором. На торцях шахти закріплені повітродозподільні коробки з рухомими заслінками.

Недоліком вказаної конструкції є невисока продуктивність сушарки, яка обмежується конструктивними особливостями аерожолоба і не може бути значно збільшена за рахунок його геометричних розмірів, тому при її встановленні в технологічну лінію, для збільшення продуктивності лінії по сушінню потрібно збільшення кількості подібних сушарок з циклонами, пристроями очищення,

змішування та розподілу рециркуляційного повітря, кількості вентиляторів, що призведе до збільшення енергоємності процесу, зниження його надійності та збільшення металоємності конструкції.

Поставлене завдання вирішується тим, що шахтна аерозолобна сушарка, в якій встановлені сушильні коробки з перфорованими перегородками, стінка кожного сушильного короба відігнута на висоті 100...200 мм від перфорованої вантажонесучої перегородки на всій її довжині і утворює кишень з кутом нахилу бічної стінки $35...50^\circ$ по вертикалі та $5...15^\circ$ по горизонталі, згідно винаходи сушарка містить дві шахти, які розташовані дзеркально один одному із зазором L між стінками кишень для видалення відпрацьованого повітря, кишень коробів одного рівня розташовані опозиційно, торцевий простір між шахтами закрито глухими стінками, а похилі стінки нижніх кишень з'єднуються козирком для утворення герметичної камери для видалення відпрацьованого повітря, яка з'єднується за допомогою конфузора у верхній її частині з системою очищення та рециркуляції відпрацьованого повітря. Пропонована конструкція шахтної аерозолобної сушарки для сушіння зерна та інших сипких матеріалів за рахунок відмітних ознак забезпечує рішення поставленого завдання підвищення продуктивності сушарки для зерна та інших сипучих матеріалів, спрощення конструкції сушарки та підвищення надійності процесу.

На рисунку 2.1 представлений загальний вигляд шахтної аерозолобної сушарки.

На рисунку 2.2 представлена схема розташування кишень двох дзеркально розташованих коробів.

На рисунку 2.3 представлена схема з'єднання двох кишень нижніх дзеркально розміщених коробів.

Сушарка містить дві шахти 1 (рис. 2.1), що складаються з сушильних коробів 2 (рис. 2.1-2.3), в яких встановлені аеродинамічні коробки з перфорованими перегородками 9 (рис. 2.2-2.3). Шахти розташовані дзеркально один одному із зазором L між стінками кишень 7 для видалення відпрацьованого повітря, кишень 7 коробів одного рівня розташовані опозиційно (рис. 2.1-2.3),

торцеве простір між шахтами закрито глухими стінками, а похилі стінки нижніх кишень 7 з'єднуються козирком 8 для утворення герметичної камери для видалення відпрацьованого повітря. Над камерою встановлений конфузор 3 системи очищення та рециркуляції відпрацьованого повітря. Над кожною шахтою встановлено надсушильний бункер 4 а під шахтами закріплені підсушильні бункери 6. На торцях шахт закріплені повітророзподільні коробки 5 (теплогенератор, циклони системи очищення та рециркуляції відпрацьованого повітря, охолоджувач).

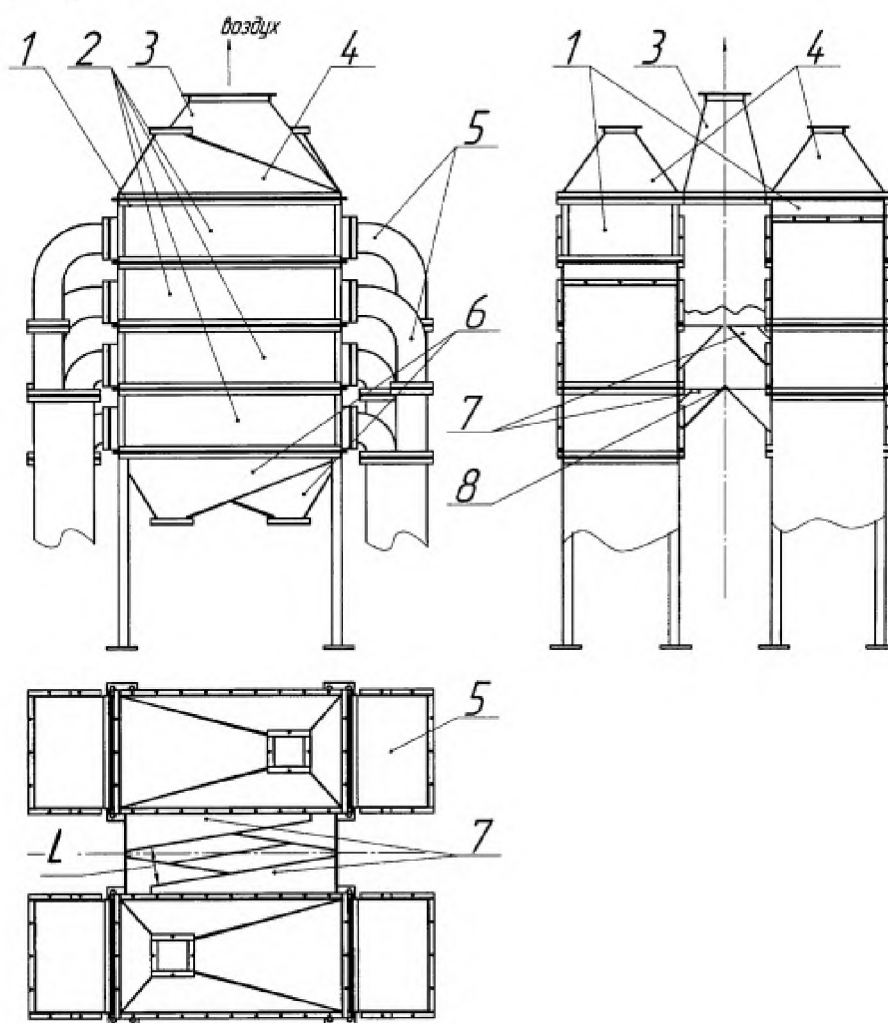


Рисунок 2.1 – Принципова схема аерожолобної шахтної сушарки: 1 – шахти; 2 – повітророзподільні коробки; 3 – конфузор; 4 – надсушильний бункер; 5 – аеродинамічні коробки; 6 – підсушильний бункер; 7 – кармани; 8 – козирки; 9 – перегородки

