

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»

на тему: «Обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи
установки контактного типу для теплової обробки зернового матеріалу»

КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського
виробництва»*
спеціальності *133 Галузеве
машинобудування*
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_24
ЦАРИКОВ Сергій

Керівник: к.т.н., доцент
ДУДНИК Володимир

Рецензент: к.т.н., доцент
БУРЛАКА Олексій

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Одним з основних завдань забезпечення продовольчої безпеки України є стійкий розвиток виробництва зерна в достатніх об'ємах. Зерно - стратегічно і економічно значимий продукт, за наявністю і рівнем запасів якого судять про національну продовольчу безпеку.

В даний час в Україні щорічно виробляють понад 50 млн. т. зерна, до 40% якого виробляють фермерські господарства. На процеси теплової обробки зерна припадає приблизно 10% від усього споживання енергії в агропромисловому комплексі розвинених країн. Тому зниження енергоємності цих процесів є актуальним.

Збереження зерна, його обробка та переробка в масштабах нашої країни - складна і дорога справа, яка потребує сучасної матеріально-технічної бази. Досвід передових господарств показує, що виробництво високоякісного зерна є вигідним - рівень рентабельності не менше 40%. У найближчі роки можна прогнозувати зростання попиту на нову техніку для обробки і зберігання зерна. Збільшення валових зборів зерна і зменшення питомих витрат на його виробництво можливо лише шляхом розробки і впровадження високоефективних технологічних засобів світового рівня на основі концептуальних положень їх розвитку.

Теплова обробка зерна, крім сушіння, може включати і термічне знезараження. Сушка зерна покращує якість продуктів його переробки, підвищує продуктивність переробних підприємств, збільшує вихід кінцевого продукту, зменшує зношення технологічного обладнання і витрату енергії, знижує собівартість переробки. Термічне знезараження можна застосовувати для боротьби з шкідниками (довгоносиками, кліщами і ін.), Які гинуть під дією високих температур.

В даний час є високопродуктивні автоматизовані засоби механізації процесу теплової обробки зерна. Однак з переходом на ринкову економіку з'явилася потреба в переробці зерна безпосередньо у виробничих господарствах. Застосування існуючих зерносушильних установок з великою пропускнуою здатністю нерентабельно в умовах невеликих фермерських господарств це пов'язано з

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

великими капітальними вкладеннями. Невідповідність наявної технічної бази умовам обробки зерна безпосередньо на підприємстві обумовлює необхідність розробки нових технічних засобів.

Об'єкт розробки – процес теплової обробки зерна.

Предмет розробки – зниження витрат енергії і забезпечення необхідну якість готового продукту при теплової обробки зернового матеріалу.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – інтенсифікація процесу теплової обробки зерна шляхом розробки установки з визначенням її оптимальних конструктивних параметрів і режимів роботи.

Постановка актуальної технічної задачі – розробка технічних засобів, заданої пропускної здатності, що інтенсифікують процеси теплової обробки зерна з урахуванням енерго- і ресурсозбереження, а також екологічних вимог.

Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра – теоретичне і практичне дослідження теплової обробки зерна в розробленій установці, що дозволить визначити її оптимальні конструктивні параметри і режими роботи, для забезпечити зниження витрат енергії і необхідну якість готової продукції.

Практичні результати роботи – сформульовано залежності пропускної здатності установки і потужності, необхідної на здійснення процесу теплової обробки зерна, від її конструктивно-режимних параметрів і властивостей оброблюваного матеріалу.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – при роботі на оптимальних режимах запропонована установка в порівнянні з серійною має в 4,8 рази меншу енергоємність і значно меншу металоемність.

Апробація. Основні положення виконаної роботи доповідались і обговорювались:

- на XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Україна, Кропивницький, 8-10 листопада 2023 року).

- на VI Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування» (Україна, Полтава, 21-22 грудня 2023 року).

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Ефективність теплової обробки сільськогосподарських матеріалів

Теплова обробка сільськогосподарських матеріалів широко використовується в різних процесах і технологіях виробництва, переробки та зберігання продукції харчової промисловості. Вагомим процесом теплової обробки сільськогосподарських матеріалів є сушіння.

Значення сушіння в сільськогосподарському виробництві величезне. Немає жодної галузі сільськогосподарського виробництва, в якій не застосовували б сушіння. Сушать зерно, овочі, плоди, стебла і волокна прядильних культур, зелені корми для худоби, молоко та інші продукти [1-3].

Сушка - це процес видалення вологи з твердих, вологих, пастоподібних або рідких матеріалів шляхом її випаровування та видалення пари, що утворюється. Сушіння сільськогосподарських матеріалів є складним технологічним процесом, який впливає не тільки на вологість матеріалу, а й на його властивості. Як результат сушіння - поліпшується якість сільськогосподарської продукції.

Основною метою сушіння зерна є зниження його вологості до норми і доведення сирого і вологого зерна до стабільного стану при зберіганні. Основні кондиції зерна продовольчого призначення наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Кондиції продовольчого зерна

Культура	Базові			Обмежувальні		
	Вологість, %	Домішки, %		Вологість, %	Домішки, %	
		Сміттєва	Зернова		Сміттєва	Зернова
Пшениця	14...17	1	2	19	5	15
Жито	14...17	1	1	17...19	5	15
Ячмінь	14...15	1	2	17...19	5	15
Овес	14...18	2	1	17...19	8	15
Горох	16	1	22	20	8	15
Кукурудза	22	1	2	25	8	15

Велике значення має сушка для підготовки свіжозібраного зерна до зберігання. До моменту збирання зерно ще не досягло повної фізичної зрілості і не

володіє високими технологічними перевагами. Наприклад, хліб із зерна свіжозібраної пшениці недостатньо пористий, має сирий клейкий м'якуш.

В результаті своєчасного та правильно проведеного сушіння прискорюється процес післязбирального дозрівання зерна, який за нормальних умов зберігання триває кілька тижнів або місяців, підвищується його стійкість під час зберігання, вирівнюється зернова маса за вмістом вологи. Поліпшуються ступінь зрілості, колір, зовнішній вигляд та інші технологічні властивості зерна. [3, 4, 5].

Сушіння також має велике значення в зернопереробних галузях. Переробка сушеного зерна дозволяє знизити енерговитрати вальцових машин, збільшити вихід борошна та крупи, збільшити тривалість їх зберігання, знизити знос обладнання.

У процесі зберігання зерно, гриби, горіхи, сухофрукти, ягоди та інші сільськогосподарські матеріали ушкоджуються шкідниками. Усі шкідники забруднюють сільськогосподарські матеріали екскрементами, видають неприємний запах, погіршують якість продуктів харчування, викликають самозігрівання та розносять хвороботворні бактерії [6, 7].

Для знищення шкідників сільськогосподарських матеріалів, для підвищення якості та зниження втрат матеріалу при зберіганні застосовують теплову обробку. До теплових методів захисту сільськогосподарських матеріалів відносять охолодження і термічну обробку.

Термічна обробка - нагрівання сільськогосподарських матеріалів до температури, при якій гинуть шкідники. Теплова обробка здійснюється в установках, призначених для сушіння і знезараження сільськогосподарських матеріалів, з використанням різних способів тепло підведення.

При тепловій обробці харчових продуктів слід враховувати ступінь стійкості різних видів шкідників до високих температур.

Гідротермічну обробку застосовують для підготовки зернових культур до переробки на борошномельних та зернопереробних заводах [8, 9].

Гідротермічна обробка (ГТО) - метод збагачення, що покращує технологічні властивості зерна та підвищує використання його харчових ресурсів для

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продовольчих цілей.

Залежно від структури зерна, асортименту продукції та режиму обробки зерна найбільш поширені два способи ГТО: перший включає операції пропарювання, сушіння та охолодження; другий - зволоження та осушення. Перший метод ГТО застосовується при переробці вівса, гороху та гречки. Його особливістю є висока (до 100°C вище) температура нагріву. Пропарювання проводять при тиску до 0,3 МПа. В результаті нагрівання та зволоження в зерні відбуваються часткові хімічні перетворення, ядро пластифікується, стає менш крихким і менше дробиться при луценні та подрібненні.

Сушка після пропарювання призводить до підвищення крихкості зовнішніх плівок, які в результаті легше розколюються при луценні. Виникаючі в зерні в процесі пропарювання і сушіння механічні напруження призводять до відшарування оболонок. Ядро менше зневоднюється сушінням, залишається досить пластичним.

Охолодження після сушіння ще більше знижує вологість зерна і призводить до підвищеної крихкості оболонок. Сушку і охолодження варто проводити доволі обережно: перебільшене сушіння і охолодження призводять до підвищеної крихкості ядра і зниження виходу цільної крупи при подальшій обробці. Зі способами луцення зерна тісно пов'язані режими пропарювання, сушіння та охолодження.

Другий спосіб ГТО застосовують для кукурудзи та пшениці. Зерно зволожують водою при температурі 40°C у спеціальних апаратах або обробляють у пропарювачах безперервної дії при низькому тиску пари. Зволожене зерно осушують у бункері протягом кількох годин.

В результаті зерно набирає підвищеної пластичності і менше подрібнюється при луценні. Внаслідок механічних навантажень у зерні зовнішні оболонки частково відшаровуються і легко відділяються під час луцення.

Цей спосіб також можна застосувати для сушіння вівса під час наступного луцення у відцентровому луцильнику. У цьому випадку зерно зволожують до 16...18% і осушують протягом 8 год.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті ГТО покращуються технологічні властивості зерна: покращуються споживчі властивості крупи (скорочується час варіння, каша стає більш розсипчастою), полегшується відділення оболонки при лущенні, зменшується дроблення ядра, [6].

Таким чином, проведений аналіз показав, що теплова обробка широко використовується в різних процесах і технологіях виробництва, переробки та зберігання. Найважливішими процесами термічної обробки є сушіння та термічне знезараження сільськогосподарських матеріалів. Операції технологічних процесів сушіння та термічної обробки сільськогосподарських матеріалів, а також режими виконання цих процесів, як правило, збігаються, тому з економічної точки зору ефективніше поєднувати виконання ці процеси в одній установці.

1.2 Способи теплової обробки зерна та сільськогосподарських матеріалів

При термічній обробці сипких сільськогосподарських матеріалів застосовують різні способи підведення тепла. Для сушки овочів, зерна, фруктів та іншої сировини більш поширені контактний, променистий та конвективний методи передачі тепла, а також нагрівання струмами високої частоти (мікрохвильове випромінювання) [10, 11].

При конвективному методі тепло, необхідне для нагрівання матеріалу, що висушується і випаровування з нього вологи, передається йому за рахунок конвекції від нагрітого повітря, що рухається, або його суміші з димовими газами - сушильного агента. Сушильний агент служить не тільки для передачі тепла оброблюваного матеріалу, але і для поглинання вологи, що випаровується з нього.

Конвективний метод сушіння застосовують для різного стану зерна - щільного, киплячого, падаючого, що переливається шару [10]. Сушку зерна в щільному шарі проводять у зерносушарках шахтного типу. При швидкості агента сушіння в шарі зерна близько 0,3 м/с та його температурі 120...150°C зерно нагрівають до +45...+50°C. Вологість знижується на 5...6%, але залежно від режиму сушіння процес триває 30...60 хв.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

При конвективному сушінні в киплячому шарі сушильний агент нагрівається до температури 120...140°C. Протягом 1 хв. зерно прогрівається до температури 40...50°C, причому вологість зерна в цей час знижується на 2...2,5%. Сушарки з киплячим шаром застосовуються зрідка через невелике зниження вологості при швидкому нагріванні зерна.

Конвективне сушіння з просипаючим шаром зерна зазвичай здійснюють в сушарках барабанного типу, в яких зерно, що поступає в барабан, піднімається лопатями при повільному його обертанні. У такій сушарні при температурі сушильного агента 150...200°C зерно знаходиться 5...10 хв., його температура досягає 50°C, а вологість знижується на 3...5%.

Конвективне сушіння у підвішеному стані виконують у рециркуляційних зерносушарках, швидкість сушильного агента на вході в пневмотрубу встановлюють у 1,5...2 рази вище за швидкість спливання зерна. Час перебування зерна в пневмотрубі становить 2...3 с., тому сушильний агент нагрівається до температури 300...350°C. В цьому випадку зерно нагрівається до температури 50...60°C, а вологість знижується в середньому на 0,1%.

