

**НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА»
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ**



КЮРЧЕВ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК [631.362+631.56]:633.1/.8

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ
ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ
ЗЕРНОВИХ І ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР**

05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Глеваха – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор

Паламарчук Ігор Павлович,

Національний університет біоресурсів і природокористування України, професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Вожик Юлій Григорович,

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», головний науковий співробітник;

доктор технічних наук, професор

Чурсінов Юрій Олексійович,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, завідувач кафедри технології зберігання та переробки сільськогосподарської продукції;

доктор технічних наук, доцент

Харченко Сергій Олександрович,

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, професор кафедри оптимізації технологічних систем.

Захист відбудеться «5» липня 2019 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 27.358.01 в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України за адресою: 08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул. Вокзальна, 11

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України за адресою: 08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул. Вокзальна, 11

Автореферат розісланий « 5 » червня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.П. Погорілий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Однією з найбільш важливих умов безпеки будь-якої держави є забезпечення населення якісною продовольчою сировиною та продукцією, що передбачає розвиток технічної бази зберігання і первинної переробки сільськогосподарської продукції. Лише невелика частина сільськогосподарської продукції безпосередньо надходить від виробника до індивідуального споживача, а значний або переважний її відсоток підлягає спочатку зберіганню, а далі – первинній переробці у різних ланках господарства. Можна підвищувати врожайність усіх культур і різко збільшувати їхні валові збори, але не одержати потрібного ефекту, якщо на різних етапах просування продуктів до споживача відбудуться великі втрати маси і погіршення якості. За даними міжнародних організацій з продовольства і сільського господарства втрати зерна і зернопродуктів при зберіганні через технічні та організаційні причини щорічно становлять 5...8%, а такі біологічні чинники, як самозігрівання продукції з подальшим її ураженням унаслідок перебігу небажаних мікробіологічних процесів можуть збільшити потенційні втрати у десятки разів. При цьому уже після 5 діб неналежного зберігання, різко зростають втрати сухих речовин, збільшується кислотне число жиру, знижується на 10...15% схожість насіння.

Виробництво зернових та олійних культур нині упевнено займає лідируючі позиції в Україні. На хлібоприймальні підприємства країни надходить зерно і насіння більш ніж 100 партій різних культур, у тому числі зернових (пшениця, жито, ячмінь, овес, рис, кукурудза, просо, гречка, сорго та ін.), бобових (горох, квасоля, соя, сочевиця та ін.), олійних (соняшник, рицина, ріпак і ін.). Тому розвиток та наукове обґрунтування системи зберігання даної продукції, засобів інтенсифікації її механізованих комплексів становить актуальну та відповідальну проблему на державному рівні, визначаючи національну безпеку країни.

Наукові школи та досягнення відомих вчених, зокрема, Агрономова Є. О., Демьяненко М. П., Дідуха В. Ф., Казакова Є. Д., Адамчука В. В., Клеєва І. О., Котова Б. І., Козьміної Н. П., Макарова В. В., Сергунова В. С., Некрасова Б. П., Трисвятського Л. О., Уколова В. С., Чурсінова Ю. О., Станкевича Г. М., Лукіна Г. Д., Кирпи М. Я., Afzal T. M., Brooker D. B., Prvulovic S., Tolmac D., Lambic M. стосувались досліджень післязбиральної обробки та зберігання різної сільськогосподарської продукції. Подальший пошук та розвиток систем післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур відбувається шляхом інтенсифікації процесів при використанні фізико-механічних чинників. Зокрема, вібраційних, хвильових та імпульсних ефектів для максимального збереження вихідних властивостей сировини при помірних енергетичних та матеріальних витратах в умовах підприємств малої та середньої потужності, фермерських господарств, що становить основу досліджень даної наукової роботи та зумовлює її актуальність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота проводилась у рамках науково-дослідної роботи в Таврійському державному агротехнологічному університеті відповідно до таких програм науково-дослідних робіт, як “Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції” (№ ДР 0111U002551), “Розробка наукових ос-

нов систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (підпрограма 1.6 “Розробка наукових систем технологій і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції” (№ ДР 0102U000680); за напрямом “Інтенсифікація процесів харчових, фармацевтичних та мікробіологічних виробництв шляхом механічної та теплофізичної технологічної дії” (№ ДР 0112U006704), 1.6 “Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв на період 2016...2020 рр.” (№ ДР 0116U002730).

Концептуальна ідея роботи полягає у пошуку фізико-механічних чинників підвищення площин поверхонь тепломасообміну при контакті насіння зернової та олійної культури з енергоносієм у процесах її зберігання за рахунок неперервної зміни точок рівноваги часток сировини, швидкісного оновлення контактних поверхонь, варіювання інтервалів температур та вологовмісту у шарах технологічних середовищ за дії гравітаційних та аспіраційних чинників, низькочастотних коливань, інфрачервоного опромінення, вібровідцентрових, віброхвильових, імпульсних силових факторів, які функціонують окремо або комплексно, забезпечуючи реалізацію поставлених технологічних задач.

Дія даних інтенсифікуючих факторів була реалізована у процесах сепарації насіння олійних культур із застосуванням вібрації, інфрачервоного сушіння сипких мас при їх транспортуванні віброхвильовим конвеєром у зоні обробки та активного вентилявання шарів сипкої продукції холодоносієм у зерносховищах, а також при барботуванні імпульсними пневмодинамічними хвилями.

При виборі об’єкта обробки виходили з основного асортименту зернових і олійних культур, які істотно різняться за своїми фізико-механічними властивостями, дозволяючи реалізувати комплексний підхід при виборі засобів механізації для ефективного функціонування досліджуваної системи зберігання сільськогосподарської продукції. Серед таких культур можна відзначити олійні та зернові, а саме соняшник, ріпак та сою; зернові I категорії, а саме пшеницю, жито та ячмінь.

Метою роботи є мінімізація втрат насіння зернових і олійних культур, забезпечення матеріало- та енергоощадності при його зберіганні шляхом наукового обґрунтування системи реалізації низько- та високотемпературної консервації продукції у зерносховищах при використанні розроблених машин віброаспіраційної, віброхвильової, імпульсної пневмодинамічної дій для обробки насіння зернових і олійних культур.

Відповідно до поставленої мети були **сформульовані такі задачі досліджень**:

- на основі аналізу досвіду сучасних технологій та засобів механізації процесів зберігання насіння зернових і олійних культур розробити основні принципи формування системи їх зберігання;

- обґрунтувати закономірності перебігу процесу сепарації насіння соняшнику віброаспіраційним сепаратором, визначити його раціональні технологічні, конструкційні, кінематичні, силові та енергетичні параметри технічного засобу;

– провести аналіз закономірностей руху маси насіння олійних культур при її фракціонуванні за комплексної дії вібрації, пневмодинамічних та гравітаційних сил і на його основі зробити стохастичне оптимізаційне моделювання процесу віброаспіраційного пневмодинамічного фракціонування;

– на основі моделювання робочого процесу віброхвильової системи для реалізації транспортування сипкої маси уздовж зони обробки за одночасного безперервного перемішування її шарів обґрунтувати режимні параметри вібробуджувача;

– на основі експериментального аналізу перебігу інфрачервоного сушіння насіння сої здійснити фізико-математичне моделювання даного процесу при використанні теорії подібності, отримати критеріальне рівняння процесу із врахуванням його віброхвильової інтенсифікації, обґрунтувати швидкість просування продукції у робочій зоні та на основі стохастичного оптимізаційного моделювання визначити раціональні технологічні характеристики процесу віброконвеєрного інфрачервоного сушіння з віброхвильовим транспортуванням;

– розробити фізико-математичні моделі і обґрунтувати режимні параметри процесу конвекційного вентилявання холодоносієм, імпульсного пневмодинамічного барботування зернової культури при її зберіганні у сховищах;

– на основі експериментального аналізу зміни основних фізико-механічних властивостей зернової культури при її низькотемпературній консервації провести якісну оцінку параметрів досліджуваного процесу охолодження, та зробити стохастичне оптимізаційне моделювання процесу активного вентилявання конвективним потоком холодоносія та обґрунтувати їх основні режимні параметри, провести виробничу апробацію проектного обладнання на підприємствах агропромислового комплексу і на основі техніко-економічного аналізу розроблених процесів та обладнання провести оцінку їх економічної ефективності та конкурентоспроможності.

Об'єкт дослідження: процеси післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур, інтенсифікація яких визначається вібраційною, хвильовою та імпульсною дією.

Предмет дослідження: закономірності зміни конструкційно-технологічних та якісних параметрів процесів та обладнання для віброаспіраційного фракціонування, віброхвильового інфрачервоного сушіння, пневмоімпульсного барботування та низькотемпературної обробки конвекційним потоком холодоносія у зерносховищах.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізики, методах диференціального обчислення та теорії імовірності, математичного моделювання, теорії подібності, механіки коливальних систем, прикладного програмування. Експериментальну частину досліджень проводили згідно чинних методик та галузевих стандартів для оцінки фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін у зерновій та олійній сировині на спеціально розроблених дослідних установках при використанні розробленого експериментального оснащення і застосування методів математичної статистики та планування багатофакторних експериментів. Обробку результатів досліджень проводили за допомогою IBM-сумісного ПК з використанням табличного про-

цесора Microsoft Excel, програмного забезпечення MathCAD, MATLAB, Statistika.