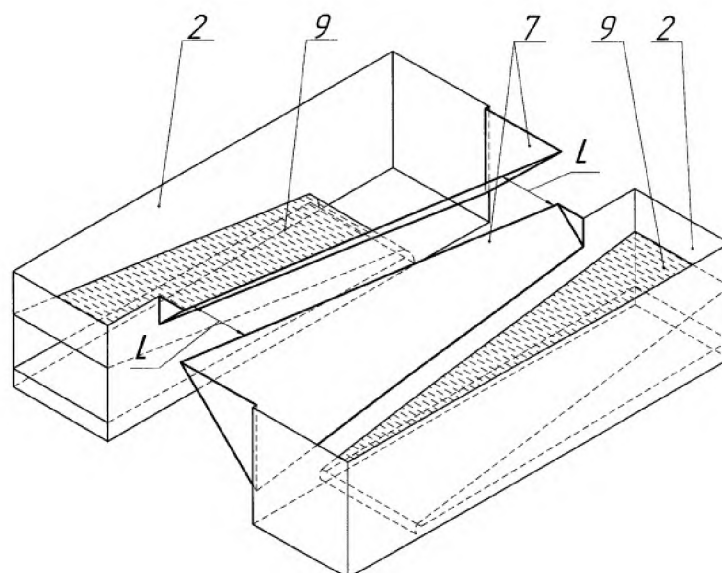


Рисунок 2.2 – Схема розташування кишень двох дзеркально розташованих коробів

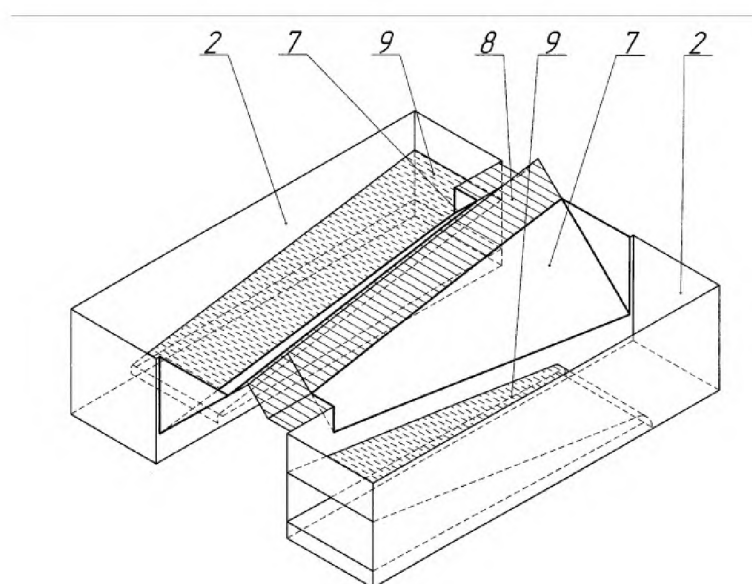


Рисунок 2.3 – Схема з'єднання двох кишень нижніх дзеркально розміщені короби

Шахтна аерожолобна сушарка для сушіння зерна та інших сипучих матеріалів працює наступним чином: матеріал завантажується в надсушильний бункер 4 однієї з шахт на вантажонесучу перфоровану перегородку 9 верхнього сушильного короба 2, де потрапляє під вплив струменів повітря, що виходить під гострим кутом із щілин вантажонесучої перфорованої перегородки 9. Сушіння відбувається при проходженні підігрітого повітря крізь шар сипучого матеріалу.

Матеріал послідовно проходить по сушильним коробам 2 однієї шахти і надходить у підсушильний бункер 6 першої шахти, з якого за допомогою транспортуючого пристрою (не показано) матеріал подається в надсушильний бункер другої 4 шахти. У другій шахті, як і в першій шахті, сипкий матеріал послідовно проходить по сушильним коробам 2 і надходить у підсушильний бункер 6 другої шахти. З підсушильного бункера 6 другої шахти висушений сипучий матеріал транспортуючим пристроєм подається в охолоджувач.

У процесі проходження підігрітого повітря крізь шар сипучого матеріалу відбувається поступове його насичення вологою. Відпрацьоване повітря з пилом і легкими домішками направляється в кишені 7 сушильних коробів 2, надходить у герметичну камеру для видалення відпрацьованого повітря між шахтами та через конфузур 3 по повітропроводу надходить у систему очищення від пилу та легких домішок, далі через спеціальний повітрообмінник частина теплового відпрацьованого повітря прямує на рециркуляцію теплогенератор, а інша частина викидається назовні. При налаштуванні сушарки на заданий режим роботи, а також під час її обслуговування можливі викиди сипучого матеріалу за межі сушильних коробів 2 герметичну камеру для видалення відпрацьованого повітря, де вони опускаються вниз герметичної камери та скочуються по козирку 8 і стінкам кишень 7 в нижні сушильні короби, що виключає втрати сипучого матеріалу при його сушінні та полегшує технічне обслуговування та експлуатацію сушарки.

Конструкція сушарки забезпечує підвищення продуктивності, спрощення конструкції сушарки та підвищення надійності процесу, вона простіше у виготовленні, технологічна і дозволяє здійснити рециркуляцію відпрацьованого повітря, так само знижуються енергоємність процесу та металомісткість конструкції.