Для регулювання вологості ми сушимо зерно до кондиції, потім знову повертаємо зерно в пневмотрубу. Цикли нагріву зерна в пневмотрубі, від його перебування в надшахтному бункері, проміжного та остаточного охолодження повторюються багаторазово. Тому зерно можна сушити до будь-якої вологості. За один цикл вологість зерна в сушарці знижується на 1...1,5% [11].

Усі апарата для сушіння матеріалів конвективним способом мають подібні принципи роботи та просту конструкцію. Продуктивність даних зернових сушарок різна і може бути понад 30 т/год, а вологість зерна за один прохід знижується на 3...4%. Питома енерговитрата в таких зерносушарках перевищує 2,5 кВт-год/кг випареної води [12].

Контактний метод заснований на тому, що матеріал сушиться в контакті з нагрітою поверхнею, отримуючи від неї тепло за рахунок теплопровідності. В якості поверхонь нагріву використовуються труби, що обігріваються гарячою

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

водою, парою та газом. Утворена пара поглинається холодним або теплим повітрям, що надходить в сушильну камеру. При сушці зерна та сипучих сільськогосподарських матеріалів нижній шар, що стикається з гарячою поверхнею, швидко нагрівається, а поверхневий майже не прогрівається і не сушиться. Тому контактний спосіб із непересувним шаром матеріалу рідко використовують для сушіння сипучих сільськогосподарських матеріалів. Цей спосіб найбільш широко використовується для сушіння деревини та паперу, питома енерговитрата якого досягає 3...5 кВт-год/кг [13]. Продуктивність сушильних установок, які використовують контактний спосіб підведення тепла для сушіння зерна, як правило, не перевищує 1 т/год, а питомі енерговитрати становлять 0,8...1,5 кВт-год/кг [13].

До променевого методу сушіння зерна відноситься сонячне сушіння, коли зерно розстиляють на відкритій місцевості, прогрівання відбувається сонячними променями, а випарувана волога потрапляє в атмосферу. Сонячна сушка використовується в рідкісних випадках для обробки невеликих партій матеріалу насінневого зерна, оскільки така сушка триває протягом доби і відбувається лише за сприятливих погодних умов і перемішування зернової маси. При сонячній сушці вологість зерна за добу можна знизити до 3%.

Променева передача тепла до зерна також здійснюється за допомогою інфрачервоних променів від інфрачервоних випромінювачів відповідного типу. В якості випромінювачів використовуються електричні інфрачервоні лампи, а також керамічні панелі, що нагріваються електричним струмом.

Інфрачервоні промені проникають у шар зерна на глибину до 10 мм, в цьому випадку верхній шар зерна прогрівається до температури 50°C протягом 1...2 хв. залежно від інтенсивності випромінювання. Тому під час такого сушіння необхідно постійно перемішувати зерновий пласт і переміщувати його відносно поверхні. Випарувана волога повинна безперервно видалятися в атмосферу, а висушене зерно направлятися в охолоджувач, що ускладнює конструкцію та обслуговування сушарок. При інфрачервоному сушінні зерна продуктивність сушарок досягає 10

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

т/год, а питомі енерговитрати 4...5 кВт-год/кг [14].

Мікрохвильова сушка заснована на тому, що зерно знаходиться в полі поверхневих струмів, в яких енергія перетворюється в тепло, за рахунок чого зерно прогрівається.

Інтенсивність прогрівання і випаровування вологи залежить від інтенсивності електричного поля. Температура шару зерна в СВЧ-полі підвищується протягом декількох секунд, оброблюваний матеріал помірно нагрівається по всій товщині.

Для видалення вологи, що випарувалася, необхідно безперервно подавати повітря до шару зерна. У охолоджувачі температуру зерна знижують.

Продуктивність установок для сушіння харчових продуктів у СВЧ-полі висока і може досягати 25 т/год, однак питома енерговитрата на обробку в таких апаратах зазвичай перевищує 2...3 кВт-год/кг.

Отже існуючі способи підведення тепла до матеріалу, що обробляється, мають ряд недоліків, основним з яких є високе споживання електроенергії - 2...5 кВт-год/кг. Енерговитрати при контактному методі сушіння зерна при дотриманні певних умов значно менші порівняно з найбільш поширеним конвективним методом. Продуктивність відомих апаратів, в яких зерно та інші сипучі сільськогосподарські матеріали сушать контактним способом, менша в порівнянні з установками, в яких сушіння відбувається з використанням інших способів теплопостачання. Але використання в малих фермерських і селянських господарствах установок, що реалізують контактний спосіб підведення тепла для переробки зерна та інших сільськогосподарських матеріалів, є більш ефективним з економічної точки зору і дозволяє знизити енергетичні витрати на процес при заданій продуктивності.

1.3 Аналіз конструкцій і класифікація засобів теплової обробки зерна

Сушка зерна та інших сипучих сільськогосподарських матеріалів - найбільш поширений процес теплової обробки. Зерно - живий організм, який дихає,

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

розвивається і старіє. За своєю природою зерно є колоїдним, а за структурою капілярно-пористим тілом, в якому міститься велика кількість вологи [15].

Волога в зерні має різні форми зв'язку з його твердим скелетом: від найміцнішої, обумовленої молекулярними силами, до чисто механічного утримування вологи на поверхні зерна. На основі енергії зв'язку була запропонована класифікація форм зв'язку вологи в колоїдних капілярно-пористих матеріалах. Відповідно до цієї класифікації, всі форми зв'язку вологи ділять на три великі групи: хімічну, фізико-хімічний зв'язок і механічну [16].

Хімічно-пов'язану вологу поділяють - на пов'язану іонними і молекулярними силами.

Іонний зв'язок води утворюється в строго певних співвідношеннях при хімічних реакціях з утворенням нової речовини. Вода як така при цьому зникає і входить до складу речовини. Цей зв'язок може бути порушений тільки при руйнуванні речовини.

При молекулярному зв'язку, коли відбувається кристалізація з розчину, вода теж в певних кількостях для даної речовини входить в структуру кристала.

Хімічно-зв'язана волога настільки міцно пов'язана з зерном, що її при сушінні не видаляють і навіть не враховують вміст у зерні, відносячи її кількість до маси сухої речовини.

До фізико-хімічного зв'язку вологи відносять: абсорбційно-пов'язану вологу, осмотично-пов'язану і структурну вологу.

Абсорбційно-пов'язана волога - це шар води товщиною в кілька сотень молекул, абсорбованих на активній поверхні зерна. Міцність зв'язку абсорбованих молекул неоднакова. У міру появи другого, третього і т. д. шару міцність зв'язку падає.

Вода, пов'язана абсорбційними силами, може бути видалена при сушці з додатковими витратами енергії на руйнування зв'язку вологи з зерном.

Осмотично-пов'язана волога - це волога, що проникла всередину клітини зерна в результаті осмотичного тиску. При зволоженні зерна концентрація розчинної фракції всередині клітини стає більше, ніж поза нею (виникає осмотичний тиск води), тому вода проникає всередину клітини через стінки. Таке

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

поглинання рідини супроводжується збільшенням обсягу зерна без виділення теплоти. При цьому поглинена волога за своїми властивостями не відрізняється від звичайної води. Осмотичний зв'язок має меншу міцність, ніж абсорбційний, однак при видаленні вологи також потрібні додаткові витрати енергії.

До структурної вологи відносять вологу, захоплену новими структурними утвореннями при формуванні гелю. Цій волозі відповідає вельми мала енергія зв'язку. Структурна, так само як і осмотично-пов'язана волога, що своїми властивостями нічим не відрізняється від звичайної води. При видаленні цієї частини вологи в процесі сушіння додаткова енергія витрачається в основному на подолання опору структурних утворень зерна при дифузії вологи, як у вигляді пари, так і у вигляді рідини до поверхні зерна.

Механічно-пов'язана волога знаходиться в мікро- і макрокапілярах зерна. Вона зберігає всі свої властивості і легко видаляється при сушінні [17].

Для зниження вологості зерна до стійкого при зберіганні стану в технології сушіння застосовують різні технічні способи і конструкції сушильних установок, які можна класифікувати за рядом ознак [2, 11, 15].

Тому конструкція сушарки повинна, перш за все, забезпечувати рівномірне нагрівання і сушіння зерна при надійному контролі температури і вологості зерна. Конструкція сушильної установки також повинна виключати механічне травмування зерна, втрати повноцінного зерна з відпрацьованим агентом сушіння. Зерносушарки повинні мати досить високу продуктивність, що відповідає вимогам безперебійної приймання зерна і максимального скорочення строків збирання врожаю. При цьому вони повинні бути економічними за питомими витратами теплоти, електроенергії і мати найменшу металоємність.

З огляду на сезонність роботи сушарок, варто прагнути до раціоналізації їх конструкції, до зниження капітальних витрат за їх спорудження, до більш широкого застосування неметалічних частин.

Сучасні зерносушарки повинні мати певний ступінь універсальності, тобто здатністю сушити зерно різних культур, вони різко розрізняються фізико-хімічними, біохімічними, структурно-механічними і іншими технологічними властивостями.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Сушарки повинні сушити зерно будь-якої початкової вологості до установлених кондицій за один пропуск, а також сушити зерно без попереднього його очищення, що дозволить отримати відходи в сухому вигляді і використовувати їх за призначенням. Крім того режими створювані в сушильних установках повинні забезпечувати виконання термічної обробки зерна в необхідних випадках. Таким чином, конструкція сушильної установки повинна володіти універсальністю.

У комплексі заходів щодо забезпечення високої якості сушки зерна велике значення має запобігання його забруднення шкідливими речовинами. Ця вимога особливо актуально для сушильних установок, працюючих на суміші продуктів згоряння палива з зовнішнім повітрям. При неповному згорянні палива не виключена можливість забруднення зерна. У зв'язку з інтенсифікацією процесу сушіння, впровадженням пристроїв для попереднього нагріву зерна агентом сушки з високою температурою, зростають вимоги пожежної безпеки.

Зерносушильні установки також повинні задовольняти сучасним вимогам екологічної безпеки.

У сільськогосподарському виробництві використовують прямоочні шахтні сушарки типу ДСП-32-ОТ, СЗШ-16, С-20 і рециркуляційні установки типу РД-2х25-70, А1-УЗМ, процес сушіння в яких заснований на конвективному способі підведення теплота до матеріалу, а агент сушіння виконує функції тепловологоносія [11, 18].

Для отримання агента сушіння використовують топки для спалювання рідкого або газоподібного палива. Як паливо застосовують дизельне паливо, гас і природний газ. Однак при згорянні палива утворюється велика кількість токсичних компонентів. Наприклад, при згорянні 1 кг дизельного палива утворюється 21 г оксиду вуглецю, 4 г вуглеводнів, 18 г оксиду азоту, 8 г діоксиду сірки та ін. [19].

Зерносушарки ДСП-3 2-ВІД, СЗШ-16 застосовують для сушіння сирого зерна кукурудзи, пшениці, жита, ячменю, вівса соняшнику та інших зернових культур. При високій продуктивності сушильні установки дозволяють знизити вологість зерна за один прохід на 3...4%.

Однак ці зерносушарки мають велику масу, значну витрату палива (до 272

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

кг/пл.т) і високі питомі витрати електроенергії, які досягають 4,2 кВт-год/кг випаруваної вологи.

Для сушіння матеріалу зернових, зернобобових та круп'яних культур зернового, продовольчого та фуражного призначення найбільш широко застосовують зерносушарки С-20, схема робочого процесу якої представлена на рис. А.1 додаток А.

Рециркуляційні зерносушарки РД-2х25-70 і А1-УЗМ призначені для сушіння зерна пшениці, соняшнику, кукурудзи та інших зернових культур. У процесі теплової обробки в рециркуляційних сушильних установках вологість зерна за один цикл знижується на 1...1,5%.

Продуктивність рециркуляційних зерносушарок на порядок більше в порівнянні з прямоочними шахтними зерносушарками, але інші технічні показники нижче.

Для сушіння сипучих сільськогосподарських матеріалів в агропромисловому виробництві застосовують барабанні сушильні установки, в яких підвід теплоти здійснюють конвективним способом [18].

Зерносушарки типу СБУ-1, СЗСБ-8, А1-ІФІ призначені для сушіння зерна різних культур будь-якої вологості і засміченості, насіння трав і овочів, різних кускових матеріалів.