Наукова новизна одержаних результатів.

На підставі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень уперше:

- встановлено закономірності протікання процесу віброаспіраційної сепарації насінневого матеріалу з використанням автоколивального режиму руху ротаційного елемента, який забезпечує підвищення величини рушійної сили та відповідно якості розщеплення потоку насінневого матеріалу за його аеродинамічними та фізико-механічними властивостями на фракції;

- встановлено закономірності забезпечення комбінованої незрівноваженості коливальної системи для одночасної реалізації операцій транспортування та перемішування шарів насінневого матеріалу у робочій зоні його сушіння інфрачервоними променями;

- отримано залежності кінематичних, силових та енергетичних параметрів дорезонансного режиму віброхвильової коливальної системи для забезпечення безперервності технологічного руху насінневої маси без додаткових механічних пристроїв;

- встановлено закономірності процесу імпульсного пневмодинамічного барботування з використанням стоячої хвилі для зворушення насінневого матеріалу у повздовжньому та поперечному напрямках при його зберіганні у зерносховищі.

Набули подальшого розвитку:

- закономірності руху компонентів насіння соняшнику у повітряному потоці по поверхні розподільника-живильника аспіраційного каналу змінного поперечного перерізу з нижнім розподілом насінневої маси;

- закономірності коливального руху робочих органів вібраційних транспортно-технологічних машин у процесі інфрачервоного сушіння насіння;

- закономірності зміни швидкості сушіння насіння сої інфрачервоними променями в умовах віброзв'язаного шару продукції;

- теоретичні залежності, які враховують зміни характеристик конвекційного потоку повітря у процесі активного вентилявання насіння холодоносієм;

- основні закономірності зміни фізико-механічних характеристик насіння з урахуванням рекомендованих режимів її зберігання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

- розробленні принципів та технологічних схем, конструкції та технічної документації обладнання для віброаспіраційного фракціонування насіння соняшнику, віброконвеєрного сушіння з віброхвильовою системою транспортування та перемішування у зоні обробки насіння сої; імпульсного пневмодинамічного барботера для зворушення зернового продовольчого матеріалу при зберіганні у сховищах;

- обґрунтуванні режимних параметрів досліджуваних процесів підготовки та зберігання зернового матеріалу з наданням практичних рекомендацій на виготовлення відповідних технічних засобів в умовах ПАТ “ГІДРОСИЛА МЗТГ” (Мелітопольський завод тракторних гідроагрегатів), ПрАТ “ХМЗ” (Хорольсь-

кий механічний завод), ПАТ “Карлівський машинобудівний завод”, ТОВ “Гідросила–Тетіс”, ТОВ “Мелітопольський завод турбокомпресорів”, ТОВ “МПІ–Агро”;

– впровадженні розробок на підприємствах у СФГ “ВІТА” Якимівського району Запорізької області, ТОВ “Агрофірма Ольвія” Приазовського району Запорізької області, ТОВ “СПП ЛАНА” Михайлівського району Запорізької області.

Одержані результати підтверджені 4 патентами України на корисні моделі.

Результати наукових досліджень впроваджені у навчальний процес Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь), Уманського національного університету садівництва (м. Умань) для підготовки інженера-механіка з дисциплін, що пов’язані з експлуатацією елементів системи зберігання зернової продукції, підготовкою до реалізації переробних і харчових виробництв.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто.

Постановка задач та їх математичний аналіз, оцінка перебігу досліджуваних тепломасообмінних процесів, розроблення розрахункових та принципівих схем проєктованого обладнання [1, 9, 13, 15, 16, 31, 32, 37]; проведено аналіз теоретичних аспектів реалізації досліджуваних процесів [2, 29, 30, 33-35, 38-41], що дозволило розробити їх адекватні моделі [3, 8]. У наукових працях, які виконані у співавторстві, дисертанту належить наступне. Виконано експериментальні дослідження з описанням процесу охолодження та показників якостей зерна, тобто дослідження вологості, клейковини та індексу деформації клейковини [10, 18, 21, 23]. Розроблено методики математичної обробки отриманих результатів [3, 7, 20, 36]. Проведено планування багатofакторного експерименту, планування і підготовка дослідної роботи [4-6, 12, 14, 22, 28], виконання експериментів, аналіз та обробка результатів. Участь у складанні заявки на корисну модель і розробці технічної документації [11, 14, 17, 24-27].

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях, а також були заслухані та обговорені на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, 2007-2015, 2017, 2018 рр.), на міжнародних науково-практичних конференціях (м. Одеса, 2017, 2018 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні технології харчових виробництв” (м. Вінниця, 26-27 березня 2015 р.); V всеукраїнській науково-практичній конференції “Інноваційні технології в АПК” (м. Луцьк, 19-21 травня 2015 р.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих науковців “Перші наукові кроки” (м. Кам’янець-Подільський, 23-24 квітня 2015 р.); V Всеукраїнській науково-практичній конференції “Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК” (м. Київ, 17-18 листопада 2016 р.); XVIII Міжнародній науковій конференції, присвяченій 117-річчю від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка “Сучасні проблеми землеробської механіки” (м. Кам’янець-Подільський, 16-18 жовтня 2017 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми конструювання, виробни-

цтва та експлуатації сільськогосподарської техніки” (м. Кропивницький, 1-3 листопада 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції “Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: Інженерно-економічне забезпечення” (м. Тернопіль, 19-20 квітня 2018 р.); The international research and practical conference “The development of technical sciences: problems and solutions” April 27-28, 2018, Brno; IV Міжнародній науково-практичній конференція “Імпорт-замінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва” (м. Умань, 17-18 травня 2018 р.); V Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja ”ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII” (Польща, м. Криниця, 20-22 червня 2018 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 41 наукову працю, серед них: 20 статей, що надруковані у фахових виданнях України, 6 статей у зарубіжних виданнях та 11 тез доповідей наукових конференцій. За результатами досліджень отримано 4 патенти України на корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 297 найменувань та 3 додатків. Дисертація викладена на 372 сторінках машинописного тексту: основна частина складає 277 сторінки, містить 29 таблиць та 148 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі “Сучасний стан проблеми та постановка задач досліджень” на основі аналізу сучасних технологій зберігання рослинницької продукції представлено основні принципи формування структури проекрованої системи зберігання зернової та олійної сировини, тенденції розвитку її основних складових, які базуються на максимальному збереженні вихідних властивостей продукції за рахунок постійного контакту з холодоносієм та інтенсифікації тепломасообміну внаслідок застосування вібраційних, хвильових та імпульсних ефектів; проаналізовано фізико-механічні властивості насіння та продовольчого зерна зазначених культур, що складають об’єкт обробки та відповідно базовий вихідний матеріал при дослідженнях.

Критичний аналіз досліджуваних процесів та обладнання у наукових роботах закордонних і вітчизняних вчених виявив достатньо високі енерго- та матеріаловитрати, відсутність системного підходу при організації зберігання зернової продукції, що дозволило обґрунтувати основні напрями техніко-економічного удосконалення технологій зберігання при використанні віброхвильових, віброаспіраційних, пневмодинамічних та тепломасообмінних чинників їх інтенсифікації, окреслюючи проектовану схему зберігання; відзначити проблематику та основні задачі досліджень.

При виконанні основних задач даної наукової роботи була розроблена методика, що відображає наступну послідовність операцій для реалізації проекрованої системи: підготовку до процесів зберігання; вибір базових операцій з консервації сировини, обґрунтування та застосування інструментів для інтенсифікації процесів; оцінку якісних характеристик сировини для підтримання необхідних режимів зберігання (рис. 1).

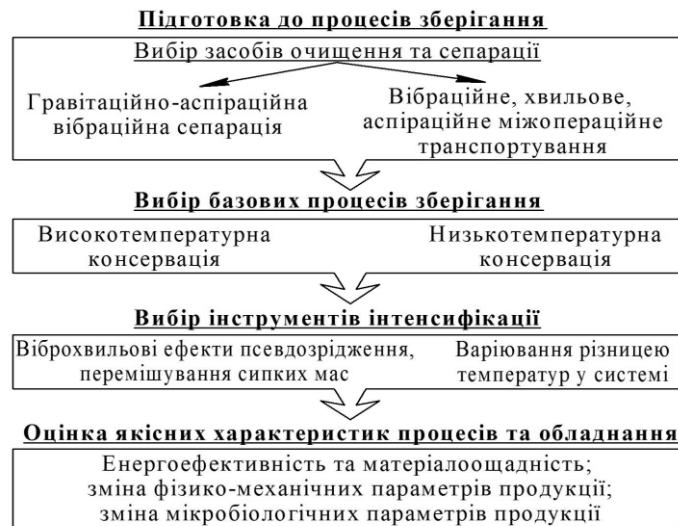
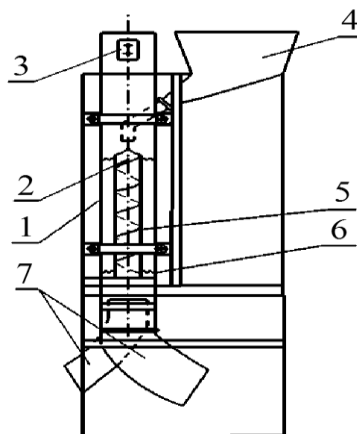


Рисунок 1 – Організаційні напрями реалізації системи зберігання насіння зернових і олійних культур

На основі аналізу сучасного устаткування процесів консервації зернових і олійних культур були обґрунтовані наступні конструкційно-технологічні схеми розробленого обладнання (рис. 2 - 4).