2.2 Обґрунтування способу управління шпаруватістю рухомого зернового шару та пристрої для його здійснення при сушінні матеріалу в аерожолобній сушарці

«Машини для післязбиральної обробки зерна функціонують як правило, у складі потокової лінії, тому характер зміни параметрів матеріалу, що надходить на обробку (його вологість, засміченість, щільність та ін.) стохастичний, що неминуче викликає стохастичне зміна всіх змінних стану процесу та суттєвим чином позначаються на їх продуктивності, якості та технологічній надійності процесу роботи. Контроль режимів можливий лише з допомогою динамічних моделей, в основі яких – змінна стани шару матеріалу на робочих органах аеродинамічних систем [10-12].

Управління станом шару матеріалу в аеродинамічних системах машин для післязбиральної обробки матеріалу, як правило, зводиться до підтримці питомих подач повітря та, відповідно, швидкості газу в шарі. При підвищеній витраті повітря збільшується винос основного матеріалу з шару, що призводить до підвищення навантаження на пиловловлюючі пристрої, збільшення втрат продукту та енерговитрат, при зниженій витраті - до зниження якості процесу (сушіння, транспортування, поділу на фракції матеріалу).

У існуючих конструкціях сушарок та зерноочисних машин регулювання подачі повітря в шар матеріалу здійснюється вручну, а оптимальність виконаного регулювання контролює оператор. Розглянуті в першому розділі пристрої визначення шпаруватості шару, гранулометричного складу продукту, а також можливість застосування ультразвуку для управління технологічними процесами, дозволили дійти висновку, що для визначення шпаруватості шару сипких сільськогосподарських матеріалів можна розробити пристрій засноване на використанні фізичних властивостей ультразвукової хвилі [9-12].»

Теоретичний найкоротший «шлях» ультразвукової хвилі від випромінювача до приймача через шар матеріалу (рисунок 3.3), залежить від стану (шпаруватості) шару, який при дотриманні умов дифракції ультразвуку з урахуванням згасання

(ослаблення, поглинання) ультразвукового сигналу при взаємодії з частинками матеріалу неоднорідного середовища визначиться за формулою (2.2)

$$L_3 = L - d_{\text{Э}} \cdot n + \frac{l_{\text{Э}} \cdot k}{2} \cdot n, \quad (2.1)$$

де L_3 – теоретичний найкоротший «шлях» ультразвукової хвилі через шар матеріалу, мм;

L – відстань між випромінювачем та приймачем, мм;

$d_{\text{Э}}$ – еквівалентний діаметр частинки зернового матеріалу, мм;

n – кількість частинок зернового матеріалу на найкоротшому шляху ультразвукової хвилі;

k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення довжини ультразвукової хвилі та розмірів частинок матеріалу, їх взаємного розташування та інших факторів неоднорідного середовища;

$$d_{\text{Э}} = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}, \quad (2.2)$$

де a , b , c – відповідно довжина, ширина та висота частинки, мм.

$$k = \frac{l_{\text{P}}}{l_{\text{Э}}}, \quad (2.3)$$

де: l_{P} – «шлях» ультразвукової хвилі, вздовж поверхні частки, мм;

$l_{\text{Э}}$ – еквівалентна довжина кола частки, мм.

$$l_{\text{Э}} = \pi \cdot d_{\text{Э}}. \quad (2.4)$$

Очевидно L_3 може приймати значення

$$L < L_3 \leq L_{3,\text{П}}. \quad (2.5)$$

де $L_{3,\text{П}}$ – «шлях» ультразвукової хвилі, пройдений через шар щільного матеріалу.

В аеродинамічних системах машин для післязбиральної обробки матеріалу оптимальному стану шару (робочий режим) відповідає цілком певне $L_{з.опт}$, яке на практиці може бути розраховане з урахуванням залежностей (2.1-2.4) та оптимальної шпаруватості шару або безперечно досвідченим шляхом

На основі теоретичних передумов нами розроблено спосіб управління шпаруватістю шару в аеродинамічній системі аерожолобної сушарки для післязбиральної обробки матеріалу та пристрій для його.

На основі цього було розроблено ультразвукова система управління подачею теплоносія в сушильні камери аерожолобної сушарки (рис. 2.4).