Продуктивність барабанних сушильних установок нижче, ніж у шахтних зерносушарок в 2...2,5 рази, маса зерносушарок може перевищувати 11 т, витрата палива варіюється в межах 80...30 кг/пл.т, а питомі витрати електроенергії досягають 2 кВт-год/кг. Використання барабанних сушильних установок дозволяє знизити вологість оброблюваного матеріалу на 3...5% за один прохід.

На рис 1.1 представлена конструктивна схема зерносушарки СЗСБ-8.

Для сушіння зерна також застосовують конвеєрну сушильну установку УСК-8, карусельну СКУ-5, а також колонкову СК-5А зерносушарки, підведення теплоти в яких здійснюють конвективним способом.

Конвеєрна універсальна зерносушарка УСК-8 призначена для сушіння зерна зернобобових, бобових і круп'яних культур, насіння трав, соняшника насінневого,

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

продовольчого і фуражного призначення.

Рисунок 1.1 - Конструктивна схема барабанної сушарки СЗСБ-8А

Сушка матеріалу від початкової до кондиційної вологості в таких зерносушарках відбувається за один прохід, шляхом плавної зміни часу перебування матеріалу в сушильній камері.

Схема робочого процесу конвеєрної сушарки УСК-8 представлена на рис. 1.2.

Рисунок 1.2 - Схема робочого процесу конвеєрної сушарки УСК-8.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Карусельна універсальна сушильна установка СКУ-5 призначена для сушіння неочищеного зернового вороху зернових і зернобобових культур, соняшнику, ріпаку, насіння трав з початковою вологістю до 35%. Матеріал будь-якої вологості в такій зерносушарці сушать за один прохід.

У зерносушарці півметровий шар зерна розташовується на карусельній платформі і продувається знизу потоком теплого повітря. Нижній шар зерна у міру сушіння відділяється і виводиться із сушарки, а зверху шар автоматично доповнюється новою порцією вологого зерна.

За час перебування оброблюваного матеріалу в зоні високої температури, сушильний агент проходить через шар зерна і віддає йому надлишок теплоти. При цьому температура зерна досягає допустимих значень тільки в нижній частині зернового шару.

Схема карусельної зерносушарки представлена на рис. А.2 додаток А.

Колонкову зерносушарку СК-5А застосовують для сушіння зерна різних культур насінневого і продовольчого призначення будь-якої вологості і засміченості.

У цій сушильній установці забезпечений м'який тепловий режим процесу сушки, що сприяє збереженню біологічної життєздатності зерна і оздоровлення зернівок, а також поточна обробка матеріалів за один прохід до кондиційної вологості незалежно від початкової вологості зерна [3].

Схема робочого процесу колонкової зерносушарки сушарки СК-5А представлена на рис. А.3 додаток А.

Продуктивність цих установок на порядок менше в порівнянні з шахтними зерносушарками. Крім того на процес сушіння зерна в таких зерносушарках, маса яких досягає 13 т, витрачається велика кількість палива.

Проведений аналіз показав, що застосовуються для сушіння зерна в агропромисловому виробництві сушильні установки мають ряд суттєвих недоліків, до яких відносять високу масу, велика витрата палива і значні витрати електроенергії.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Існуючі сушильні установки не відповідають вимогам екологічної безпеки, так як в зерносушарках для отримання агенту сушіння використовують різні види палива, при згорянні якого утворюються значна кількість різних шкідливих речовин. Тому розробка установок, інтенсифікують процес сушіння зерна з урахуванням зниження енергетичних витрат і забезпечення екологічних вимог, є важливим науково-технічним завданням.

Висновки і постановка завдань досліджень

Створення високоефективного технічного обладнання, яке на основі використання прогресивної технології дозволить отримати готовий продукт необхідної якості при заданій продуктивності установки, сприяти економії паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів, а також дозволить зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, є актуальною і важливою науково-технічною задачею.

Метою роботи є інтенсифікація процесу теплової обробки зерна шляхом розробки установки з визначенням її оптимальних конструктивних параметрів і режимів роботи, що забезпечують зниження витрат енергії і необхідну якість готового продукту при заданій пропускній здатності.

У роботі поставлені такі завдання дослідження:

1. Виконати аналіз існуючих способів і засобів механізації теплової обробки зерна, виявити основні напрямки їх удосконалення і розробити конструкцію установки для теплової обробки зерна.

2. Дати теоретичне і експериментальне обґрунтування установки для теплової обробки зерна, визначити її оптимальні конструктивні параметри і режими роботи;

3. Перевірити теоретично і експериментально обґрунтовані режими теплової обробки розробленої установки у виробничих умовах;

4. Оцінити економічну ефективність пропонованої установки для теплової обробки зерна при обраних оптимальних режимах.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Конструктивно-технологічна схема установки для теплової обробки зерна і сутність її роботи

На основі аналізу способів теплової обробки і засобів механізації даного процесу визначено, що для забезпечення необхідної якості сушіння зерна і насіння існуючі сушильні установки, в яких використовують конвективний спосіб підведення теплоти, витрачають значну кількість палива та електричної енергії на одиницю продукції. Тому для зниження цих показників і забезпечення необхідної якості сушіння зерна раціонально застосовувати контактний спосіб підведення теплоти, при одночасному перемішуванні і переміщенні зерна в одиничному шарі.

Для вирішення поставлених завдань розроблена і виготовлена установка контактного типу для теплової обробки зерна і насіння (рис. 2.1). Оброблюваний матеріал в установці переміщається і перемішується в одиничному шарі.

Рисунок 2.1 - Конструктивно-технологічна схема установки для сушки зерна

Установка складається з кожуха прямокутного перетину 1, покритого шаром теплоізоляційного матеріалу 2, завантажувального бункера 3, вивантажувального вікна 4, встановленого всередині кожуха транспортуючого робочого органу 5,

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагрівальних елементів 6, а також охолоджувального пристрою, що складається з вентилятора 7 і воздуховода 8. Повітровід 8 охолоджуючого пристрою з'єднаний з кожухом 1 на рівній відстані від завантажувального бункера 3 і вивантажувального вікна 4. Завантажувальний бункер 3 виконаний з жорстко закріпленою заслінкою 10. Транспортуючий робочий орган 5 виконаний у вигляді нескінченного ланцюга зі шкребками. Нагрівальні елементи 6 розміщені між завантажувальним бункером 3 і вивантажним вікном 4. Усередині кожуха горизонтально встановлена нагрівальна пластина 9. Нагрівальні елементи 6 розташовані з нижнього боку нагрівальної пластини 9, причому верхня гілка ланцюга зі шкребками спирається на пластину 9.

Установка працює в такий спосіб. Включають нагрівальні елементи 6. Після досягнення необхідної температури пластини 9 подають зерно в завантажувальний бункер 3, звідки воно надходить на нагрівальну пластину 9. Шкребки транспортуючого робочого органу 5 захоплюють зерно, верхні шари якого заслінка 10 відсікає і рівномірно розподіляє по нагрівальній пластині 9, при цьому опрацьований матеріал, обертаючись навколо своєї осі при русі вздовж пластини 9, переміщається робочим органом 5 в одиничному шарі до вивантажувального вікна 3. Контактуючи з нагрітою поверхнею пластини 9, зерно також нагрівається, втрачає надлишки вологи, які у вигляді пари видуються через завантажувальний бункер 3 і вивантажувальне вікно 4. Сухе зерно видаляється з установки через вивантажне вікно 4.

Виконання кожуха прямокутного перетину теплоізолюваним, використання скребкового транспортуючого органу, а також можливість регулювання температури нагріву нагрівальної пластини за рахунок застосування окремих нагрівальних елементів - все це забезпечує необхідну рівномірність теплової обробки зерна і насіння, а також знижує витрати електричної енергії.

Розроблена установка універсальна, так як використання скребкового транспортуючого робочого органу дозволяє проводити теплову обробку зерна та насіння різних сільськогосподарських культур.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Переміщення постійно перемішуючого зерна скребковим транспортуючим органом і з'єднання воздуховода охолоджувального пристрою з кожухом на рівній відстані від завантажувального бункера і вивантажувального вікна дозволяє досягти рівномірного обдування рухомого матеріалу повітрям, забезпечуючи необхідну якість сушіння.

2.2 Обґрунтування конструктивних параметрів розробленої установки

2.2.1 Обґрунтування параметрів ланцюгової передачі

При роботі ланцюгової передачі рух ланцюга залежить від руху шарніра ланки, що входить в зачеплення з провідною зірочкою. Швидкість шарніра знайдемо відповідно до схеми визначення швидкостей руху скребків транспортуючого робочого органу (рис. 2.2).

Рисунок 2.2 - Схема визначення швидкостей руху скребків транспортуючого робочого органу

Лінійна швидкість шарніра при постійній кутовій швидкості привідного барабану:

$$v_{ш} = \omega_{пр} d_{пр} , \quad (2.1)$$

де $d_{пр}$ - ділительний діаметр привідної зірочки, м.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

У довільному кутовому положенні зірочки, коли ведучий шарнір повернуть відносно перпендикуляра до ведучої вітки ланцюга під кутом α , швидкість ланцюга:

$$v_l = v_{in} \cos\alpha. \quad (2.2)$$

Так як кут α змінюється в межах від 0 до $\varphi_{пр}/2 = \pi/z_{пр}$, то швидкість ланцюга змінюється від v_l до $v_l \cos(\pi/z_{пр})$.

Миттєва кутова швидкість привідної зірочки, c^{-1} :

$$\omega_2 = v_l / (d_2 \cos\beta), \quad (2.3)$$

де d_2 - ділительний діаметр веденої зірочки, м.

β - кут повороту шарніру на веденій зірочці, град.

Основний вплив на рівномірність руху ланцюга надає збільшення числа зубців привідної зірочки, тобто коли $\cos\alpha$ і $\cos\beta$ прагнуть до одиниці.

При постійній кутовій швидкості привідної зірочки швидкість руху ланцюга періодично змінюється за певним кінематичним законом. Тривалість періодів нерівномірності руху ланцюгів дорівнює часу повороту привідної зірочки на центральний кут, що відповідає одній ланці ланцюга [20].

Нерівномірність руху тягового елемента обумовлює виникнення в ньому динамічних зусиль, які зростають зі збільшенням прискорення пульсуючого руху переміщуваного матеріалу і самого транспортуючого робочого органу.

Крім поздовжньо діючих на ланцюг динамічних сил, викликаних нерівномірністю її руху, в точці набігання на ланцюг діють динамічні сили, спрямовані під кутом до осі транспортера. Динамічні сили викликані тим, що кожен новий зуб входить в зачеплення з шарніром ланцюга з ударом. При визначенні діючих на тяговий елемент динамічних сил враховують тільки поздовжні коливання.

Тягове зусилля передається зубом 1, що знаходиться в зачепленні з шарніром ланцюга 1'. При подальшому обертанні зірочки зуб 2 входить в зачеплення з шарніром 2', зуб 3 з шарніром 3' і т.д.

При постійній кутовій швидкості ω із зірочки окружна швидкість зуба:

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v_0 = \omega R, \quad (2.4)$$

де R - радіус початкової зірочки.

Швидкість ланцюга, якщо вважати його рух поступальним і не враховувати вплив пружності ланцюга:

$$v_l = v_0 \cos \varphi = \omega R \cos \varphi, \quad (2.5)$$

де φ - перемінний кут, який утворений радіусом O_1 і віссю Oy .

Таким чином, швидкість ланцюга змінюється за період повороту зірочки на центральний кут α , що відповідає одному кроку ланцюга t_L , згідно із законом косинусоїда при зміні кута φ від $-\alpha/2$ до $+\alpha/2$.

Швидкість і прискорення ланцюга для цих положень мають наступні значення:

положення 1

$$v_l = \omega R \cos \alpha/2; \alpha = \omega^2 R \sin(\alpha/2) = \alpha_{\max}, \quad (2.6)$$

положення 2

$$v_l = \omega R = v_{\max}; \alpha = 0, \quad (2.7)$$

положення 3

$$v_l = \omega R \cos \alpha/2; \alpha = -\omega^2 R \sin(\alpha/2) = -\alpha_{\max}. \quad (2.8)$$

Прискорення α ланцюга в цей же період змінюється по закону синусоїди:

$$\alpha = dv/dt = -\omega^2 R \sin \varphi. \quad (2.9)$$

Як впливає з діаграми швидкості і прискорення тягового ланцюга, в момент, коли зуб зірочки входить в зачеплення з ланцюговим шарніром, прискорення ланцюга в поздовжньому напрямку зростає на величину 2α . Це служить причиною виникнення в ланцюзі поздовжніх динамічних навантажень.