Так, було здійснено вдосконалення конструкції віброаспіраційного сепаратора насіння, представленого на рис. 2. У розробленому віброаспіраційному сепараторі насіннєвого матеріалу постійний за силою потік повітря через парусні елементи призводить до накладання на центральну трубу розподільника вимушених коливань, що утворює відцентрові сили та коріолісове прискорення у системі. Внаслідок останнього ефекту рушійна сила досліджуваного процесу підвищується, розганяючи насінини різної фракції, які відрізняються за масою, до різних швидкостей. Відповідно змінюються траєкторії руху часток насіння, наближаючи більш важкі частки до вертикальної осі аспіраційного каналу, що дає змогу підвищити ефективність розділення насінин різних фракцій.

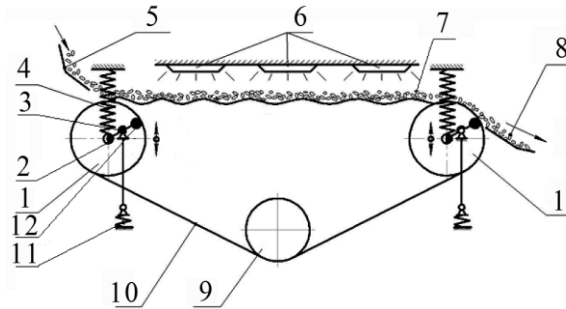


1 – аспіраційний канал; 2 – подільник; 3 – вентилятор; 4 – бункер; 5 – парусні елементи; 6 – пружні елементи; 7 – розподільник

Рисунок 2 – Віброаспіраційний сепаратор насіння

Розроблена конструкційна схема віброконвеєрної інфрачервоної сушарки, що дозволяє разом із інтенсифікацією процесу видалення вологи забезпечити рівномірне пошарове перемішування сипкої маси, запобігаючи перегрівання поверхневого шару та поліпшуючи якість обробки; транспортування її вздовж ро-

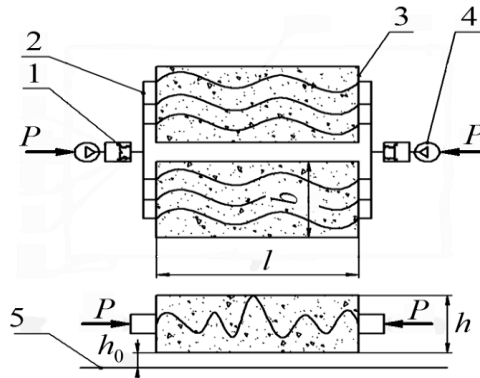
бочої зони без застосування додаткових механічних пристроїв та, відповідно, зменшуючи витрати енергії на реалізацію високотемпературної обробки (рис.3).



- 1 – вальці; 2 – вісь вальця; 3 – ексцентриковий приводний вал;
 4 – пружна підвіска; 5 – живильник; 6 – випромінювачі; 7 – насіння;
 8 – приймальний бункер насіння; 9 – натяжний коток; 10 – еластична стрічка;
 11 – віброопора; 12 – противага

Рисунок 3 – Інфрачервона сушарка з віброхвильовим транспортуючим елементом

Локальний вплив на зернову масу з метою зворушення та неперервного оновлення шарів сировини при винесенні вологи до поверхні досягається за допомогою спеціальних імпульсних пневмодинамічних барботерів (рис. 4), які розміщуються з двох боків піддона з продукцією напроти один одного. У результаті взаємодії зустрічних пневмодинамічних хвиль та їх суперпозиції утворюються стоячі хвилі, що переносять кінетичну енергію як у повздовжньому, так і поперечному напрямках, які, в свою чергу, зворушують зернову масу. За таких умов зберігання зернової маси практично виключаються злежування та активація небажаних мікробіологічних процесів без застосування достатньо металоємких та енерговитратних механічних засобів обробки сипких мас.



- 1 – пневмоімпульсний барботер; 2 – колектор; 3 – піддон; 4 – вентилятор;
 5 – підлога

Рисунок 4 – Пневмоімпульсний зворушувач зернової маси

Таким чином, розроблені конструкції вдосконаленого обладнання фактично повністю забезпечують основні операції післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур.

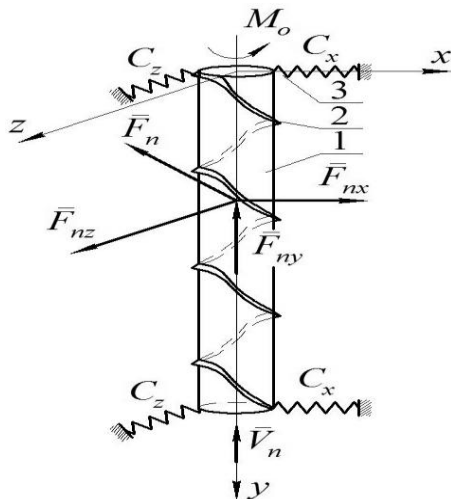
У другому розділі “Математичне моделювання досліджуваних процесів післязбиральної обробки зернових і олійних культур” здійснено теоретичний аналіз досліджуваних процесів низько- та високотемпературної консервації об’єкта обробки, що представляється у вигляді сипкої, гранульованої або сукупності поодиноких технологічних мас.

У підсистемі сепарації та фракціонування насінневого матеріалу математичний аналіз здійснювали, розглядаючи динаміку руху насінини при виході з живильного конуса (рис. 5) та у процесі витання її у зоні центрального розподільника (рис. 6). В якості припущень приймали, що потік повітря спрямований вертикально вгору та рівномірно розподілений за радіусом; рух насінини при вході до центрального каналу осьовий прямолінійний; сили опору діють у радіальному напрямі; кутова швидкість центральної труби є постійною та виникає виключно за дії збурювального обертового моменту M_o .

У поперечному перерізі аспіраційного сепаратора безпосередньо створюються змушені коливання за рахунок двох сил, що опозитно діють на центральну трубу сепаратора: збурювальні силові фактори F_o , M_o та відновлювальні сили при розтяганні та стисканні пружних елементів C_x , C_z . Збурювальні силові фактори виникають при дії потоку повітря F_n на парусні елементи та обертовий момент M_o – завдяки синусоїдальному розташуванню парусних елементів призводять до обертання центральної труби. Серед основних силових факторів, що зумовлюють рух часток продукції у повітряному потоці, можна відзначити (рис. 6): R_{on} – сила опору повітря; F_n – сила дії повітряного потоку; G_q – сила тяжіння насіння; початковий кут введення насіння α та початкова швидкість насінини V_o .

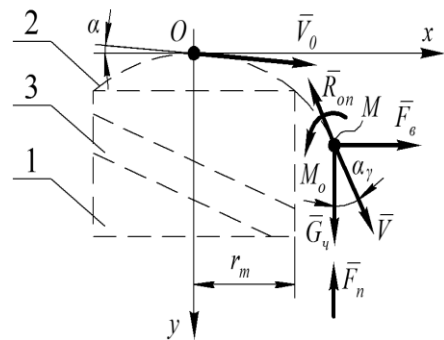
У зв'язку з тим, що центральна труба розподільника здійснює змушені коливання під дією повітряного потоку, парусних і пружних елементів, то вона створює додаткові потоки повітря, які треба обов'язково врахувати. При цьому ці додаткові потоки можуть діяти під різними кутами, але для здійснення віброаспіраційного сепарування важливими є тільки горизонтальні їх складові.

Особливостями розробленої коливальної системи є простота конструкції та мінімальні витрати на модернізацію, що передбачає тільки забезпечення рухомості центральної труби за рахунок монтування опорних вузлів типу “труба в трубі”.