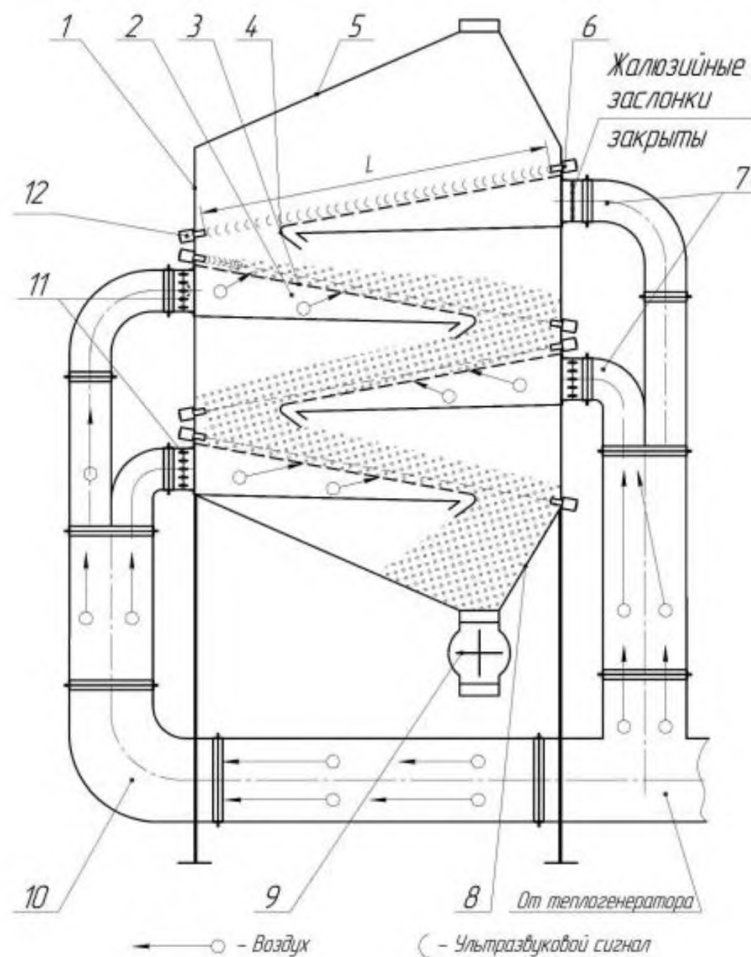


Рисунок 2.4 – Функціональна схема аерожолобної сушарки шахтного типу:

- 1 – шахта; 2 – аеродинамічні коробки; 3 – перфоровані перегородки;
 4 – переливний поріг; 11 – жалюзійні заслінки; 5 – надсушильний бункер; 6 –
 ультразвуковий випромінювач; 7 – повітророзподільні коробки; 8 – підсушильний
 бункер; 9 – дозатор; 10 – розподільник; 12 – ультразвуковий приймач

Висновки до розділу

Розглянута нова принципова схема шахтної аерожолобної сушарки, що відрізняється від прототипу тим, що сушарка містить дві шахти, які розташовані дзеркально один одному із зазором L між стінками кишень для видалення відпрацьованого повітря, кишені коробів одного рівня розташовані опозиційно, торцевий простір між шахтами закритий глухими стінками, а похилі стінки нижніх кишень з'єднуються козирком для утворення герметичної камери видалення відпрацьованого повітря, яка з'єднується за допомогою конфузору в верхньої її частини із системою очищення та рециркуляції відпрацьованого повітря.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На інтенсивність сушіння впливає структура шару зернового матеріалу та параметри агента сушіння. Необхідно дослідити вплив цих трьох параметрів на процес. Програма експериментальних досліджень передбачає дослідження фізико-механічних властивостей сипкого рослинного матеріалу та визначення оптимального режиму сушіння зернового шару.

Для правильного вибору режиму і вибору раціональної конструкції елементів аерожолобної сушарки необхідно враховувати набір таких характеристик матеріалу: розмір і форма зернівок, щільність і пористість зернового шару, статичний і динамічний кути природного укосу. Отримані залежності дозволять судити про таких параметрах сировини як транспортабельність, сипкість і злежуваність.

1. Щільність сипкого матеріалу визначається його хімічних складом, структурою і вологістю. Визначення щільності зерна здійснювалося в ході експерименту пікнометром (рис. 3.1) методом гідростатичного зважування.



Рисунок 3.1 – Пікнометр

Експеримент проводився наступним чином. «Відбирали поспіль три наважки масою по 5 г кожна. Зважували на аналітичних вагах і поміщали кожную наважку окремо в сітчасту корзину, виготовлену з білої жерсті товщиною 0,5 ... 0,7 мм, і закривали кришкою з того ж матеріалу. Безпосередньо до початку

експерименту зважували масу кошики з підвісами. Після чого кошик опускалася в мірний циліндр, заповнений етиловим ефіром, і знаходиться в термостаті з температурою води $293 \pm 1,5$ К. Для видалення бульбашок повітря з кошика з продуктом рідина піддавалася перемішування. Відзначали показання ваг за допомогою гир, що навішуються на плече коромисла» [6] Обсяг зерна в кожній наважці V , м^3 необхідно вирахувати за наступною формулою

$$V = \frac{m_n - m_g}{\rho}, \quad (3.1)$$

де m_n , m_g маса відповідно матеріалу та вантажа, кг;

ρ – щільність етилового ефіру при 21°C , $\text{кг} / \text{м}^3$.

Щільність зернового матеріалу в кожній наважці визначається формулою

$$\rho = \frac{m_n}{V}, \quad (3.2)$$

де m_n – маса наважки, кг;

V – об'єм наважки, м^3

В якості остаточного результату експерименту вибирали середньоарифметичне значення за підсумками трьох паралельних вимірювань.

Характеристики матеріалу, що визначається можливістю переміщення однієї частинки відносно іншої при переміщенні всього шару, є кут природного укусу» Визначення даного кута природного укусу вимірювалися двома методами: визначення статичного та динамічного кутів природного укусу на експериментальній установці, представленої на рис. 3.2.

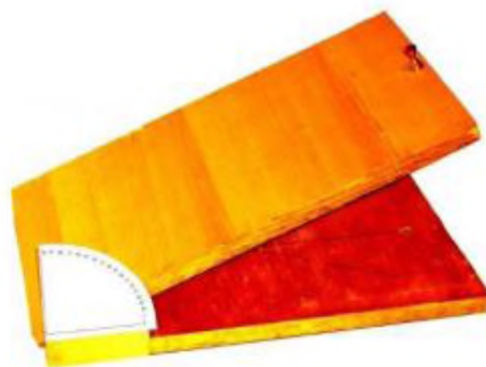


Рисунок 3.2 – Установка для вимірювання кута природного укосу

1 спосіб. Зерно засипали в прямокутну ємність, після чого відбувалося видалення однієї з бічних поверхонь ємності. В результаті відбувалося обвалення насипної маси, а вийшов між горизонтальною поверхнею і схилом дисперсного матеріалу кут був статичним кутом природного укосу.