Крім того, в ті ж моменти входження в зачеплення зубів зірочки з шарнірами ланцюга в ній виникають поперечні динамічні навантаження внаслідок зіткнення під кутом $\alpha/2$ зубів зірочки з шарнірами ланцюгів.

Енергія удару пропорційна квадрату швидкості зуба (v_0^2), масі розташованого вздовж неї матеріалу і масі ланцюга. Маса ланцюга залежить від ряду факторів, у тому числі від сили натягу ланцюга в місці набігання на зірочку.

Повторювані з великою частотою багаторазові динамічні навантаження,

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

викликаючи динамічні напруження в ланках ланцюгів і зубах зірочок, можуть привести до їх деформації. Для забезпечення довговічної роботи транспортуючого робочого органу, діючі в ланцюзі динамічні сили не повинні перевищувати певного значення.

Максимально поздовжня динамічна сила:

$$P_{\max} = C_1(m_k + C_2m_r) \alpha_{\max}, \quad (2.10)$$

де C_1 і C_2 - коефіцієнти впливу мас частин які рухаються і вантажу;

α_{\max} - максимальне прискорення ланцюга транспортуючого органу, м/с^2 ;

m_k і m_r - маси частин транспортуючого робочого органу і вантажу який він переміщає, що рухається з прискоренням α_{\max} .

Максимальне поздовжнє прискорення ланцюга визначається рівнянням (2.6).

Підставивши в рівняння (2.6) $\omega = \pi n/30$; $n = 60v/(zt_L)$; $\sin(\alpha/2) = t_L/(2R)$, отримаємо:

$$\alpha_{\max} = 2\pi^2(v^2 t_L / (zt_L)^2), \quad (2.11)$$

де n - частота обертання зірочки, хв^{-1} ;

v - середня швидкість ланцюга, м/с ;

z - число зубів на зірочці;

t_L - крок ланцюга по зачепленню, м .

З рівняння (2.11) випливає, що найбільше прискорення ланцюга, а отже і найбільша поздовжня динамічна сила, при постійному діаметрі зірочки, пропорційна швидкості в другому ступені, а при постійних швидкості і діаметрі зірочки обернено пропорційна числу зубів на зірочці і прямо пропорційна кроку ланцюга. Тому, для досягнення більшої пропускної здатності транспортуючого робочого органу необхідно підвищити його швидкість, а для зниження дії динамічної сили слід застосувати коротколанковий ланцюг і зірочки з найбільшим числом зубів.

2.2.2 Обґрунтування нагрівальних елементів

Якість і швидкість теплової обробки зерна і насіння в значній мірі залежать від температури нагрівальної пластини. Для забезпечення заданої температури

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагрівальної пластини необхідно правильно підібрати нагрівальні елементи з урахуванням ефективного використання електричної енергії.

За конструкцією нагрівальні елементи виконують відкритими, закритими і герметичними. Найбільш досконалою формою герметичного нагрівального елемента є трубчастий електронагрівальний елемент.

Для виконання розрахунку трубчастого електронагрівального елемента необхідні наступні дані: споживана електрична потужність, напруга електричної мережі, умови роботи і робоча температура трубчастого електронагрівача.

Тепловий розрахунок трубчастого електронагрівального елемента заснований на визначенні робочої температури і питомого поверхневого теплового потоку або необхідної площі поверхні нагрівача при заданій потужності і умов теплообміну.

Температура тепловіддавальної поверхні електронагрівача визначається умовами нагрівального середовища.

Термічний опір залежить від умов теплообміну, форми, розмірів і конструктивного виконання нагрівального елемента. При складному теплообміні загальний термічний опір електрообігрівача визначають як суму окремих термічних опорів, послідовно переданих потоком теплоти.

Загальний термічний опір електрообігрівача:

$$R_T = R_{TO} + R_{TH}, \quad (2.12)$$

де R_{TO} і R_{TH} - термічний опір відповідно оболонки і наповнювача, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Термічні опори оболонки і наповнювача:

$$R_{TO} = \frac{1}{2\pi\lambda_O l_{OB}} \ln \frac{d_{OH}}{d_{OB}}, \quad (2.13)$$

$$R_{TH} = \frac{1}{2\pi\lambda_H l_{\alpha}} \ln \frac{d_{OB}}{d_{CHK_C}}, \quad (2.14)$$

де λ_O і λ_H - теплопровідність відповідно матеріалу оболонки і наповнювача при робочій температурі, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$;

l_{α} - довжина активної частини електронагрівача, м;

d_{OH} і d_{OB} - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри оболонки нагрівального елемента, м;

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d_{CH} - зовнішній діаметр нагрівального опору, м;

k_C - коефіцієнт, який враховує різницю умов теплообміну.

При підстановці рівнянь (2.13) і (2.14) в формулу (2.12) загальний термічний опір нагрівального елемента набуде вигляду:

$$R_T = \frac{1}{2\pi\lambda_{O}l_{OB}} \ln \frac{d_{OH}}{d_{OB}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{H}l_{\alpha}} \ln \frac{d_{OB}}{d_{CH}k_C}, \quad (2.15)$$

Електричний розрахунок трубчастого електронагрівача заснований на спільному рішенні рівнянь, що зв'язують його теплові і електричні параметри:

$$\Phi = \Phi_{Amp}A = \Phi_{Amp}\Pi, \quad (2.16)$$

$$N_{HE} = U_{\phi}^2/R = U_{\phi}^2S/(\rho_T l), \quad (2.17)$$

де Φ – тепловий потік електродвигуна, Вт;

Φ_{Amp} – поверхнева щільність теплового потоку нагрівального елемента, Вт/м²;

A – площа поверхні нагрівача м²;

l – довжина нагрівача, м;

U_{ϕ} – фазна напруга, В;

R – електричний опір, Ом;

S – площа перетину нагрівача, м²;

ρ_T – питомий електричний опір матеріалу електронагрівача, Ом·м.

Електричний розрахунок полягає у визначенні геометричних розмірів трубчастого нагрівального елемента, які забезпечують необхідну потужність і температуру його тепловіддаючої поверхні. У сталому режимі електрична потужність дорівнює тепловому потоку, що віддається з поверхні нагрівального елемента ($N=\Phi$). Використовуючи цю залежність, запишемо рівність:

$$\frac{N_{HE}}{\Phi_{Amp}\Pi} = \frac{U_{\phi}^2 S}{\Pi \rho_T}. \quad (2.18)$$

Для електронагрівача круглого перетину $\Pi = \pi d$ і $S = \pi d^2/4$. Підставивши ці рівняння в формулу (2.18), отримаємо формулу для розрахунку діаметру

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

електроконтактного нагрівального елемента:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho_T N_{HE}^2}{\pi^2 U_\Phi^2 \Phi_{Aпр}}}. \quad (2.19)$$

Підставивши рівняння $S = \pi d^2/4$ в формулу (2.17) і провівши необхідні математичні перетворення з урахуванням рівняння (2.19), отримаємо рівняння для визначення довжини електронагрівача круглого перетину:

$$l = \sqrt[3]{\frac{\pi N_{HE} U_\Phi^2}{4\rho_T \Phi_{Aпр}^2}}. \quad (2.20)$$

Таким чином, знаючи необхідні діаметр і довжину електронагрівача круглого перетину можна вибрати його тип з мінімальною потужністю, що забезпечують необхідні показники якості процесу теплової обробки.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальна методика експериментальних досліджень

Планування експерименту - процедура вибору числа і умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю.

Планування експерименту полягає у виборі такої стратегії виконання дослідів, яка дозволяє заздалегідь визначити схему покрокового проведення експерименту, включити в нього мінімальне число дослідів при одночасному варіюванні усіма факторами без зниження кількості і якості отриманої інформації.

На основі всебічного аналізу і вивчення статистичних методів планування експерименту та обробки отриманих даних [21, 22], можна зробити висновок, що завданням планування експерименту є отримання математичної моделі об'єкта дослідження у вигляді полінома (рівняння регресії).

Створена експериментальна установка дозволяє досліджувати процес теплової обробки зерна при зміні в широких межах основних режимних параметрів: середньої температури нагрівальної поверхні (40...200°C), часу знаходження зерна в установці (15...60 с), швидкості руху повітря в кожусі (0...10 м/с), а також температури повітря, що подається (20...70°C).

В якості критерію оптимізації доцільно вибирати параметр, який всебічно оцінює досліджуваний об'єкт, а також пов'язує всі діючі фактори в математичну модель [22]. В якості такого критерію при сушінні зерна приймемо показник питомих витрат енергії на 1 кг випаруваної вологи q_{vd} , кДж/кг.

На процес теплової обробки зернового матеріалу в розробленій установці впливає велика кількість різних факторів. Ці фактори можуть бути контрольованими і керованими; контрольованими, але некерованими; неконтрольований і некерованими. Дослідження сумарного впливу великої кількості факторів, що поєднуються в довільних співвідношеннях, часто призводить до неясних закономірностей і помилкових висновків [22]. У зв'язку з цим, всі фактори, які впливають на процес теплової обробки зерна в

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

запропонованій установці, розділимо на основні, що показують найбільший вплив на розвиток процесу, що несуть найбільшу інформацію, і додаткові, що мають другорядне значення.

До контрольованих і керованих факторів процесу теплової обробки зерна в пропонованій установці можна віднести: x_1 - середню температуру нагрівальної поверхні; x_2 - час знаходження зерна в установці; x_3 - швидкість руху повітря в установці; x_4 - температуру повітря, що подається в установку; x_5 - число скребків робочого органу; x_6 - крок скребків; x_7 - висоту скребків; x_8 - подачу зерна в установку; x_9 - форму поперечного перетину завантажувального бункера; x_{10} - розміри поперечного перерізу навантажувального бункера; x_{11} - форму поперечного перерізу вивантажного вікна; x_{12} - розміри поперечного перерізу вивантажного вікна; x_{13} - форму поперечного перерізу повітропроводу; x_{14} - розміри поперечного перерізу повітропроводу; x_{15} - витрата повітря; x_{16} - встановлену потужність нагрівальних елементів; x_{17} - встановлену потужність нагрівального елемента повітропроводу; x_{18} - встановлену потужність електродвигуна; x_{19} - встановлену потужність електродвигуна вентилятора.

Використовуючи метод формалізації апріорної інформації [21], а також з урахуванням вимог до факторів (керованість, однорідність і відсутність кореляції між ними) визначаємо ті з них, які надають найбільший вплив на процес теплової обробки зерна в розробленій установці. Таким чином, з усіх вище перерахованих факторів виділено чотири: $x_1(t_{гр,ср})$ - середня температура нагрівальної поверхні; $x_2(\tau)$ - час знаходження зерна в установці; $x_3(v_v)$ - швидкість руху повітря в установці; $x_4(t_4)$ - температура повітря, що подається в установку.

Діапазони варіювання факторів виявили на основі вивчення раніше виконаних досліджень по тепловій обробці зерна, пошукових дослідів, а також, виходячи з конструктивних особливостей досліджуваної установки.

Аналіз апріорної інформації [22] показує, що в якості функції, апроксимуючої експериментальні дані з вивчення процесу теплової обробки зерна, досить використовувати квадратичне рівняння регресії виду:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (3.1)$$

де y - параметр оптимізації;

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

x_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) - кодовані значення факторів;

b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти рівняння регресії.

Для отримання більш точних і достовірних даних проводили повнофакторний експеримент. Надійність дослідів оцінювали за рекомендаціями попередніх досліджень [21, 22].

Результати експериментальних досліджень обробляли із застосуванням методів математичної статистики за допомогою комп'ютерних програм «Excel», «STATISTICA 6.1» і «Derive 5». При цьому особливу увагу звертали на критерії, що підтверджують достовірність і значимість результатів дослідів, а також адекватність отриманих математичних моделей.