- 1 – центральна труба розподільника;
- 2 – парусний елемент;
- 3 – пружний елемент

Рисунок 5 – Розрахункова схема віброаспіраційного сепаратора



- 1 – центральна труба розподільника;
- 2 – конус; 3 – парусний елемент

Рисунок 6 – Схема сил, що діють на частинку у повітряному потоці

За представленою на рис. 6 розрахунковою схемою, при допомозі методів Деламбера та Коші складено рівняння руху досліджуваної системи у диференціальному та алгебраїчному вигляді, враховуючи затухання власних коливань за стабілізації змушених коливань (вирази 1 - 5). Після обрання системи координат на еквівалентній схемі (рис. 6) і врахування зазначеної системи сил складена на підставі основного закону динаміки система диференціальних рівнянь руху матеріальної частинки M , яка має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} + \frac{B_1}{m} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{x} &= \frac{B_2}{m} \cdot \sin\omega t, \\ \ddot{y} + \frac{B_1}{m} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{y} &= g - \frac{F_n}{m}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В результаті інтегрування систем рівнянь (1) отримано рішення системи рівнянь (2), яке відображає швидкість точки M у заданій системі координат:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \int \frac{B_2}{m} \cdot \sin\omega t dt - \int B_5 dt, \\ \dot{y} &= \int \left(g - \frac{F_n}{m} - B_6 \right) dt. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Після другого інтегрування системи рівнянь (1) отримано закон руху точки M в системі координат xOy :

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{-B_2}{m\omega^2} \cdot \sin\omega t - B_5 \cdot \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2, \\ y &= \left(g - \frac{F_n}{m} - B_6 \right) \cdot \frac{t^2}{2} + L_1 t + L_2, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де C_1, C_2, L_1, L_2 – довільні сталі, що визначаються з початкових умов; B_2, B_5, B_6 – коефіцієнти.

Враховуючи затухання власних коливань при стабілізації вібраційного режиму, рівняння (3) набуває вигляду:

$$x = -\frac{B_2}{m\omega^2} \cdot \sin\omega t. \quad (4)$$

Далі знайдено кінематичні, силові та енергетичні характеристики досліджуваної системи.

Складова швидкості руху насінини була визначена за допомогою виразу:

$$V_x = \dot{x} = \frac{-B_2}{m\omega} \cdot \cos\omega t. \quad (5)$$

При використанні математичного середовища MathCAD та розробленої розрахункової програми отримали графічну інтерпретацію основних характеристик досліджуваного процесу (рис. 7 - 10).

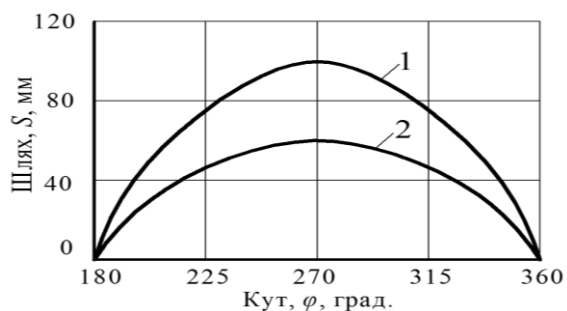


Рисунок 7 – Залежність максимального шляху насіння відповідно середньої (1) та важкої фракції (2) від кута повороту центральної труби

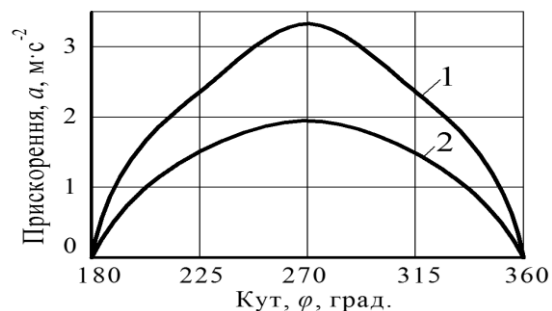
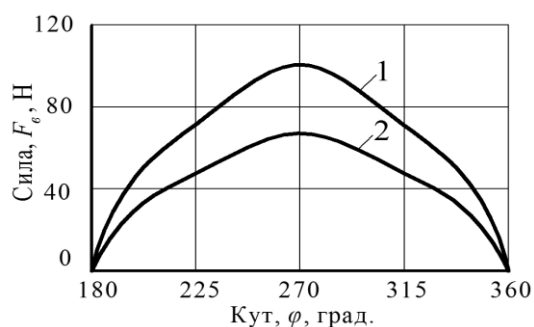
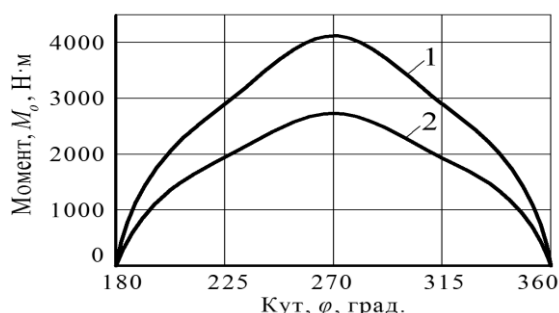


Рисунок 8 – Залежність максимального прискорення насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2) від кута повороту центральної труби



а)

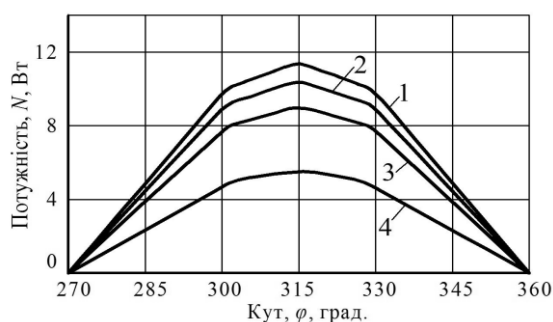
а) максимальна величина збурювальної сили для насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2)



б)

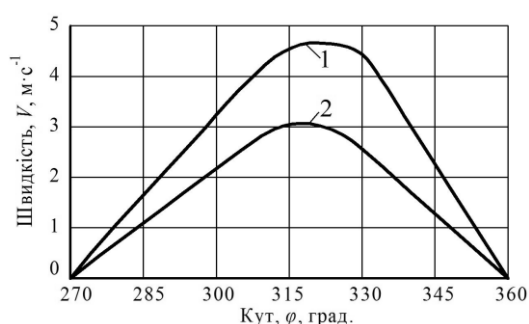
б) максимальна величина обертового моменту для насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2)

Рисунок 9 – Залежності величини збурювальної сили F_e (а) та обертового моменту M_o (б) від кута повороту центральної труби:



а)

а) максимальна (1) та мінімальна (2) величини потужності для насіння важкої фракції; максимальна (3) та мінімальна (4) величини потужності для насіння середньої фракції



б)

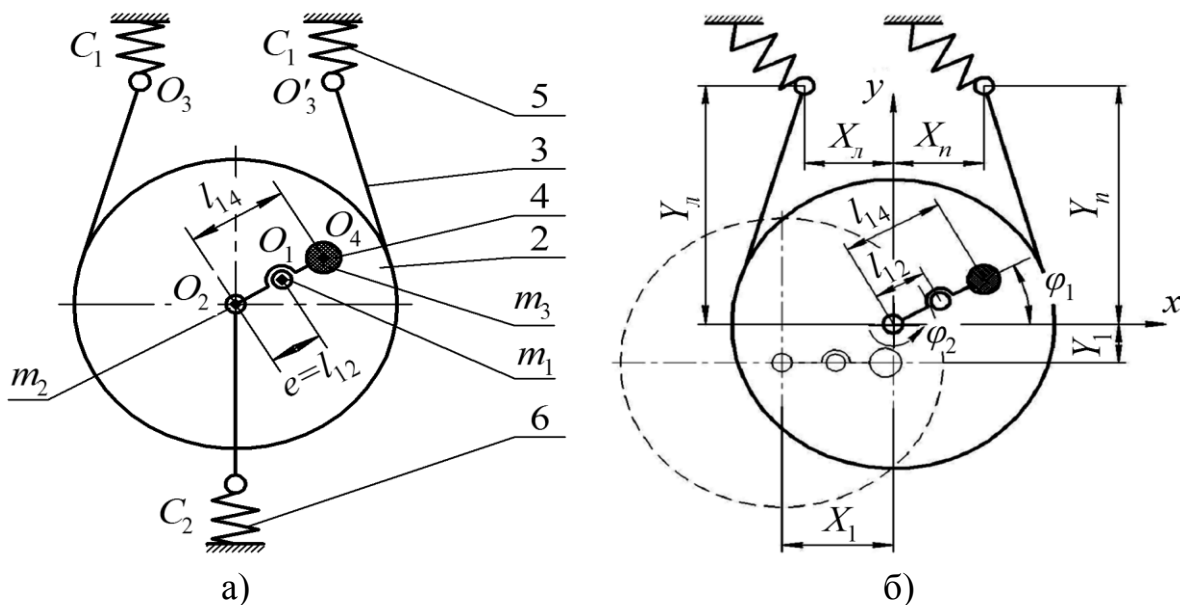
б) максимальна величина швидкості для насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2)

Рисунок 10 – Залежності необхідної потужності N (а) при створенні змушених коливань та швидкості руху насінини V (б) від кута повороту центральної труби

Аналіз побудованих на рис. 7 - 10 графічних залежностей виявив, що за всіма оціночними параметрами досягається ефективність та якість проектованого процесу віброаспіраційної сепарації. Забезпечення означених результатів реалізовано за рахунок створення змушуючих коливань центральної труби вертикального розподільника, з цією метою розвиваються збудовальні сили та обертовий момент відповідно 68...100 Н та 2700...4100 Н·м, що вимагає незначних енерговитрат (до 11,5 Вт) та достатньо простої конструкційної модифікації.