2 спосіб. На горизонтальну рівну поверхню висипали дисперсний матеріал, після чого відбувається зміна кута між горизонтальною поверхнею лабораторної установки і його підставою до початку зсипання продукту з горизонтальної поверхні. Одержаний таким способом кут називають динамічним кутом природного укосу. Кожен з експериментів проводили 6 разів для отримання більш точних результатів.

«Характеристика, що вдає із себе відношення обсягу пор до загального обсягу шару продукту, називається порозністю шару» [7], яка визначається залежністю

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_n}{\rho} \quad (3.3)$$

де ρ_n – насипна щільність зернового матеріалу, кг/м³;

ρ – питома вага зернового матеріалу, кг/м³.

Величина насипної щільності зернового матеріалу визначається відношенням одиниці маси до одиниці об'єму. Дана величина залежить від вологості зерна і його щільності, а також від форми зерен, фракційного складу і їх

шорсткості. Вона необхідна при розрахунках продуктивності аерожолобної сушарки.

Експеримент проводили під впливом сили гравітації для маси зернівок. Розрахункова формула наступна

$$\rho_n = \frac{G}{V} \quad (3.4)$$

де G – маса наважки, кг;

V – об'єм наважки, м³.

3.2 Методика визначення раціонального режиму сушіння шару матеріалу

Для проведення експериментальних досліджень сушіння зернового матеріалу використовували лабораторну установку, яка зображена на рис. 3.3 та рис. 3.4.

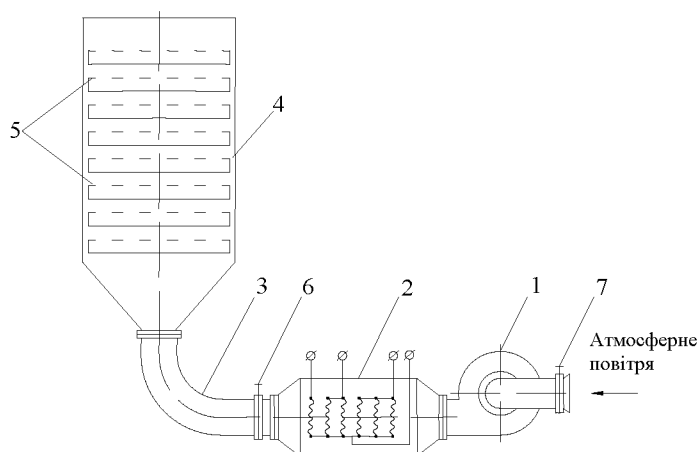


Рис. 3.3. Лабораторна установка: 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – повітропровід; 4 – камера сушіння; 5 – касети; 6, 7 – заслінки



а)

б)

Рисунок 3.4 – Фото лабораторної установки для дослідження процесу сушіння:

а) загальний вигляд; б) сушильна камера

Установка, яка складається з вентилятора 1, калорифера 2, повітропровода 3, сушильної камери 4, у якій встановлено касети з перфорованим днищем 5. Для регулювання температури теплоносія, який подається в сушильне відділення, нагрівальні елементи калорифера обладнані вимикачами.

Дослідна установка працює так: повітря вентилятором нагнітається у калорифер, де нагрівається до відповідної температури. Далі повітропроводом подається у сушильну камеру, проходить через перфоровані касети з матеріалом. Далі відпрацьований сушильний агент виводиться із камери сушіння.

Експериментальні дослідження проводилися після пуску установки, підготовки партії вологого матеріалу і визначення режиму підводу сушильного агенту.

Також використовувалося додаткове лабораторне обладнання (рис. 3.5): ваги, набір бюксів, сушильна електрошафу, термометр-щуп, іссикатор та різні за об'ємом ємкості.

Вологість матеріалу визначали згідно з ГОСТом 12041-82.



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 – Лабораторне обладнання: а) термостат ТС80; б) сушильна електрошафа 2; в) термометр-щуп

На початку проведенням дослідів вологий матеріал і касети зважували. Заповнені касети вставляли в сушильну камеру та розпочинали процес сушіння. Зважування матеріалу проводили через кожні 10 хв. протягом сушіння. Зміну відносної вологості зернового матеріалу визначали за наступною формулою:

$$W_i = 100 - \frac{m_0}{m_i} (100 - W_0) \quad (3.5)$$

де W_0 та W_i – початкова відносна вологість матеріалу та після i -го заміру,

m_0 та m_i – маса матеріалу початкова та після i -го заміру, кг.

Досліди проводили із трикратною повторюваністю.

Висновки до розділу

У третьому розділі описані експериментальні установки, використані прилади та обладнання, програма експериментальних досліджень, складена відповідно до поставлених за дачами, загальноприйнятих та авторських методик.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження фізико-механічних властивостей проводилися згідно з методикою, викладеною у розділі 3. Результати досліджень представлені на рис. 4.1-4.4.