3.2 Методика дослідження установки при сушінні зерна

Визначення меж варіювання основних незалежних факторів процесу сушіння зерна в розробленій установці виконували на підставі раніше проведених досліджень, результатів пошукових експериментів, а так, виходячи з конструктивних міркувань.

Нами прийнято такі межі варіювання незалежних факторів: середня температура нагрівальної поверхні - 40...90°C, час перебування зерна в установці - 20...55 с, швидкість руху повітря - 0...6 м/с, температура повітря - 20...50°C.

Лабораторні дослідження розробленої установки при сушінні зерна проводили в такій послідовності. Попередньо готували кілька порцій зерна вівса сорту «Конкур» масою 1 кг. Масу зерна визначали на електронних вагах ПВ-6 з похибкою вимірювання маси до 3 кг - 1 г, від 3 до 6 кг - 2 г.

Потім включали установку і налаштовували її параметри відповідно до необхідного режиму роботи. Визначали середню температуру нагрівальної поверхні, час знаходження зерна в установці, швидкість руху повітря і температуру повітря.

Час руху зерна в установці визначали в залежності від частоти обертання валу електродвигуна по тарувальному графіку (рис. Б.1. додаток Б).

При побудові графіка задавали певні значення частоти обертання валу

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

електродвигуна, для яких визначали час знаходження зерна в установці.

Для визначення часу знаходження зерна в установці при тепловій обробці в порцію зерна поміщали забарвлене зерно і реєстрували час проходження його від завантажувального бункера до вивантажувального вікна за допомогою секундоміра (рис. 3.1).

Рисунок 3.1 - Секундомір електронний

Дослід повторювали три рази і визначали середню арифметичну величину.

Частоту обертання валу електродвигуна визначали за допомогою цифрового тахометра з похибкою $\pm 0,05\%$ і діапазоном вимірювання від 2,5 до 9999 хв^{-1} (рис. Б.2. додаток Б), попередньо приклеївши на зовнішню поверхню шківів електродвигуна світло-відбиваючу смужку розміром 10x10 мм.

На світло-відбиваючу смужку направляли лазерний промінь приладу і зчитували показання з дисплея. Після проведеної обробки заміряли температуру розвантаженого з пристрою зерна.

Швидкість руху повітря, що подається в установку, налаштовували і контролювали за допомогою термоанемометра з похибкою $\pm 0,2$ м/с в діапазоні вимірювання швидкості повітря 0,2...20 м/с і похибкою $0,1^\circ\text{C}$ (рис. Б.3. додаток Б).

Для цього включали термоанемометр, поміщали його термістор в область вимірювання, попередньо обравши розмірність вимірюваної величини в м/с.

Після настройки роботи пристрою на необхідний режим засипали

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попередньо підготовлені порції зерна в завантажувальний бункер і заміряли потужність, споживану нагрівальними елементами кожної з ділянок, що гріє поверхні, потужність, споживану електродвигуном на привід скребкового робочого органу, потужність, споживану вентилятором, а також потужність, споживану електрокалорифером на нагрівання повітря.

Потім, з метою запобігання перегріву оброблюваного зерна, заміряли його температуру після закінчення теплової обробки інфрачервоним термометром з похибкою вимірювання в діапазоні температур від -20 до $50^{\circ}\text{C} \pm 2,5\%$, а від 51 до $537^{\circ}\text{C} \pm 1,0\%$ (рис. Б.4. додаток Б).

Температура зерна на виході з установки не повинна перевищувати 40°C для насіння і 60°C для продовольчого зерна.

Після охолодження висушеного зерна до температури навколишнього середовища вимірювали його вологість з триразовою повторністю.

Досліди проводили в кожній точці плану експерименту з триразовою повторністю. Отримані в ході експерименту дані використовували для підрахунку значень критерію оптимізації.

3.3 Методика обробки результатів основного експерименту

В результаті експерименту, проведеного відповідно до плану, необхідні дані для складання математичної моделі процесу, що протікає в установці для теплової обробки зернового матеріалу.

Критерій оптимізації при сушінні зерна обчислюють в наступній послідовності.

Визначали загальну споживану потужність, Вт, в процесі теплової обробки зерна, включаючи потужність, витрачену на нагрівання пластини в установці:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + N_{ed} + N_k + N_e + N_{нагр} , \quad (3.2)$$

де N_1 , N_2 – потужність, яка споживається першою і другою дільницею поверхні установки, яка нагрівається відповідно, Вт;

N_{ed} – потужність, яку споживає електродвигун, Вт;

N_k – потужність калорифера, Вт;

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

N_v – потужність вентилятора, Вт;

$N_{нагр}$ – потужність, яка витрачається на прогрів поверхні установки, яка гріється.

Далі визначаємо масу води, яка випаровується, кг:

$$\Delta m = m_z(\omega_n - \omega_k)/(100 - \omega_k), \quad (3.3)$$

де m_z – маса зерна, кг;

ω_n – початкова вологість зерна, %;

ω_k – кінцева вологість зерна, %.

Питомі витрати теплоти на 1 кг води, яка випарувалась, кДж/кг:

$$q_n = N_{\Sigma T}/(100 \Delta m), \quad (3.4)$$

де τ – час знаходження зерна в установці, с.

Так як при виконанні паралельних дослідів відбувається відхилення параметра оптимізації від середнього значення, необхідно оцінити помилку відтворюваності по паралельним дослідом. Для цього визначали дисперсію відтворюваності за даними n паралельних спостережень за формулою:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2, \quad (3.5)$$

де n – число паралельних дослідів в експерименті;

y_i – значення параметрів оптимізації в i -тій точці;

\bar{y}_i – середнє арифметичне значення параметра оптимізації в n паралельних дослідом і точці i .

Середнє арифметичне значення параметра оптимізації

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (3.6)$$

Однорідність дисперсії перевіряли за допомогою критерію Кохрена:

$$G_p = \frac{s_{max}^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2}, \quad (3.7)$$

де G_p – розрахункове значення критерію Кохрена;

s_{max}^2 – найбільша із порівнювальних дисперсій;

$\sum_{i=1}^N s_i^2$ – сума всіх дисперсій;

N – загальне число точок плану експерименту.

Відтворюваність результатів вимірювань оцінювали за допомогою порівняння розрахункового значення критерію Кохрена G_p з табличним C_T . Досліди

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

вважали відтвореними при дотриманні умови $G_p \leq C_T$.

Для кожного рівняння регресії визначали кореляційне відношення:

$$R = \sqrt{\frac{\sum(y-\bar{y})^2 - \sum(y-\bar{y}_x)^2}{\sum(y-\bar{y})^2}}, \quad (3.8)$$

де $\sum(y - \bar{y})^2$ – сума квадратів відхилення індивідуальних значень y від загальної середньоарифметичної \bar{y} ;

$\sum(y - \bar{y}_x)^2$ – сума квадратів відхилень варіантів від середніх \bar{y}_x , які відповідають визначеним фіксованим значенням незалежної перемінної x .

Коефіцієнти рівнянь регресії розраховували за отриманими даним за допомогою комп'ютерної програми STATISTICA 6.1 [23].

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли по t - критерієм Стьюдента:

$$t_j = \frac{b_j}{s\{b_j\}}, \quad (3.9)$$

де $\{b_j\}$ – розраховані коефіцієнти рівнянь регресій;

$s\{b_j\}$ – середнє квадратичне відхилення дисперсії коефіцієнтів регресії.

Дисперсію коефіцієнтів регресії визначали по формулі:

$$s^2\{b_j\} = \frac{s^2\{y\}}{Nn}, \quad (3.10)$$

де $s^2\{y\}$ – дисперсія параметра оптимізації.

Дисперсія параметра оптимізації:

$$s^2\{y\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i^2. \quad (3.11)$$

Середньоквадратичне відхилення дисперсії коефіцієнтів регресії визначали:

$$s\{b_j\} = \sqrt{s^2\{b_j\}}. \quad (3.12)$$

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли при рівні значущості $\alpha = 5\%$. Для цього розрахункове значення критерію Стьюдента порівнювали з табличним. Коефіцієнт регресії визнавали значущим при виконанні умови $t_j > t_{кр}$.

Статистичну значимість отриманої моделі перевіряли по F - критерієм Фішера, який обчислюється за формулою:

$$F_p = \frac{(\sum(\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2 / m)}{(\sum(y_i - \hat{y}_i)^2 / (N - m - 1))}, \quad (3.13)$$

де $\sum(\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2 / m$ – пояснена дисперсія, тобто є частина дисперсії параметру оптимізації, яка пояснена перевіряємим рівнянням регресії;

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$\sum(y_i - \hat{y}_i)^2 / (N - m - 1)$ – остаточна дисперсія, тобто є частина дисперсії параметра оптимізації, яка не пояснена перевіряємим рівнянням регресії;

m – число перемінних в рівнянні регресії;

y_i – значення параметра оптимізації в i -тій точці;

\bar{y}_i – середнє арифметичне значення параметра оптимізації в n паралельних дослідах і точці i ;

\hat{y}_i – математичне очікуване параметра оптимізації, підраховане по рівнянню регресії.

Для здійснення перевірки статистичної значущості рівняння регресії формулювали нульову гіпотезу про відсутність зв'язку між перемінними (всі коефіцієнти при змінних дорівнюють нулю) і вибирали рівень значущості $\alpha = 0,05$. Для обраного рівня значимості з розподілу Фішера визначали табличне значення F_m , ймовірність перевищення якого в вибірці потужністю N , отриманої з генеральної сукупності без зв'язку між змінними, не перевищує рівня значущості, тобто 5%. Далі F_m порівнювали з F_p .

Якщо виконувалася умова $F_p > F_m$, то помилкове виявлення зв'язку зі значенням F - критерію рівним або більшим F_p по вибірці з генеральної сукупності з непов'язаними між собою змінними відбувалося з вірогідністю меншою, ніж рівень значимості. Відповідно до правила «дуже рідкісних подій не буває» дійшли висновку, що встановлений за вибіркою зв'язок між змінними є і в генеральній сукупності, з якої вона отримана. Тому перевіряємо рівняння регресії статистично значимо.

Додаткову перевірку статистичної значимості регресійної моделі проводили по альтернативній методиці на основі досягнутого рівня значущості p , рекомендованої нормативними документами. Якщо виконувалась умова $p < \alpha$, нульову гіпотезу про відсутність зв'язку між змінними відкидали, і перевіряюче рівняння регресії визнавали статистично значимим на рівні довіри $1 - \alpha$.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Обґрунтування температури нагрівальної поверхні

Для обґрунтування розподілу температури по товщині нагрівальної пластини необхідно розрахувати диференціальне рівняння теплопровідності, яке характеризує протікання фізичного явища в будь-якій точці тіла в будь-який момент часу.

Припустимо, що є одномірне температурне поле і теплота поширюється в одному напрямку, наприклад, в напрямку осі x . Виділимо в однорідній пластині елементарний паралелепіпед, об'єм якого дорівнює $qxdydz$.

Кількість теплоти, що втікає через ліву грань $dydz$ в паралелепіпед в одиницю часу, рівна (Дж·м²), а кількість теплоти, яка витікає через протилежну грань в одиницю часу $q_{x+dx}dydz$.

Елементарний паралелепіпед буде нагріватися за умови, що різниця між цими потоками теплоти згідно із законом збереження енергії дорівнює теплоті, що акумулюється даним елементарним паралелепіпедом, тобто справедливе рівняння:

$$q_x dydz - q_{x+dx} dydz = c\gamma(\partial t/\partial \tau) dx dy dz, \quad (4.1)$$

де c - питома теплоємність тіла, Дж/(кг·°С);

γ - щільність тіла, кг/м³.

Величина це невідома функція x . Розкладемо її в ряд Тейлора і обмежимося двома першими членами ряду, тоді отримаємо:

$$q_{x+dx} \approx q_x + (\partial q_x/\partial \tau x) dx. \quad (4.2)$$

або

З урахуванням (4.2) рівняння (4.1) набуде вигляду:

$$-(\partial q_x/\partial \tau x) dx dy dz = c\gamma(\partial t/\partial \tau) dx dy dz. \quad (4.3)$$

Застосовуючи рівняння теплопровідності, отримаємо:

$$c\gamma(\partial t/\partial \tau) = \lambda(\partial^2 t/\partial x^2) \quad (4.4)$$

Або

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$(\partial t / \partial \tau) = \alpha (\partial^2 t / \partial x^2) \quad (4.5)$$

де $\alpha = \lambda / (c\gamma)$ – коефіцієнт температуропровідності, м²/с;

λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С).