Для генерації коливань вантажонесучого органа досліджуваної конвеєрної сушарки використовували механічний вібропривод комбінованого типу, що поєднує кінематичний спосіб віброзбудження та пружну систему нівелювання паразитних коливань в опорних вузлах приводного механізму (рис. 11 а).

Такий механізм дозволяє мінімізувати енерговитрати за рахунок зменшення коливних мас порівняно з дебалансним віброзбуджувачем при підтриманні інтенсивного віброімпульсного режиму та забезпеченні достатньо комфортних умов роботи підшипникових опор приводного вала. Дана технологічна система характеризується 4-ма ступенями вільності, що складають кут повороту приводного вала φ_1 , кут повороту вальців або робочих та водночас опорних котків φ_2 , лінійні зміщення X_1 та Y_1 центра приводного вала відносно осей координат xOy , що відображено на розрахунковій схемі машини (рис. 11 б).



1 – валець; 2 – стрічка; 3 – ексцентриковий приводний вал віброзбуджувача; 4 – противага; 5 – пружна підвіска; 6 – віброопора

Рисунок 11 – Віброхвильовий рушій інфрачервоної віброконвеєрної сушарки з комбінованим кінематичним віброзбудженням: а – принципова схема; б – розрахункова схема пристрою

В результаті проведеного силового аналізу були знайдені сили натягу стрічки для лівої і правої гілок, які виражаються залежностями:

$$T_{л} = C_{np} \left(\sqrt{(X_1 - X_n - l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_n - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2} - R^2 - \left(\sqrt{X_n^2 + Y_n^2} - R^2 + R_{\varphi_1} \right) \right) \quad (6)$$

$$T_{II} = C_{np} \left(\sqrt{(X_n - X_1 + l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_n - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2 - R^2} - \sqrt{X_n^2 + Y_n^2 - R^2} - R_{\varphi_2} \right). \quad (7)$$

Використовуючи рівняння Лагранжа II-го роду та залежності (6) і (7) складено систему диференціальних рівнянь руху приводного вала комбінованого механічного віброзбуджувача по його чотирьом узагальненим координатам:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{X}_1 + \alpha_X \dot{X}_1 + K_X^2 X_1 &= m_0^{-1} [(m_2 l_{12} - m_3 l_{14}) (\ddot{\varphi}_1 \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_1) - \\ &- T_{II} \sin \beta_{II} - T_{II} \sin \beta_{II}], \\ \ddot{Y}_1 + \alpha_Y \dot{Y}_1 + K_Y^2 Y_1 &= m_0^{-1} [(m_2 l_{12} - m_3 l_{14}) (\ddot{\varphi}_1 \sin \varphi_1 + \dot{\varphi}_1^2 \cos \varphi_1) - \\ &- T_{II} \cos \beta_{II} + T_{II} \cos \beta_{II} - P_0], \\ \ddot{\varphi}_1 &= (m_2 l_{14}^2 + m_3 l_{14}^2)^{-1} [(m_1 l_{12} - m_3 l_{14}) (\dot{X}_1 \cos \varphi_1 + \dot{Y}_1 \sin \varphi_1) + \\ &+ (P_2 l_{12} - P_3 l_{14}) \sin \varphi + M_o - l_{12} (T_{II} \sin(\varphi_1 + \beta_{II}) + T_{II} \sin(\varphi_1 - \beta_{II}))], \\ \ddot{\varphi}_2 &= J_2^{-1} R (T_{II} - T_{II}). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Розв'язання перших двох рівнянь системи (8) методом Коші дозволило отримати шукані траєкторії руху виконавчих органів віброхвильового пристрою (рис. 12), амплітудно-частотні характеристики в аналітичному та графічному вигляді, використовуючи які аналогічно попередньому розрахунку, були виведені залежності основних параметрів досліджуваної коливальної системи, та обґрунтовані експлуатаційні режими віброзбуджувача сушарки, при цьому амплітуда коливань знаходиться у межах 2,0...3,5 мм, а кутова швидкість приводного вала в межах 50...80 рад/с (рис. 13).

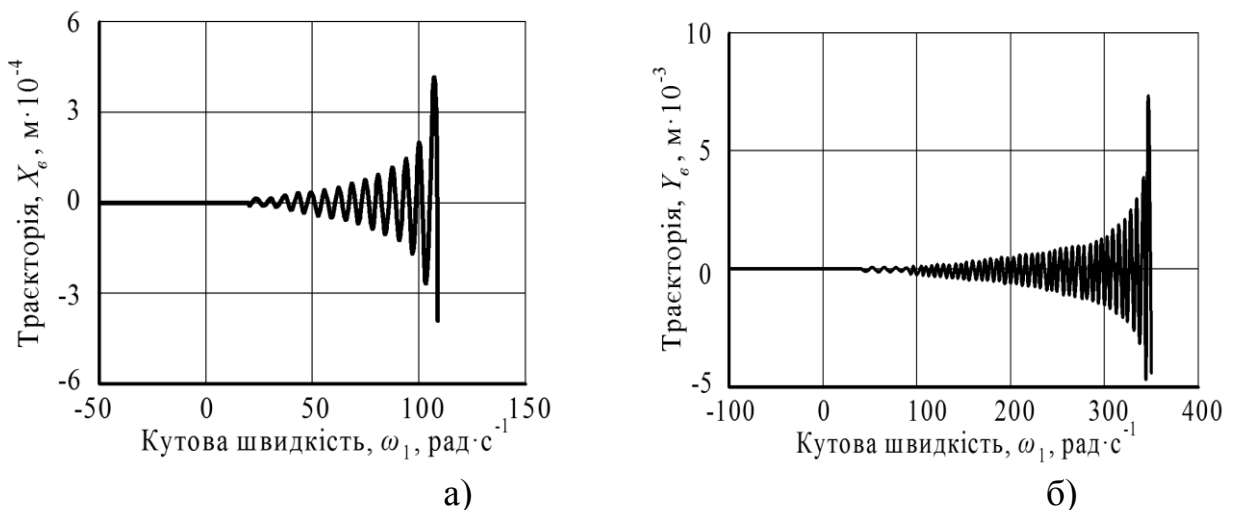


Рисунок 12 – Залежності траєкторії руху центра мас робочого вальця X_1 (а) та Y_1 (б) вздовж осей плоскої системи координат від кутової швидкості ексцентрикового приводного вала ω_1

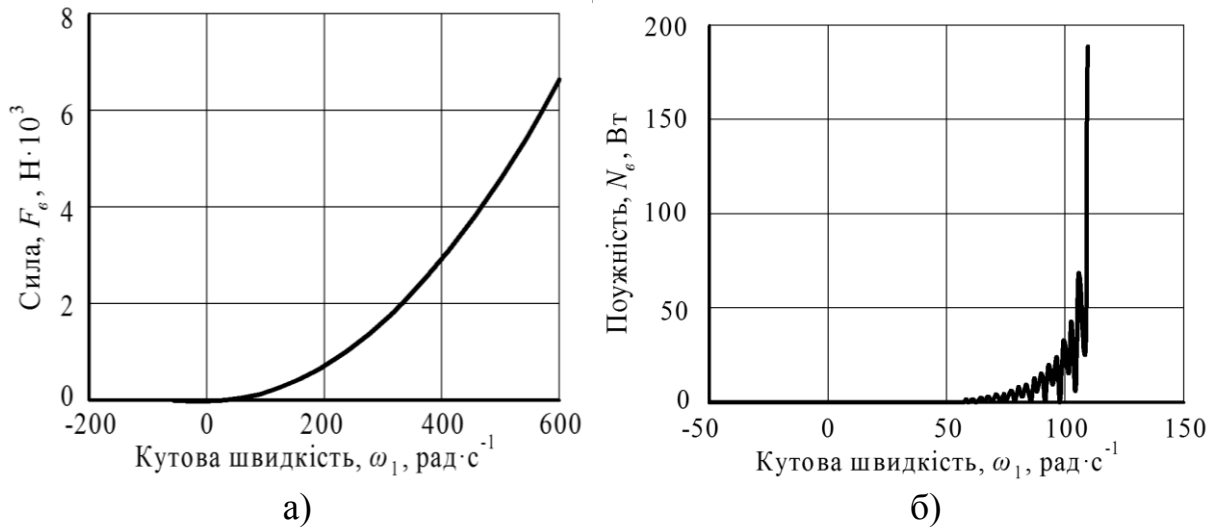


Рисунок 13 – Залежності збудовальної сили F_e (а) та необхідної потужності N_e (б) віброзбудувача від кутової швидкості ω_1 ексцентрикового приводного вала

Наступним етапом теоретичного дослідження було математичне моделювання процесу імпульсного барботування з використанням теорії “струни”, згідно з якої хвильове одновимірне рівняння процесу має такий вигляд:

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{1}{v_\varphi^2} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = 0, \quad (9)$$

де $P(x, t)$ – функція тиску, що здійснює та підтримує коливальний процес у сипкому середовищі; v_φ – фазова швидкість поширення хвилі; x, t – змінні процесу: відповідно лінійна координата та час розповсюдження хвилі.