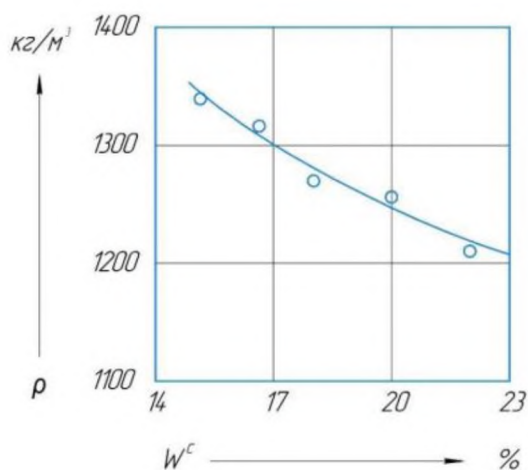


Рисунок 4.1 – Залежність щільності зернового матеріалу ρ від вологості його W_c

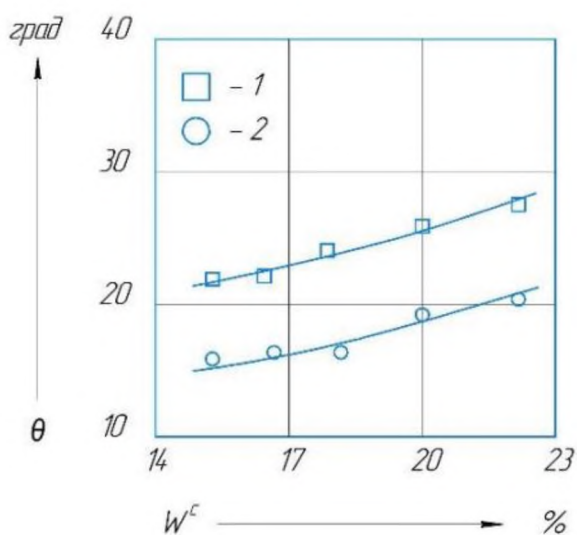


Рисунок 4.2 – Залежності кутів природного укосу зернового матеріалу від вологості W : 1 - статичний, 2 – динамічний

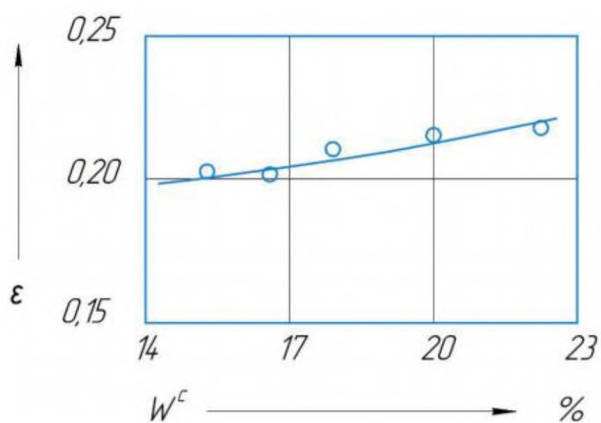


Рисунок 4.3 – Залежність порозності шару зерна пшениці ϵ від вологості W_c

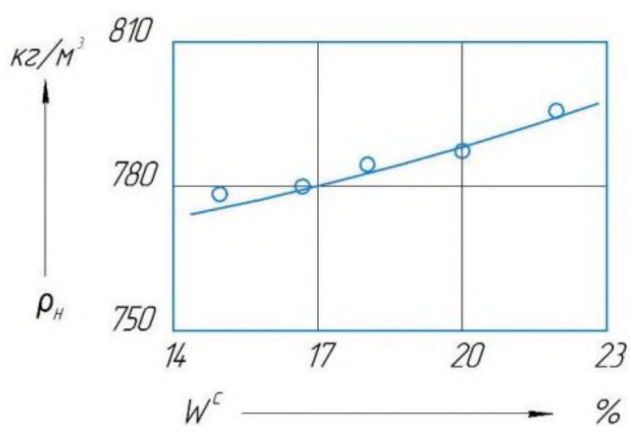
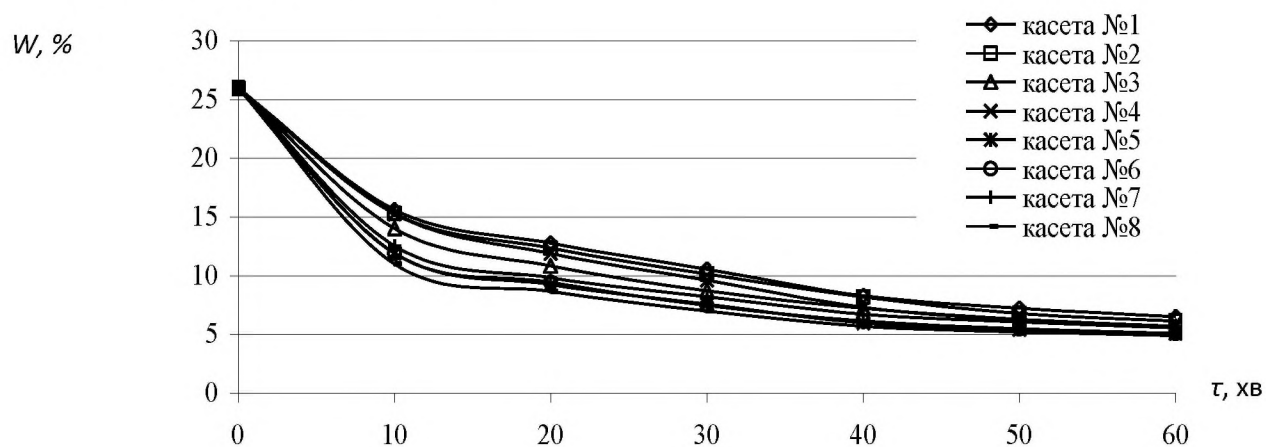
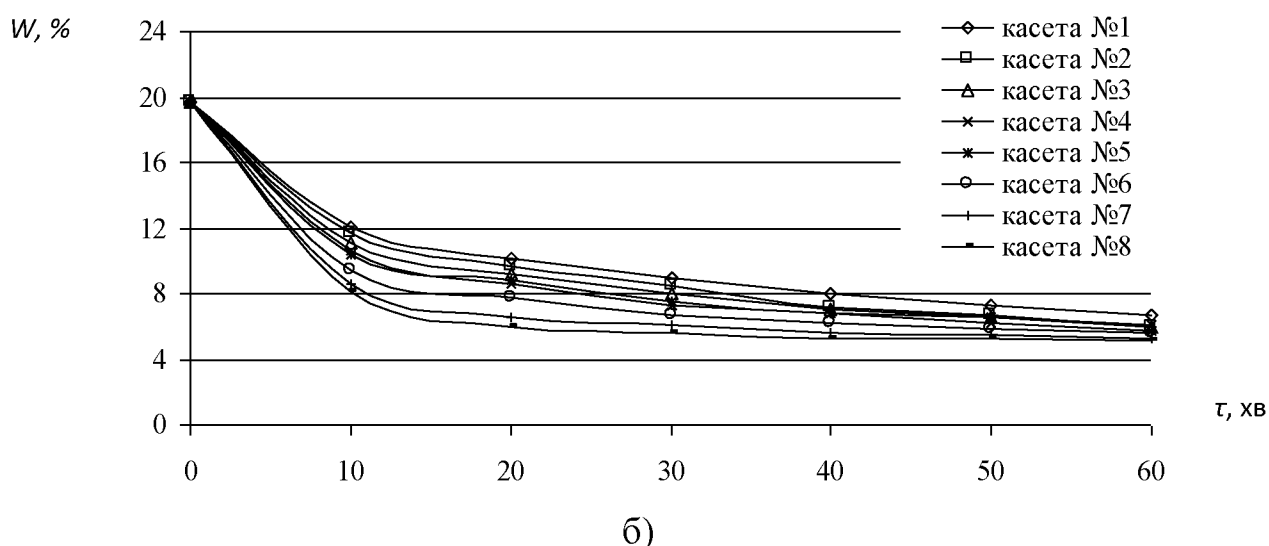