Рівняння (4.5) є диференціальне рівняння теплопровідності для одновимірного потоку теплоти.

В результаті теплової обробки в запропонованій установці відбувається випаровування вологи всередині матеріалу при нагріванні. Нехай питома потужність джерела теплоти буде дорівнює ω , Вт/м³. Тоді кількість теплоти, що виділяється в елементарному обсязі в одиницю часу, дорівнюватиме $\omega dx dy dz$. Віднімемо цю кількість теплоти з акумульованої теплоти і після перетворень отримаємо [18]:

$$\partial t / \partial \tau = \alpha \nabla^2 t + \omega / (c\gamma), \quad (4.6)$$

де $\nabla^2 = (\partial^2 / \partial x^2) + (\partial^2 / \partial y^2) + (\partial^2 / \partial z^2)$ – оператор Лапласа.

Рівняння (4.6) - диференціальне рівняння теплопровідності з джерелом теплоти.

Розподіл температури повинен бути симетричним щодо осі ординат, отже, розподіл описує парна функція. Такою функцією є $\cos kx$. А $\sin kx$ є непарна функція x , і вона повинна бути опущена з рішення.

Для виконання другої граничної умови приймаємо $t_c = 0$.

Отримаємо рівняння:

$$t(l, \tau) = D \cos kx e^{-ak^2 \tau} = 0. \quad (4.7)$$

Із рівняння (4.7) слідує:

$$\begin{aligned} \cos kl = 0, kl &= \frac{1}{2}\pi; \frac{3}{2}\pi; \frac{5}{2}\pi; \\ k_n l &= (2m - 1)\frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (4.8)$$

де k_n - часткове значення постійної.

Таким чином, k має безліч значень. Отже, спільне рішення буде сумою всіх приватних рішень:

$$t(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cos(2n - 1) \frac{\pi x}{2} \exp[-(2n - 1)^2] \frac{\pi^2 \alpha \tau}{2 l^2}. \quad (4.9)$$

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Згідно з наведеними припущеннями, необхідно щоб функція відповідала умовам Діріхле:

- 1) в певному інтервалі функція повинна бути однозначною, кінцевою і інтегрованою;
- 2) функція повинна мати кінцеве число максимумів і мінімумів;
- 3) функція повинна мати кінцеве число точок розриву безперервності.

Таким чином, загальне рішення (4.9) даної задачі матиме вигляд:

$$t(x, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \cos \mu_n \frac{x}{l} e^{-k^2 n \frac{\alpha \tau}{l^2}} \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \cos \mu_n \frac{x}{l} dx. \quad (4.10)$$

де $\mu_n = k_n R = (2n-1)\pi/2$

Якщо функція непарна, то аналогічним шляхом отримаємо рішення:

$$t(x, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \mu_n \frac{x}{l} \exp \left(-k^2 n \frac{\alpha \tau}{l^2} \right) \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \sin \mu_n \frac{x}{l} dx, \quad (4.11)$$

де $\mu_n = n\pi$.

Рішення (4.10) є рішенням задачі зміни температури нагрівальної пластини за умови $0 < x < l$. У початковий момент часу задано розподіл температури у вигляді довільної функції $f(x)$, що задовольняє умовам Діріхле.

Якщо початковий розподіл температури рівномірний, тобто, $t(x, 0) = t_0 = const$, то можна інтеграл (4.10) записати у вигляді:

$$\frac{2}{l} \int_0^l t_0 \mu_n \frac{x}{l} d \frac{2t_0}{l} \sin \mu_n \frac{x}{l} \Big|_0^l \frac{l}{\mu_n} = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n} t_0 = \frac{2t_0}{\mu_n} (-1)^{n+1}. \quad (4.12)$$

Так як, $\sin \mu_n = \sin(2n-1)\frac{\tau}{2} = \pm 1$, то синус послідовно приймає значення +1 або -1 залежно від величини аргументу (для парних n синус дорівнює -1, для непарних він дорівнює +1).

Отже, розподіл температури по нагрівальній пластині визначає рівняння:

$$\frac{l(x, \tau)}{t_0} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n} (-1)^{n+1} \cos \mu_n \frac{x}{l} \exp \left(-\mu_n^2 \frac{\alpha \tau}{l^2} \right). \quad (4.13)$$

Таким чином, знаючи закономірності розподілу температури по нагрівальній поверхні можна досягти, регулюючи режимні параметри, заданого прогріву оброблюваного матеріалу, тим самим підвищуючи якість теплової обробки в розробленій установці.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Результати дослідження установки при сушінні зерна

Дослідження установки при сушінні зерна проводили на зерні вівса. Результати лабораторних досліджень процесу сушіння зерна представлені в додатку В.

У процесі дослідження оцінювали якість насіння по схожості і енергії проростання в лабораторії.

Проведені дослідження показують, що при контактному способі підведення теплоти відбувається часткове дифундирування виділяємих парів назад в зерно, і зниження вологості зерна досягає 2%. При подачі повітря в робочу камеру установки і зі збільшенням швидкості його руху спостерігалось збільшення разового вологознімання до 2,5% за рахунок більш повного видалення водяної пари, що утворилася. При збільшенні температури повітря, що подається відбувалося підвищення температури нагріву зерна, і як наслідок, збільшення разового вологознімання до 3% і вище. Однак при збільшенні температури подаваного в установку повітря понад 50°C і часу сушки більше 90 с, температура нагріву зерна перевищує 40°C, що неприпустимо для зерна насінневого призначення. Також при збільшенні температури повітря вище 50°C збільшуються питомі витрати енергії на випаровування з нього вологи, так як більша частина потужності при роботі установки витрачається саме на нагрівання повітря, що подається в робочу камеру.

Отримані результати лабораторних досліджень процесу сушіння зерна були перевірені на відтворюваність за критерієм Кохрена. Розрахункове значення критерію Кохрена $G_p=0,023$. Табличне значення критерію Кохрена при довірчій ймовірності 0,95 і числі ступенів свободи чисельника $\nu_1 = n-1 = 3-1 = 2$ і знаменника $\nu_2 = N-1 = 312-1 = 311$, де N - число точок плану експерименту; n - число повторень досвіду в кожній точці плану експерименту, рівне 0,025. Нерівність підтверджує відтворюваність результатів вимірювань.

Обробку результатів лабораторних досліджень проводили за допомогою програми STATISTICA 6.1.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Після обробки результатів проведених експериментів було отримано рівняння регресії в натуральних значеннях факторів, яке характеризує вплив обраних незалежних факторів на критерій оптимізації:

$$q_{y\delta} = 3726,127 + 18,25t_{cp} + 0,24\tau - 442,28v_e - 31t_e - 0,27 t_{cp} \cdot t_e + 3,86\tau v_e + 0,64\tau t_e + 10,29 v_e t_e + 2 v_e^2 + 0,22 t_e^2, \quad (4.14)$$

де $q_{y\delta}$ - питомі витрати енергії, кДж/кг вологи;

t_{cp} - середня температура нагрівальної поверхні, °С;

τ - час знаходження зерна в установці, с;

v_e - швидкість повітря, м/с;

t_e - температура повітря, °С.

Рівняння (4.14) являє собою неповне квадратичне рівняння, що описує процес сушіння зерна в пропонованій установці, так як коефіцієнти регресії статистично незначущі при рівні значущості $p = 0,05$. Кореляційне відношення $r = 0,98$, а коефіцієнт детермінації $r^2 = 0,96$, тому дане рівняння пояснює 96% варіації залежної змінної.

З метою визначення впливу кожного незалежного фактору на критерій оптимізації процесу сушіння зерна, був проведений аналіз за допомогою модуля «Фіксована нелінійна регресія» програми STATISTICA 6.1.

Після обробки результатів проведених експериментів отримано рівняння регресії в натуральних значеннях факторів, що характеризує вплив швидкості повітря, що подається в кожух установки і його температури на питомі витрати енергії:

$$q_{y\delta} = 4100,73 - 287,88 v_e - 10,8 t_e + 2 v_e^2 + 10,28 v_e t_e + 0,22 t_e^2. \quad (4.15)$$

Рівняння (4.15) в кодованих значеннях факторів приймає наступний вигляд:

$$Y = 4017,97 + 587,24x_3 + 332,08 x_4 + 216,27x_3^2 + 463,01x_3x_4 + 49,82x_4^2, \quad (4.16)$$

де Y - питомі затрати енергії, кДж/кг вологи;

x_3 - швидкість повітря;

x_4 - температура повітря.

Аналіз рівнянь (4.15) і (4.16) показує, що найбільший вплив на питомі

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрати енергії серед лінійних і нелінійних членів надає швидкість повітря, причому її збільшення призводить до збільшення параметра оптимізації. Найменший вплив, серед лінійних і нелінійних членів, надає температура повітря, причому при її збільшенні значення Y збільшується.

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії швидкості повітря, його температури і їх спільного впливу на критерій оптимізації представлено на рис. 4.1.

Дана поверхня має увігнуту форму, в центрі якої знаходиться локальний мінімум питомих витрат енергії на процес сушіння.

Рівняння регресії в натуральних значеннях факторів, що характеризує вплив середньої температури нагрівальної поверхні і швидкості руху повітря на питомі витрати енергії має такий вигляд:

$$q_{y\delta} = 3648,93 + 4,52t_{cp} + 12,4 v_{\delta} - 0,03 t_{cp}^2 - 0,47t_{cp}v_{\delta} + 32,35 v_{\delta}^2. \quad (4.17)$$

Рівняння (4.17) в кодованих значеннях факторів:

$$Y = 4046,46 - 23,93x_1 + 527,34 x_3 - 19,59x_1^2 - 35,04x_1x_3 + 291,14x_3^2, \quad (4.18)$$

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії середньої температури нагрівальної поверхні, швидкості повітря та їх спільного впливу на питомі витрати енергії представлено на рис Г.1 додатка Г.

Рисунок 4.1 - Поверхня відгуку характеризує вплив v_{δ} і t_{δ} на критерій оптимізації $q_{y\delta}$

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз коефіцієнтів рівнянь (4.17) і (4.18) показує, що найбільший вплив на параметр оптимізації з лінійних членів надає швидкість повітря, причому з її збільшенням питомі витрати енергії на процес сушіння збільшуються. Найменший вплив надає середня температура нагрівальної поверхні, збільшення якої призводить до зменшення питомих витрат енергії. Серед нелінійних членів найбільший вплив також надає швидкість руху повітря, причому її збільшення сприяє збільшенню питомих витрат енергії. Найменший вплив надає середня температура нагрівальної поверхні і при її збільшенні значення параметра оптимізації знижується.

Рівняння регресії в натуральних і кодованих значеннях факторів, що характеризують вплив середньої температури нагрівальної поверхні і часу перебування зерна в установці на питомі витрати енергії відповідно:

$$q_{y\partial} = 3070,23 + 8,71t_{cp.cp.} + 36,28\tau - 0,03 t_{cp.cp.}^2 - 0,16t_{cp.cp.}\tau - 0,11\tau^2. \quad (4.19)$$

$$Y = 4321,88 - 33,01x_1 + 309,04 x_2 - 19,6x_2^2 - 69,55x_1x_2 - 33,83x_2^2, \quad (4.20)$$

де x_2 - час знаходження зерна в установці.

Аналіз рівнянь (4.19) і (4.20) показує, що найбільший вплив на величину питомих витрат енергії серед лінійних членів надає час знаходження зерна в установці, причому з його збільшенням значення параметра оптимізації також збільшується. Найменший вплив на критерій оптимізації серед лінійних і нелінійних членів надає середня температура нагрівальної поверхні, причому при її збільшенні значення питомих витрат енергії зменшується. Найбільший вплив на величину питомих витрат енергії серед нелінійних членів надає також час знаходження зерна в установці, причому з його збільшенням параметр оптимізації також зменшується.

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії середньої температури нагрівальної поверхні, часу знаходження зерна в установці і їх спільного впливу на питомі витрати енергії представлено на рис. Г.2 додатка Г.