Оскільки загальний розв’язок даного рівняння є відомим, то нами для інтерпретації досліджуваного процесу цей розв’язок показано у вигляді суперпозиції двох гармонічних хвиль:

$$P(x, t) = P_1 \cos(k_1 x - \omega_1 t) + P_2 \cos(k_2 x + \omega_2 t), \quad (10)$$

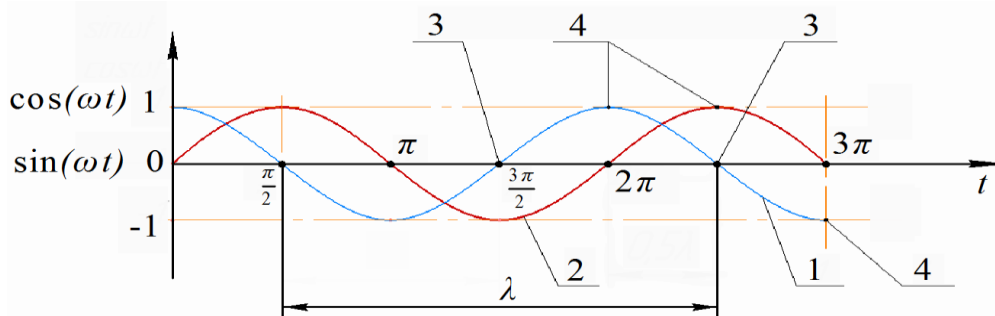
де P_1, P_2 – амплітудні значення тиску; k_1, k_2 – хвильові числа: $k = \omega / v_\varphi$; ω_1, ω_2 – циклічні частоти зміни фаз хвилі; $\omega t = \varphi$ – фаза хвилі.

За граничних умов: $P(x, t) = 0$; $x = 0$; $\frac{d^2 P(x, t)}{dx^2} = 0$, а також припущень, що: $P_1 = P_2 = P_0$, $\omega_1 = \omega_2 = \omega$; хвилі поширюються без загасання, можливо з певним відхиленням по фазі, розв’язок диференціального хвильового рівняння набуває вигляду:

$$P(x, t) = 2P_0 \cos kx \cdot \cos \omega t. \quad (11)$$

Основними параметрами досліджуваного хвильового руху (рис. 14) є хвильове число: $k = \omega / v_\varphi$; фазова швидкість хвилі: $v_\varphi = \frac{dx}{dt}$; довжина півхвилі: $\frac{2\pi}{k}$;

енергія коливального руху: $E_k = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot P_0^2}{2}$; середнє значення густини енергії хвилі: $G = \frac{E}{V} = \rho_\pi \cdot \omega^2 \cdot \frac{P_0^2}{2}$; ρ_π – густина сипкої продукції.



1, 2 – форма розповсюдження динамічної хвилі відповідно за косинусоїдальним та синусоїдальним законами; 3 – вузли; 4 – пучності

Рисунок 14 – Параметри утвореної стоячої пневмодинамічної хвилі

Схему процесу пневмоімпульсного барботування представлено на рис. 15, для якого характерні наступні особливості:

– випускний патрубок виконується у вигляді сопла Лаваля з метою підвищення динамічності перебігу досліджуваного процесу;

– відношення діаметрів $\frac{d_k}{D_k} = 0,70 \dots 0,95$;

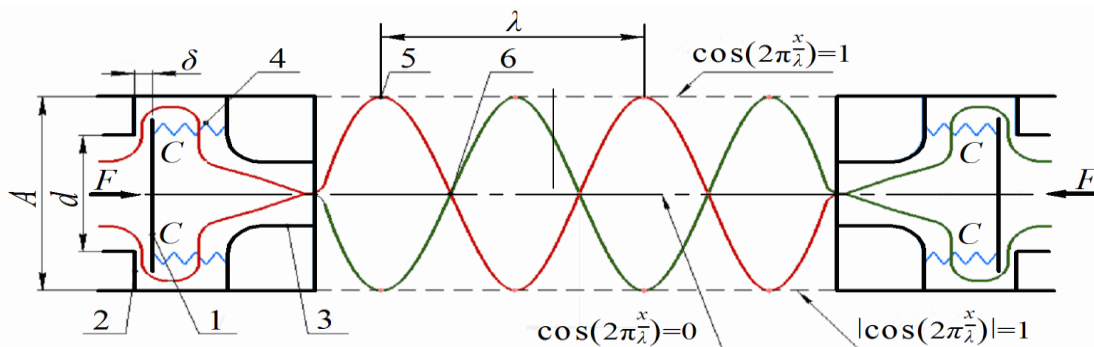
– раптовий підрив клапану відбувається при тиску P_3 та закриття при тиску P_2 , для яких рекомендується використовувати наступне співвідношення

$$\frac{P_3}{P_2} = 3,5 \dots 5,0;$$

– спад тиску спостерігається через проміжок часу $0,05 \dots 0,20$ с;

– подається повітря під тиском $P_1 = 0,3 \dots 1,0$ МПа (швидкість підвищення тиску залежить від жорсткості пружини, що може регулюватися гайкою);

– робоча пневмокамера спорожнюється на різницю тисків $P_3 - P_2$.



1 – діафрагма; 2 – сідло діафрагми; 3 – сопло Лаваля;

4 – відновлювальні елементи; 5 – пучності; 6 – вузли

Рисунок 15 – Схема процесу пневмоімпульсного барботування

Ударна хвиля через накопичене стиснене повітря формується у соплі. Після вирівнювання тиску у пневмокамері пружина повертає клапан у положення закривання. Збурювальна сила процесу складає:

$$F_{\pi}(x, t) = 2F_{zm} \sin kx \cdot \sin \omega t, \quad (12)$$

де $F_{zm} = \frac{\Delta P}{S}$ – сила тиску, що є збурювальною силою даного коливального процесу, яку можна визначити за формулою:

$$F_{zm} = \frac{F_n}{2 \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \cdot \sin \omega t}, \quad (13)$$

де $F_n = 0,3 \dots 0,5$ МПа; $\Delta P = P_3 - P_2$.

Враховуючи, що відновлювальна сила $F_{np} = C_x \delta$, тиск P_3 дорівнює:

$$P_3 = \frac{4F_3}{\pi d_k^2} = \frac{4C_x \delta}{\pi d_k^2} \quad P_1 = \frac{F_{\pi}}{S_k} = \frac{F_{\pi} \cdot 4}{\pi \cdot D^2}, \quad (14)$$

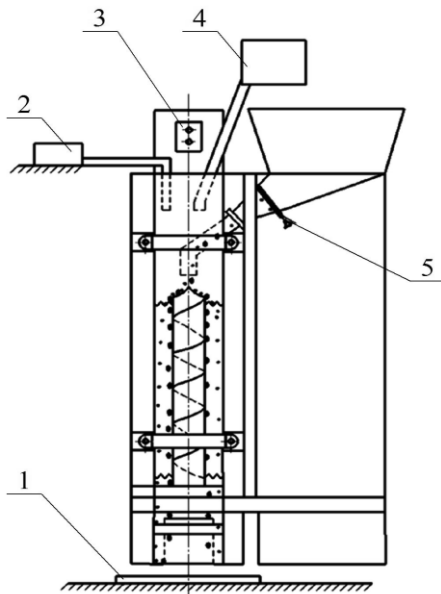
де P_2 – тиск закриття діафрагми; P_3 – тиск відкриття діафрагми.

Опозитне розташування розроблених імпульсних генераторів за однакової рушійної сили формують хвилі з рівними амплітудами силових факторів, які навіть при певному відхиленні початкових фаз при суперпозиції утворюють стоячу хвилю, особливостями якої є (рис. 15):

- частки середовища не рухаються разом із хвилею, а коливаються навколо своїх положень рівноваги;
- у вузлових точках енергія не передається, а у межах відстаней від них у половину довжини хвилі відбувається перетворення кінетичної енергії хвилі у потенційну енергію взаємодії часток сипкої маси продукції;
- утворена хвиля відносно вузлових точок здійснює поперечні коливання, що значно інтенсифікує процес руху зернової маси як в осьовому, так і в радіальному напрямках.