Рисунок 4.4 – Залежність насипної щільності зерна ρ_n від вологості W_c

Проведена обробка дослідних даних дала змогу отримати криві сушіння матеріалу, які представлені на рис. 4.5.



а)



Зміна вологості зерна з часом при вентиляванні сушильним агентом температурою $t_{ca} = 50 \div 55^\circ\text{C}$: а – $W_n = 25,98\%$; б – $W_n = 19,75\%$

Визначено раціональні режими роботи послідовно працюючих аерожолобів у безперервно-періодичному режимі їм відповідає частота обертання ротора шлюзового затвора механізму випуску зерна $n_{ш} = 45-50 \text{ хв}^{-1}$ та витрата повітря, що подається вентилятором всередину сушильного короба $Q = 1,13-1,20 \text{ м}^3/\text{с}$ у безперервному режимі раціональним параметрам відповідають $n_{ш} = 8-15 \text{ хв}^{-1}$, $Q = 1,40-1,42 \text{ м}^3/\text{с}$.

Встановлено, що швидкості руху верхнього та нижнього шарів в аерожолобі у безперервному режимі руху зернового шару коливаються від 1 до 8 мм/с. Нерівномірність зміщення шарів більшою мірою обумовлюється зміною витрати повітряного потоку. Фактори - кут нахилу перегородки та КЖС жалюзі переливного порога виявилися незначними. Тому при встановленні режимів роботи сушарок з аерожолобними коробами необхідно вибирати найбільші значення витрати агента сушіння з рекомендованого діапазону.

Звідси випливає, що аерожолобна сушарка повинна мати кілька сушильних коробів та камер падаючого шару, в яких зернові шари змінюють своє становище, що реалізовано нами при розробці аерожолобної сушарки.

Встановлено, що суттєве збільшення товщини шару зерна відбувається при куті нахилу вантажонесучої перегородки до горизонту 6° і з зростом

витрати повітряного потоку. У конструкції аерожолобних сушарок для зміни товщини сипкого шару необхідно передбачати можливість зміни кута нахилу вантажонесучої перегородки.

Вивчено вплив величини подачі зерна в сушильний короб, на характеристики зернового шару, профіль його поверхні. Повне заповнення зерном площі газорозподільних ґрат досягається при подачі зерна 2,5 кг/с. Хвилястість поверхні зернового шару по довжині сушильного короба незначна і не істотно впливає на рівномірність сушіння.

Висновки до розділу

Найбільший вплив на псевдозрідження зернового шару роблять робота шлюзового затвора випускного пристрою та вологість зерна, витрата повітря має складний вплив.

Визначено вплив вологості зернівки на її аеродинамічні властивості. У ході кореляційного аналізу отриманих даних встановлено, що є сильний кореляційний зв'язок між вологістю і швидкістю витання коефіцієнт кореляції дорівнює 0,95. У геометричних розмірів і швидкості витання коефіцієнти кореляції такі: між довгою і швидкістю витання -0,93, шириною і швидкістю витання-0,82, товщиною і швидкістю витання - 0,77. Аналіз приватних коефіцієнтів кореляції свідчить про те, що найбільший вплив на швидкість витання при постійній вологості зернівки надає довжина зернівки.

При зменшенні вологості відбувається підвищення щільності, а залежність має виражений криволінійний характер. Статичний кут природного укусу в залежності від вологості W_c від 14 до 23 % змінювався в межах від 21 до 26°, а динамічний - від 15 до 20°. Зі зменшенням вологості W_c від 22 до 14 % порізність шару зменшується з 0,23 до 0,20. При зменшенні вологості W_c з 22 до 14 % відбувається зменшення насипної щільності зернової маси.

Підвищення температури сушильного агенту інтенсифікує процес сушіння (рис. 3.10).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній магістерській роботі встановлено, що знизити втрати врожаю, зберегти якісні показники зерна та підвищити надійність технологічних процесів післязбиральної обробки зерна можливо шляхом застосування у технологічних лініях аеродинамічних пристроїв, що мають високу експлуатаційну надійність, мінімальну кількість рухомих частин, простоту конструкції і компактність. Разом з тим, існуючим конструкціям аерожолобних пристроїв притаманні загальні недоліки неоднаковий час впливу повітряного потоку на зерновий ворох, що надходить на обробку в приймальні відділення, швидке нагрівання матеріалу до граничної температури при незначному знятті вологи, енерговитрати на сушіння в 2-3 рази вище, ніж у шахтних установках, хаотичний рух зерна в камерах, що призводить до його нерівномірного нагрівання (охолодження) та сушіння.