Рівняння регресії в натуральних і кодованих значеннях факторів, що характеризують вплив часу знаходження зерна в установці і швидкості повітря на питомі витрати енергії, відповідно:

$$q_{y\partial} = 33641 + 8,88\tau - 190,46v_e - 0,11\tau^2 + 4,62\tau v_e + 32,35 v_e^2. \quad (4.21)$$

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Y = 4058,36 + 253,05 x_2 + 530,8x_3 - 33,83 x_2^2 + 242,6x_2x_3 + 291,14 x_3^2. \quad (4.22)$$

Аналіз рівнянь (4.21) і (4.22) показує, що найбільший вплив на питомі витрати енергії серед лінійних і нелінійних членів надає швидкість повітря, причому з її збільшенням параметр оптимізації також збільшується. Найменший вплив серед лінійних членів надає поєднання часу руху зерна та швидкості повітря, а серед нелінійних - квадрат часу знаходження зерна в установці, причому при збільшенні його значення критерій оптимізації зменшується.

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії часу знаходження зерна в установці, швидкості повітря та їх спільного впливу на питомі витрати енергії представлено на рис. Г.3 додатка Г.

Рівняння регресії в натуральних і кодованих значеннях факторів, що характеризують вплив часу знаходження зерна в установці і температури повітря на питомі витрати енергії, відповідно і має такий вигляд:

$$q_{\text{в}} = 3573,64 - 0,086\tau - 9,77t_e - 0,11 \tau^2 + 0,77\tau t_e + 0,19 t_e^2. \quad (4.23)$$

$$Y = 4324,48 + 324,57 x_2 + 493,58x_4 - 33,83 x_2^2 + 201,89x_2x_4 + 44,49 x_4^2. \quad (4.24)$$

Аналіз рівнянь (4.23) і (4.24) показує, що найбільший вплив на критерій оптимізації серед лінійних надає температура повітря, причому з її збільшенням величина параметра оптимізації також збільшується. Найменша вплив серед лінійних членів надає поєднання часу знаходження зерна в установці і температури повітря, причому при збільшенні цього поєднання значення у збільшується. Найбільший вплив серед нелінійних членів на питомі витрати енергії також надає температура повітря, підвищення якої призводить до збільшення параметра оптимізації. Найменша вплив на величину у серед нелінійних членів надає час знаходження зерна в установці, причому його збільшення призводить до зниження критерію оптимізації.

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії часу знаходження зерна в установці, температури повітря і їх спільного впливу на питомі витрати енергії представлено на рис. Г.4 додатка Г.

Рівняння регресії в натуральних і кодованих значеннях факторів, що характеризують вплив середньої температури нагрівальної поверхні і температури подаваного в кожух установки повітря на питомі витрати енергії, відповідно:

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$q_{yd} = 2766,15 + 11,93t_{cp,cp} + 36,41t_v - 0,0314t_{cp,cp}^2 - 0,227t_{cp,cp}t_v + 0,204t_v^2 \quad (4.25)$$

$$Y = 4311,55 - 39,80x_1 + 490,7x_4 - 19,60x_1^2 - 101,17x_1x_4 + 44,49x_4^2 \quad (4.26)$$

Аналіз рівнянь (4.25) і (4.26) показує, що серед лінійних членів найменший вплив на критерій оптимізації надає середня температура нагрівальної поверхні, причому при її збільшенні значення критерію оптимізації зменшується. Найбільший вплив на питомі витрати енергії надає температура повітря, причому при її збільшенні критерій оптимізації збільшується. З нелінійних членів рівняння найменший вплив також надає середня температура нагрівальної поверхні, причому з її збільшенням питомі витрати енергії зменшуються. Найбільший вплив на критерій оптимізації надає температура повітря, причому її збільшення призводить до збільшення питомих витрат енергії на процес сушіння зерна.

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії середньої температури нагрівальної поверхні, температури повітря, що подається в установку і їх спільного впливу на питомі витрати енергії представлено на рис. Г.5 додатка Г.

Таким чином, в результаті аналізу отриманих рівнянь регресії встановлено, що на критерій оптимізації найбільше впливу, з обраних незалежних факторів, надає швидкість повітря і температур його нагрівання. Це пов'язано з тим, що при тепловій обробці зерна в розробленій установці енергія витрачається на нагрів нагрівальної поверхні до заданого значення, а при сталому режимі на підтримку необхідної температури блоком автоматичного регулювання температурним режимом. При цьому мінімальна потужність, що витрачається становить 439 Вт. При подачі нагрітого повітря в робочу камеру установки сумарна потужність необхідна на привід вентилятора і нагрівальні елементи складають 1,5 кВт, причому енергія витрачається протягом всього процесу теплової обробки. Тому швидкість повітря і температура його нагрівання мають найбільший вплив на питомі витрати енергії.

Для кожної з отриманих математичних моделей було визначено кореляційне відношення і виконана за наведеним раніше алгоритму перевірка значущості коефіцієнтів регресії, а також адекватності моделей.

Отримані результати наведені в таблиці 4.1

Аналіз розрахункових значень критеріїв і порівняння їх з табличними даними

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показали достовірність проведених експериментів, точність розрахунків, а також статистичну значущість отриманих математичних моделей процесу сушіння зерна.

Таблиця 4.1 - Результати перевірки рівнянь регресії

№ рівняння	Найменування критерію	
	R	F_p
3,35	0,97	481,3
3,37	0,91	218,7
3,39	0,92	301,5
3,41	0,95	337,7
3,43	0,92	299,6
3,45	0,96	415,8

Висновки за результатами експериментальних досліджень

1. В результаті аналізу теоретичних досліджень процесу теплової обробки зерна з безлічі незалежних факторів виділені основні: середня температура нагрівальної поверхні $t_{sp,sp}$, час знаходження зерна в установці τ , швидкість руху повітря в установці v_v , температура повітря t_v , що подається в установку.

2. В результаті пошукових дослідів визначено межі області експерименту по кожному з незалежних факторів і призначені рівні їх варіювання.

3. Лабораторні дослідження процесів сушіння і термічного знезараження зерна дозволили отримати статистично значущі математичні моделі, які з достатнім ступенем точності описують вплив кожного з обраних незалежних факторів і їх поєднань на параметр оптимізації. В якості критерію оптимізації прийняті питомі витрати енергії на випаровування 1 кг вологи з зерна, $\text{кДж/кг}_{\text{вологи}}$.

4. В результаті аналізу математичних моделей процесу сушіння зерна, виявлені оптимальні значення незалежних факторів, при яких питомі витрати енергії на випаровування вологи з зерна q_{vd} становлять $3873,3 \text{ кДж/кг}_{\text{вологи}}$: середня температура нагрівальної поверхні $t_{sp,sp} = 69^\circ\text{C}$, час перебування зерна в установці $\tau = 40 \text{ с}$, швидкість руху повітря $v_v = 1,33 \text{ м/с}$, температура повітря $t_v = 23,8^\circ\text{C}$. Пропускна здатність установки при цьому становить 400 кг/год .

6. Оптимальним режимом термічного знезараження зерна вівса при мінімальних питомих витратах енергії $4,1 \text{ кВт год/т}$ зернового матеріалу є наступний: середня температура нагрівальної поверхні $t_{om} = 80^\circ\text{C}$, час руху зерна 180 с .

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза являє собою врегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень, на їх відповідність правилам і вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування в цілях попередження можливих негативних наслідків для навколишнього середовища.

Цілі екологічної експертизи [25]:

- забезпечення наукового визначення відповідності проектних рішень сучасним екологічним вимогам перед їх затвердженням в компетентних державних органах;

- попередження можливого негативного втручання на екосистему функціонуючих і проектних об'єктів в процесі її реалізації.

Екологічна експертиза буває державною, громадською, а також інших видів. Вона є обов'язковою умовою законодавчої роботи господарства і іншої діяльності, яка впливає на стан навколишнього середовища. В останні роки відбуваються негативні зміни навколишнього середовища, тому у 1991 році 25 червня був прийнятий Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», а 9 лютого 1995 року був прийнятий Закон України «Про екологічну експертизу». Зазначені закони визначає правові, екологічні і соціальні основи організації охорони навколишнього середовища, вимоги до проведення екологічної експертизи [25].

Еколого-експертний процес складається з трьох основних етапів [25]:

- підготовчого, або перевірки необхідних даних, представлених проектних матеріалів і їх відповідності до законодавства;

- основного, або аналітичної обробки даних по об'єктах експертизи;

- заключного, або підведення результату і оцінці даних і складання акта.

Спрямована екологічна експертиза на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам та вимогам законодавства про

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Завдання екологічної експертизи полягають у регулюванні суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання та відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян держави.

Мета екологічної експертизи – запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на природне середовище та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Технологія сільськогосподарського виробництва має базуватися на екологічно-обґрунтованих раціональних нормах [25].

Відповідно до теми роботи об'єктом забруднення навколишнього середовища є установка для теплової обробки зерна. Тому, в роботі проводиться комплекс заходів по захисту довкілля від негативного впливу установки.

Робота установки впливає на стан оточуючого середовища, тому ми пропонуємо деякі заходи по попередженню забруднення навколишнього середовища.

В підприємстві джерелом виходу пилу в атмосферу є обладнання, що встановлене в складі для зберігання зерна.

За санітарними нормами СН 2.45-71, а також ГОСТ 12.1. 005-76 для робочих зон виробничих приміщень встановлені гранично-допустимі концентрації пилу: зерновий - 4 мг/м³.

В зв'язку з цим для забезпечення чистоти повітря, крім діючої вентиляції у приміщенні, пропонуємо встановити пристрій для очищення повітря від пилу. Для видалення пилу пропонуємо до загальної системи вентиляції додати циліндричний циклон ЦН-15, який очищує повітря.

Пропонуємо застосовувати місцеву вентиляцію з очищенням повітря у сопловому вихровому пиловловлювачі. Він добре очищає повітря від дрібнодисперсних частинок, розміром менше 3 мкм. Джерелом забруднення ґрунту і

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

грунтових вод є санвузол, викиди забруднюючих рідин проводяться у каналізацію.

Допустима концентрація пилу при викиді повітря в атмосферу після очистки в циліндричній установках визначається розрахунком розсіювання повітря. Одне з основних завдань, що вирішуються за допомогою вентиляційних та циліндричних установок - забезпечення чистоти повітря при запиленості, що не перевищує межі ГДК. Чистоту повітря в робочих приміщеннях (при запиленості) можна забезпечити циліндричними установками за допомогою ефективною вентиляції всього устаткування, в якому утворюється пил. Чистоту повітря, що викидається в атмосферу, можна забезпечити в тому числі застосуванням вискоелективних пиловловлювачів (бажано фільтрів).

Запропоновані заходи забезпечать мінімальний вплив на екологічну систему при тепловій обробці зерна.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому покращенню умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Умови праці - це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва [26].

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва - важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

5.2.2 Вимоги безпеки при роботі на зерноочисних агрегатах

1. До роботи оператором зерноочисних машин допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд, навчання і мають не нижче другої групи допуску по електробезпеці та пройшли інструктаж по охороні праці на робочому місці.

2. Оператор повинен знати, де знаходяться засоби пожежогасіння і вміти користуватися ними.

3. Перед допуском до самостійної роботи працівник на протязі 2-5 днів проходить стажування під керівництвом досвідченого оператора. Допуск до самостійної роботи оформляється завідуючим током чи бригадиром в журналі інструктажу по техніці безпеки.

4. Слід дотримуватись внутрішнього трудового розпорядку. Не допускається: присутність в робочій зоні сторонніх, куріння, робота в нетверезому стані.

Оператор повинен виконувати тільки ту роботу, по якій пройшов інструктаж і на виконання якої отримав наряд. Не можна передоручати виконання своєї роботи іншим.

5. Основні небезпечні фактори: можливість потонути в зерні, поява вуглекислого газу в бункерах, прямках норій, особливо при заповненні їх вологим зерном; можливість бути засипаним зерном в завальній ямі.

6. Бункери, прямки норій повинні закриватись суцільним перекриттям з влаштуванням лазових люків. Завальна яма на всю поверхню обладнується захисною решіткою, в якій також передбачається лазовий люк. Всі лазові люки в бункери, прямки норій обладнуються запасними решітками з розміром вічок не більше 25x75 мм, розмішують їх не глибше 60 мм від поверхні підлоги. Всі решітки люків виконуються на петлях і закриваються на замок або кріпляться на болтах.

7. Електролампочки повинні бути обладнані скляними ковпаками.