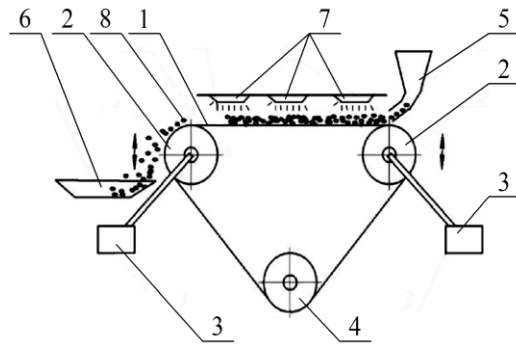
Третій розділ “Програма і методика експериментальних досліджень” присвячений вибору критеріїв оцінки та розроблення методик їх визначення для процесів зберігання при активному вентиляванні холодоносієм продукції зернових, інфрачервоному сушінні олійної продукції, пневмодинамічному фракціонуванні насіння соняшнику із застосуванням вібрації згідно розробленої програми досліджень за основними процесами. Для оцінки рівня техніки, що розробляється, була представлена методика функціонально-вартісного аналізу досліджуваних процесів та обладнання. З метою обробки результатів експериментальних досліджень використовується регресійний аналіз та, відповідно, приводиться методика планування повнофакторного експерименту.

На рис. 16 - 18 приведені схеми лабораторних експериментальних установок розглянутих процесів: сепарація, сушка та охолодження зернової продукції.



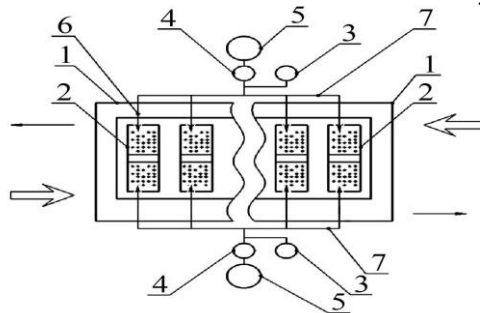
1 – уловлююча поверхня; 2 – трубка Піто-Прандтля; 3 – вентилятор;
4 – анемометр; 5 – регулятор подачі сировини

Рисунок 16 – Експериментальна установка для дослідження роботи віброаспіраційного сепаратора



1 – стрічка; 2 – котки; 3 – вальці;
4 – натяжний коток; 5 – завантажувальний патрубок; 6 – ємність;
7 – інфрачервоні випромінювачі;
8 – оброблюваний матеріал

Рисунок 17 – Експериментальна установка для дослідження роботи віброконвеєрної інфрачервоної сушарки



1 – зерносховище; 2 – піддони; 3 – вентилятор; 4 – пневмоімпульсний барботер; 5 – охолоджувачі; 6 – колектори; 7 – трубопроводи

Рисунок 18 – Експериментальна установка для дослідження системи охолодження із зворушуванням насіння

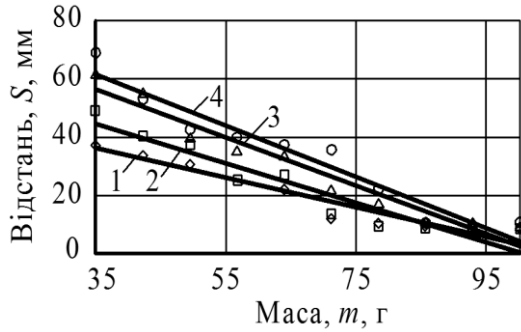
Для проведення досліджень у процесах: сепарації, міжопераційного транспортування до сушіння, охолодження використовували різну рослинницьку продукцію, а саме соняшник, сою, пшеницю.

У ході експериментальних досліджень були розроблені і виготовлені лабораторні установки та необхідні прилади для реєстрації результатів.

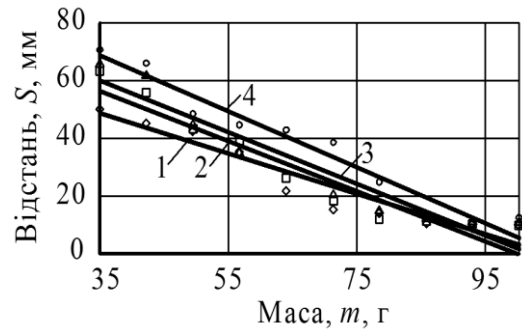
У четвертому розділі “Результати експериментальних досліджень” представлені математичні моделі, що базуються на результатах експериментальних досліджень розроблених процесів зберігання.

За результатами досліджень розробленого віброаспіраційного сепаратора та апроксимації отриманих результатів методом найменших квадратів за допо-

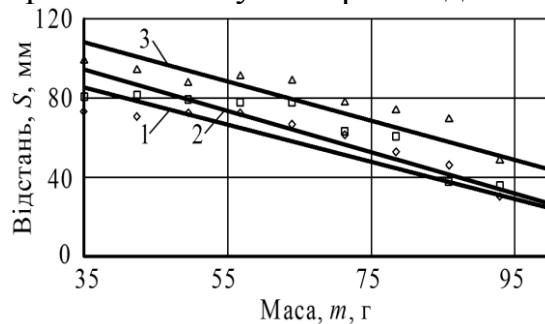
могою середовища Microsoft Excel 2010 були обґрунтовані основні його конструкційні параметри. Аналіз представлених залежностей виявив, що найбільш раціональною довжиною аспіраційного каналу є 0,8 м, за якого важке насіння змінює свою траєкторію та гарантовано потрапляє до бункера цінної фракції; раціонально використовувати діаметр аспіраційного каналу 200 мм, за якого важке насіння не буде досягати бічної стінки та набувати через зіткнення хаотичного руху; при довжині аспіраційного каналу 0,1...0,4 м зміна траєкторії насіння відносно осі розподільника незначна (рис. 19 - 21).



1 – 4,0 м/с; 2 – 4,5 м/с; 3 – 5,0 м/с; 4 – 5,5 м/с
Рисунок 19 – Залежність відстані, на яку відхилено насіння соняшнику при різній швидкості повітряного потоку



1 – 0,5 м; 2 – 0,6 м; 3 – 0,7 м; 4 – 0,8 м
Рисунок 20 – Залежність відстані, на яку відхилено насіння соняшнику при різній довжині аспіраційного каналу



1 – 0 мм; 2 – 10 мм; 3 – 20 мм

Рисунок 21 – Залежність відстані, на яку відхилено насіння соняшнику при зміщенні відстані вкидання насіння відносно центральної осі вертикального каналу

Для оцінки процесу високотемпературної консервації олійної продукції при допомозі розробленої інфрачервоної конвеєрної сушарки було здійснено фізико-математичне моделювання даного процесу за використання 2-ї теореми теорії подібності Федермана-Букінгема та “теорії розмірностей”.

На основі експериментальної бази даних сушіння насіння сої оцінювали найбільш значимий факторний простір процесу, серед яких можна відзначити такі характеристики: коефіцієнт масообміну β ; швидкість транспортування продукції V ; коефіцієнт температуропровідності α ; витрати потужності на процес N_0 ; діаметр зернівки сої d ; питома теплота пароутворення r ; час обробки продукції τ ; маса видаленої вологи m_g ; ω – кутова швидкість приводного валу. Для опису даного процесу використовували критерії подібності Стантона St , Рейнольдса Re , Бурдо Bu та Фруда Fr , які були модифіковані для досліджуваного процесу наступним чином:

$$St = \beta / V; Re = V \cdot d / \alpha; Bu = N_0 / (\Pi_v \cdot r \cdot \rho_e); Fr = V_e \cdot a_e / g, \quad (15)$$

де Π_v – об'ємна продуктивність сушарки; V_e та a_e – відповідно віброшвидкість та віброприскорення приводного віброхвильового механізму.

При допомозі експериментальної бази даних та графоаналітичного методу досліджень теорії подібності визначили критеріальне рівняння досліджуваного процесу сушіння у вигляді:

$$St = A Pe^{-p} \cdot Bu^m \cdot Fr^{-t} = A \cdot Pe^{-0,14} \cdot Bu^{0,55} \cdot Fr^{-3,15}. \quad (16)$$

Використовуючи рівняння (16), можна проектувати типорозмірний ряд інфрачервоних сушарок залежно від закладених параметрів процесу.

Параметри робочих режимів віброхвильового транспортування продукції за інфрачервоного сушіння визначали при задоволенні умов, що дозволяють з мінімальними енерговитратами забезпечити максимальну продуктивність апарата, що має місце у разі забезпечення потрібного зниження вологості сипкої маси за один прохід продуктового потоку при задовільній рівномірності шарової обробки продукції. Реалізація даних умов вимагає синхронізувати робочі параметри двох віброзбуджувачів віброконвеєрної інфрачервоної сушарки, що агреговані в опорних котках деформованого транспортуючого елемента.

Представлені експериментальні характеристики коливної системи (рис. 22) показують, що етап постійної швидкості сушіння починається через 205 с обробки при швидкості транспортування продукції 0,15 см/с; через 520 с обробки при швидкостях 0,4 та 0,6 см/с. Для вказаного режиму швидкість сушіння за швидкості транспортування продукції 0,15 см/с перевищує на 12...13% як за швидкостей переміщення сипкої маси 0,4 та 0,6 см/с.