Значної економії енергії на сушіння можна досягти при двох чотириразовому повторному використанні сушильного агента. Економічність сушіння та ефективність повторного використання повітря покращується з збільшенням температури агента сушіння і може досягати 52%.

Встановлено залежності зміни геометричних розмірів зерна від його вологості, їм властивий нелінійний характер. При збільшенні вологості зерна з 15 до 25% його еквівалентний діаметр збільшується до 3,5% при подальшому збільшенні вологості до 30% - на 7,5%. Швидкість витання зерна зростає зі збільшенням його вологості. Зміна вологості пшениці з 14 до 34% призводить до збільшення швидкості витання зерна до 2 м/с.

Встановлено, що зерно при безперервному переміщенні в аерожолобі зміщується пошарово з різною швидкістю - від 1 до 8 мм/с, що зростає від нижнього шару до поверхні. Кут зміни швидкості усунення зернових шарів за висотою у цьому режимі змінюється в діапазоні від 0,5 до 8,7°. Швидкості переміщення компонентів зернового вороху неоднакові.

Основний вплив на нерівномірність зміщення шарів надає витрата повітряного потоку та динаміка руху зерна. Аерожолоби повинні працювати в області найбільших значень рекомендованих діапазонів витрати агента сушіння в безперервно-періодичному режимі роботи випускного пристрою Аерожолобні сушарки повинні мати кілька сушильних коробів і камер для зміни положень зернових шарів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цуркан О.В., Онофрійчук В.В., Близнюк М.Я. Енергозберігаюча установка для сушіння зернових матеріалів. Вібрації в техніці та технологіях. 2013. № 1(69). URL: <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/1818.pdf>
2. Забродоцька Л.Ю. Енергетичний розрахунок спіральної сушарки / Л.Ю. Забродоцька, С.М. Хомич, В.О. Януш, Ю.В. Муравинець // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 44. – Луцьк, 2020. – С. 84–91.
3. Б. Баєв. Особливості шахтних зерносушарок: тези III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, ЛНТУ. – 2023. С. 42-45.
4. Котов Б.І. До питання зниження енергоємності процесів сушіння зерна / Б.І. Котов, В.О. Лісецький // Перспективи розвитку механізації, електрифікації та технічного сервісу сільськогосподарського виробництва: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Глеваха: ІМЕСГ, ІТС. – 1996. – С. 67.
5. Дідух В.Ф. Науково-технологічні основи механізованого сушіння неоднорідних матеріалів: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.11 / Володимир Федорович Дідух. – Луцьк, 2003. – 274 с.
6. Дідух В.Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських матеріалів: монографія / В.Ф. Дідух. – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – 165 с.
7. Дударев І.М. Розрахунок машин зі спіральними робочими поверхнями [Текст] : монографія / І. М. Дударев; Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк : Інформ.-вид. від. Луц. НТУ, 2017. – 227 с.
8. Забродоцька Л.Ю. Дослідження та вдосконалення процесу сушіння вороху насіння трав : Монографія / Л.Ю. Забродоцька, Р.В. Кірчук. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2017. – 164 с.

9. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. Навчальний посібник. Вінниця: Нова Книга, 2008. - 488с.
10. Берегова О. М., Станкевич Г. М. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку. Вісник харківського державного університету сільського господарства. 2001. Вип. 5. С. 282 – 287.
11. Консевич С. М. Результати виробничих випробувань аерожолобної сушарки з удосконаленою конструктивно- технологічною схемою. Студентські читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет 2022. С. 21-24.
12. Кухарець С. М., Консевич С. М. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми повітрообмінника. Збірник тез доповідей ХХІІІ Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022.С. 301-302.
13. Консевич С. М. Аналіз вітчизняних та зарубіжних конструкцій аерожолобних сушарок. Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 267-270.

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			АІ.СКА.00.00.0000 03	Схема принципова		
A4			АІ.СКА.00.00.0000 ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	АІ.СКА.01.00.0000	Шнек	1	
		2	АІ.СКА.02.00.0000	Шахта	1	
		3	АІ.СКА.03.00.0000	Конфузор	1	
		4	АІ.СКА.04.00.0000	Перфорована перегородка	1	
		5	АІ.СКА.05.00.0000	Надсушильний дункер	1	
		6	АІ.СКА.06.00.0000	Аеродинамічні короби	3	
		7	АІ.СКА.07.00.0000	Ультразвуковий датчик	1	
		8	АІ.СКА.08.00.0000	Пристрій введення теплоносія	1	
		9	АІ.СКА.09.00.0000	Заслінка	1	
		10	АІ.СКА.10.00.0000	Повітророзподільвальні короби	1	
		11	АІ.СКА.11.00.0000	Підсушильний дункер	1	
		12	АІ.СКА.12.00.0000	Привід	1	
		13	АІ.СКА.13.00.0000	Повітропровід	1	
		14	АІ.СКА.14.00.0000	Теплогенератор	1	
		15	АІ.СКА.15.00.0000	Привід насоса	1	
		16	АІ.СКА.16.00.0000	Вентилятор	1	
		17	АІ.СКА.17.00.0000	Вентилятор системи рециркуляції	1	
		18	АІ.СКА.18.00.0000	Циклон	1	
		19	АІ.СКА.19.00.0000	Вентилятор охолоджувача	1	
		20	АІ.СКА.20.00.0000	Охолоджувач	1	

					АІ.СКА.00.00.0000 03			
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата				
Розробив	Баєв				Сушарка аерожолодна шахтна	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Забродоцька					М	1	1
Н. контр.	Юхимчук				ЛНТУ, каф. АІ гр. АІм-21			
Затверд.	Сацюк							