8. Запуск і включення агрегату, усунення несправностей проводить оператор.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Усунення несправностей електрообладнання проводить тільки електрик.

9. Для обслуговування верхньої частини обладнання слід користуватися надійною драбиною, кінці якої повинні оббиті матеріалом, що не дає можливості проковзування.

5.2.3 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які [26]:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно.

Висновки та пропозиції.

За умов складання на підприємстві планів попередження, а у разі виникнення локалізації і ліквідації пожеж, а також проведення тренувань серед персоналу

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

можна уникнути виникнення надзвичайної ситуації або її важких наслідків.

Для того щоб на підприємстві трапилося менше випадків які призводять до травмування необхідно дотримуватись наступних заходів:

1. Забезпечити видання стандартних розмірів спецодягу та головних уборів.
2. Забезпечити біля кожного робочого місця наявність інструкції по вимогам безпеки та знаки з попереджувальними написами.
3. Забезпечити зменшення запиленості повітря на складі.
4. Обладнати приміщення для проведення інструктажів та навчання працівників з питань охорони праці.
5. Організувати постійний контроль за станом охорони праці.

Виконання запропонованих заходів сприятиме зниженню ризику небезпек, що призведе до зниження рівня виробничого травматизму.

5.3 Визначення економічної ефективності впровадження установки для теплової обробки зерна

Розрахунок економічної ефективності застосування запропонованої установки при сушінні зерна виконано на підставі результатів проведених досліджень.

Економічну ефективність установки проведемо в порівнянні з серійною зерносушаркою СЗШ-0,5.

Оцінку установки проводили при однаковій кількості робочих днів в році, при цьому масу зерна, що переробляється взяли 614 т з урахуванням реальної продуктивності запропонованого пристрою.

Річне нормативне завантаження, г:

$$T = O/W; \quad (5.1)$$

$$T_n = 614/0,4 = 1535 \text{ г,}$$

$$T_c = 614/0,5 = 1228 \text{ г,}$$

де T_n і T_c - річне нормативне завантаження для запропонованого і зрівняльного варіантів відповідно, г;

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

O - річний об'єм продукції;

W - пропускна здатність порівнювальних установок, т/г.

Витрати праці на річний обсяг роботи, люд.-год:

$$T = Tn, \quad (5.2)$$

$$t_n = 1535 \cdot 1 = 1535 \text{ люд.-г},$$

$$t_c = 1228 \cdot 1 = 1228 \text{ люд.-г},$$

де t_n і t_c - витрати праці на річний об'єм роботи для пропонованого і зрівняльного варіантів відповідно, люд.-г;

n - чисельність обслуговуючого персоналу порівнювальних установок, люд.

Витрати праці на одиницю продукції, люд.-год/т:

$$3T = t/O, \quad (5.3)$$

$$3T_n = 1535/614 = 2,5 \text{ люд.-г/т},$$

$$3T_c = 1228/614 = 2 \text{ люд.-г/т},$$

де $3T_n$ і $3T_c$ - витрати праці на одиницю продукції для пропонованого і зрівняльного варіантів відповідно, люд.-г/т.

Витрати на виконання річного обсягу робіт, грн. [27]:

$$3 = C_e + 3_n + A_o + 3_{mo}, \quad (5.4)$$

де C_e - ціна електроенергії, грн.;

3_n - заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.;

A_o - амортизаційні відрахування, грн.;

3_{mo} - витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн.

Вартість витраченої електроенергії, грн.:

$$C_e = E_n OI, \quad (5.5)$$

E_n - питома витрата електроенергії, кВт·г/т (для пропонованого і зрівняльного пристроїв відповідно складає 33,7 і 85,4 кВт·г/т);

O - річний об'єм продукції, т;

I - ціна 1 кВт·г електроенергії, грн. (для сільськогосподарських підприємств Полтавської області $I = 1,99$ грн.)

$$C_{EI} = 33,7 \cdot 614 \cdot 1,99 = 76628,84 \text{ грн.},$$

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{EC} = 85,4 \cdot 614 \cdot 1,99 = 199255,28 \text{ грн.},$$

де C_{EP} , C_{EC} - ціна електроенергії для пропонованого і зрівняльного пристроїв відповідно, грн.

Заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн. [27]:

$$Z_n = Z_o + Z_d + C_{соц}; \quad (5.6)$$

де Z_o - основна заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.;

Z_d - додаткова заробітна плата, грн.;

$C_{соц}$ - відрахування на соціальні потреби, грн.

Основна заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.:

$$Z_o = t_z \cdot Ч_c; \quad (5.7)$$

$$Z_{оп} = 1535 \cdot 66,7 = 102384,5 \text{ грн.},$$

$$Z_{ос} = 1228 \cdot 66,7 = 81907,6 \text{ грн.},$$

де $Z_{оп}$ і $Z_{ос}$ - основна заробітна плата обслуговуючого персоналу в пропонованому і зрівняльному варіантів відповідно, грн;

$Ч_c = 66,7$ грн. - годинна ставка оператора.

Додаткова заробітна плата:

$$Z_{дп} = 102384,5 \cdot 0,3 = 30715,35 \text{ грн.},$$

$$Z_{дс} = 81907,6 \cdot 0,3 = 24572,28 \text{ грн.},$$

де $Z_{дп}$ і $Z_{дс}$ - додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу в пропонованому і зрівняльному варіантів відповідно, грн.

Відрахування на соціальні потреби [27]:

$$C_{соцп} = 0,2 \cdot (102384,5 + 30715,35) = 26620 \text{ грн.},$$

$$C_{соцс} = 0,2 \cdot (81907,6 + 24572,28) = 21296 \text{ грн.},$$

де $C_{соцп}$ і $C_{соцс}$ - відрахування на соціальні потреби в пропонованому і зрівняльному варіантів відповідно, грн.

Тоді витрати на оплату праці оператора в пропонованому і порівнюваному варіантах відповідно:

$$Z_{пп} = 102384,5 + 30715,35 + 26620 = 159719,85 \text{ грн.},$$

$$Z_{пс} = 81907,6 + 24572,28 + 21296 = 127775,88 \text{ грн.},$$

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Амортизаційні відрахування пристроїв, грн.:

$$A_O = C_y H_A, \quad (5.8)$$

$$A_{OII} = 71771,93 \cdot 0,143 = 10263,4 \text{ грн.},$$

$$A_{OC} = 560000 \cdot 0,143 = 80080 \text{ грн.},$$

де C_y - ціна установки для сушки зерна, грн. (для пропонованого і зрівняльного варіантів відповідно, грн. $C_{yII} = 71771,93$ грн і $C_{yC} = 560000$ грн.);

$H_A = 14,3\%$ - відсоток амортизаційних відрахувань.

Витрати на ремонт і технічне обслуговування установок в залежності від ступеня їх використання, зношеності деталей, складності їх ремонту, а також вартості запасних частин і ремонтних матеріалів:

$$Z_{TO} = C_y H_{TO}, \quad (5.9)$$

$$Z_{TOII} = 71771,93 \cdot 0,18 = 12918,95 \text{ грн.},$$

$$Z_{TOC} = 560000 \cdot 0,18 = 100800 \text{ грн.},$$

де H_{TO} - норматив річних витрат на ремонт і технічне обслуговування машин;

Z_{TOII} і Z_{TOC} витрати на технічне обслуговування пропонованого і зрівняльного пристроїв відповідно, грн.

Таким чином, витрати на виконання річного обсягу робіт в пропонованому і порівнюваному пристроях:

$$Z_{II} = 76628,84 + 159719,85 + 10263,4 + 12918,95 = 259531 \text{ грн.},$$

$$Z_C = 199255,28 + 12775,88 + 80080 + 100800 = 507911,2 \text{ грн.}$$

Річна економія [27]:

$$E_P = Z_C - Z_{II} = 417911,2 - 253086 = 248380,2 \text{ грн.}$$

Або в відсотковому відношенні:

$$E_P = \frac{Z_C - Z_{II}}{Z_C} = \frac{507911,2 - 259531}{507911,2} \cdot 100\% = 48,9\%$$

Витрати на одиницю продукції, грн./т, складають:

$$Z_I = Z/O, \quad (5.10)$$

$$Z_{II} = 259531/614 = 422,68 \text{ грн./т},$$

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$Z_{1C} = 507911,2/614 = 827,22 \text{ грн./т.}$$

Економічний ефект на 1 тону продукції:

$$E_1 = Z_{1C} - Z_{1П} = 827,22 - 422,68 = 404,54 \text{ грн./т.}$$

Термін окупності капітальних вкладень, років [27]:

$$T = 71771,93 / 248380,2 = 0,3$$

Показники техніко-економічної ефективності запропонованої установки для теплової обробки зерна в порівнянні з серійно випускаємою сушильною установкою СЗШ-0,5 приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Техніко-економічні показники установок для сушіння зерна

Показники	Установка	
	СЗШ-0,5	Запропонована
Пропускна здатність, кг/г	500	400
Маса, кг	600	150
Потужність встановленого обладнання, кВт	60	10
Питомі витрати енергії на випаровування вологи, МДж/кг _{вологи}	4,6	3,7
Питома енергоємність, кВт-г/т	120	25
Питома металоємність, кг-г/кг	1,2	0,38
Додаткові капіталовкладення, грн	-	71771,93
Річний економічний ефект, грн	-	248380,2
Термін окупності, років	-	0,3

Порівняльний аналіз техніко-економічних показників установок показали, що запропонована установка в порівнянні з серійно випускною зерносушаркою СЗШ-0,5 має в 4,8 рази меншу енергоємність і значно меншу металоємність. Річна економія склала 248380,2 грн при обсязі зерна, що переробляється, 614 т, а економічний ефект - 404,54 грн на 1 т продукції, при цьому термін окупності установки для теплової обробки зерна не перевищує 0,3 року.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Виробничі дослідження показали високу ефективність розробленої установки для теплової обробки зерна при застосуванні її в процесах сушіння і термічного знезараження зерна. Розбіжність значень основних показників процесу теплової обробки зерна, отриманих в виробничих і лабораторних умовах, не перевищило 4,7%.

2. При дослідженні установки при сушінні зерна середня температура нагрівальної поверхні при сушінні зерна перебувала в межах 65...75°C, час сушіння - 35...40 с, швидкість руху повітря 5...6 м/с, температура повітря - 20...25 С. При цьому на оптимальних режимах вологість знизилася на 2,7...3%, температура зерна на виході з установки становила 35...39°C, що повністю задовольняє агротехнічним і технологічним вимогам. Питомі витрати енергії при цьому перебували в межах від 3,6 до 3,9 МДж/кг_{вологи}.

3. В результаті теоретичних досліджень сформульовано залежності пропускної здатності установки і потужності, необхідної на здійснення процесу теплової обробки зерна, від конструктивно-режимних параметрів установки і властивостей оброблюваного матеріалу.

4. За результатами проведених лабораторних досліджень розроблені адекватні математичні моделі процесів теплової обробки зерна в розробленій установці. Аналіз моделей процесу сушіння зерна дозволив визначити оптимальні значення незалежних факторів, при яких питомі витрати енергії на випаровування вологи з зерна $q_{уд}$ становлять 3873,3 кДж/кг_{вологи}: середня температура нагрівальної поверхні $t_{гр.ср} = 69^\circ\text{C}$, час перебування зерна в установці $\tau = 40$ с, швидкість руху повітря $v_g = 1,33$ м/с, температура повітря $t_g = 23,8^\circ\text{C}$. Пропускна здатність установки при цьому становить 400 кг/год.

5. Оптимальним режимом термічного знезараження зерна вівса при мінімальних питомих витратах енергії 4,1 кВт-год/т зернового матеріалу є

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступний: середня температура нагрівальної поверхні $t_{omn} = 80^{\circ}\text{C}$, час руху зерна 180 с.

6. Техніко-економічний аналіз запропонованої установки для теплової обробки зерна в порівнянні з сушильною установкою СЗШ-0,5 показав, що при роботі на оптимальних режимах запропонована установка в порівнянні з серійно випускаємою має в 4,8 рази меншу енергоємність і значно меншу металоємність. Річна економія склала 248380,2 грн., економічний ефект - 404,54 грн на 1 т продукції, при цьому термін окупності установки для теплової обробки зерна не перевищує 0,3 року.

					КРМ.133ГМмд_24.22.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62