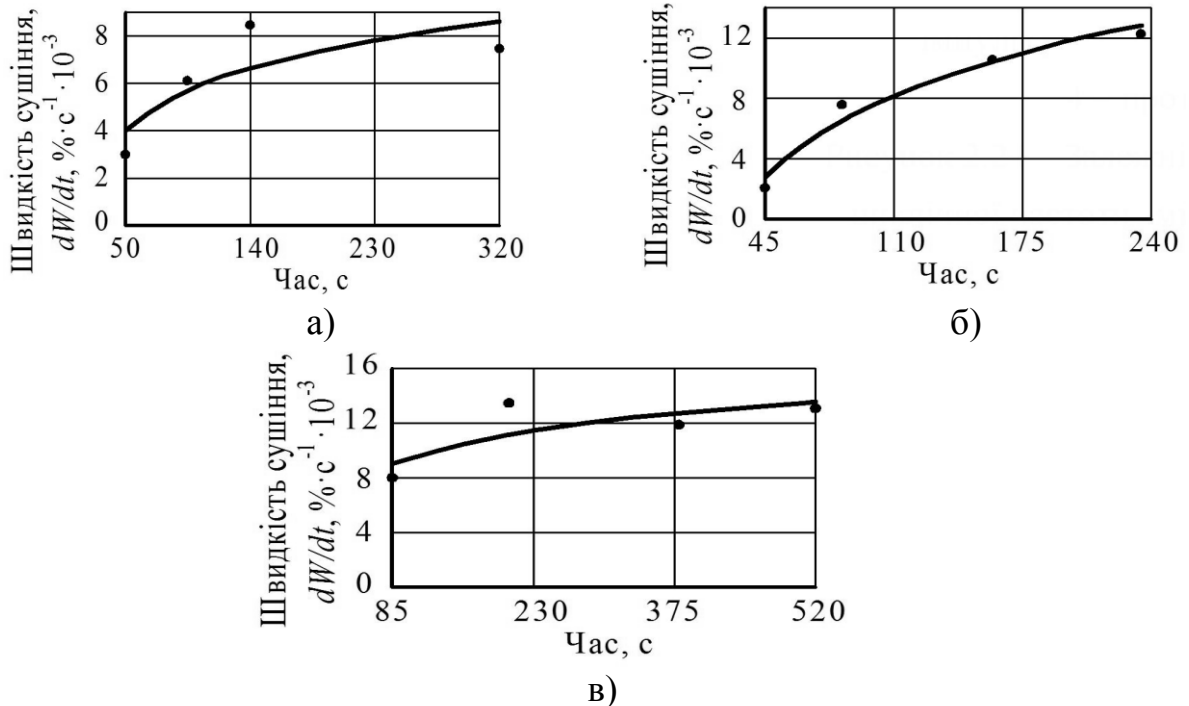


Рисунок 22 – Зміна швидкості втрати вологи за інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції відповідно:

а) – 0,60 см/с; б) – 0,40 см/с; в) – 0,15 см/с

Таким чином, як бачимо з вищенаведених графіків, найбільш придатним робочим режимом транспортування сої в умовах інфрачервоного сушіння є інтервал швидкостей 0,15...0,40 см/с.

Для аналізу впливу терміну зберігання та середньої температури у зернохосовищі на клейковину пшениці були застосовані лінійна та квадратична регресійні моделі, що були побудовані за критерієм мінімізації суми квадратів відхилень при використанні експериментальних досліджень у двох зернохосовищах по основних показниках якості пшениці: клейковини, індексу деформації клейковини та вологості. Заміри проводились 1 раз на тиждень протягом 28 тижнів. У першому зернохосовищі середня температура коливалась від 0 до 8°C, у другому зернохосовищі температура коливалась від 8 до 15°C. Сприятливим та ефективним режимом охолодження зернової маси з використанням імпульсного барботування є діапазон температур від 8 до 15°C, тому що при цих температурах зберігаються показники якості зерна та енергозатрати менші, ніж при використанні температур від 0 до 8°C.

Квадратична регресійна модель, що була побудована на основі даних клейковини для другого зернохосовища має вигляд:

$$y = -21,4681 - 1,4414x_1 + 14,7789x_2 + 0,03069x_1^2 - 0,82105x_2^2. \quad (17)$$

При перевірці значимості параметрів моделі було виявлено, що параметр моделі при факторі x_1x_2 не значимі (при рівні значимості $\alpha = 0,05$, тому із моделі їх вилучили. Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості $\alpha = 0,05$ показала, що при ($F_{набл} = 14328 > F_{табл}(0,05; 4; 23) = 2,8$) модель адекватна (рис. 23, 24). Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,031.

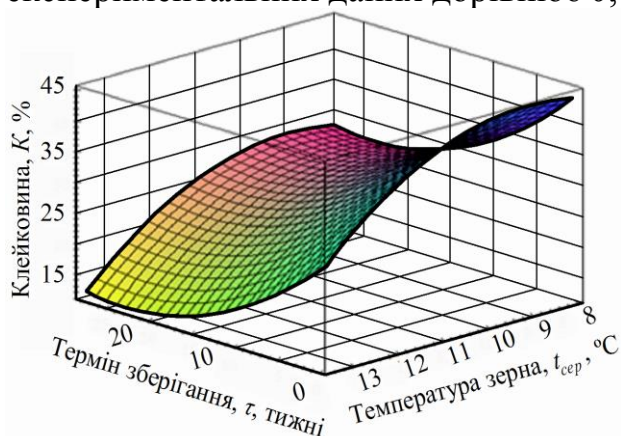


Рисунок 23 – Залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

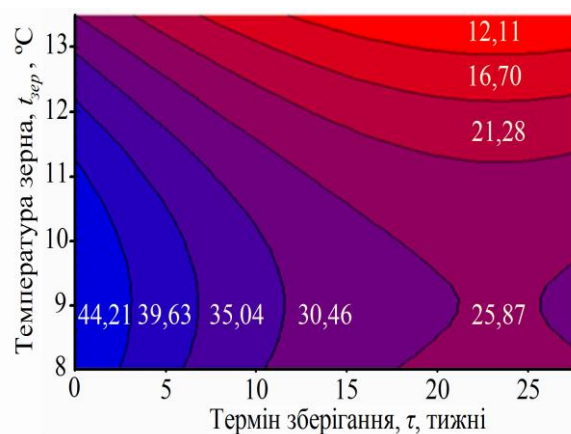


Рисунок 24 – Двовірна залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

Аналогічно була доведена ефективність наступної квадратичної регресійної моделі при оцінці індексу деформації клейковини для пшениці при її зберіганні у першому зернохосовищі:

$$y = 84,9157 - 0,9736x_1 - 1,78446x_2 + 0,014054x_1^2 + 0,053159x_2^2 + 0,03295x_1x_2. \quad (18)$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості $\alpha = 0,05$ показала, що модель адекватна ($F_{набл} = 259 > F_{табл}(0,05; 4; 5; 22) = 2,66$). Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00517 (рис. 25, 26).

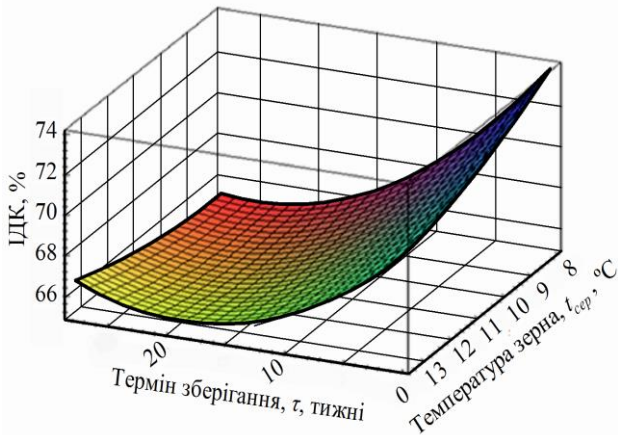


Рисунок 25 – Залежність ІДК пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

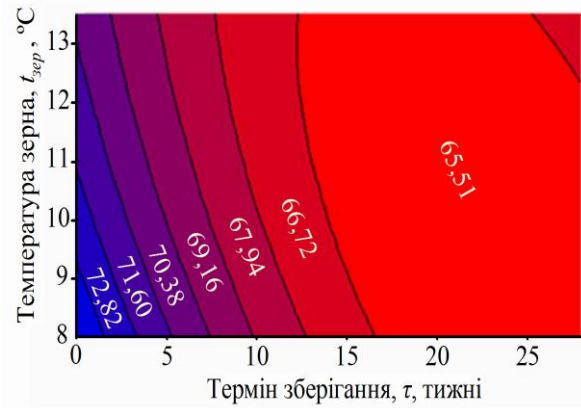


Рисунок 26 – Двомірна залежність ІДК пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 23-24 тижні при температурі не більше 9,5°C, індекс деформації клейковини (ІДК) при цьому складе 65%.

Для аналізу вихідної вологості за вищезазначеною методикою отримали регресійну модель (19). При середньому квадратичному відхиленні теоретичних та експериментальних даних 0,00913 найбільш сприятливим терміном зберігання є 23-24 тижні при температурі більше 9,54°C, вологість при цьому складе 12,11% (рис. 27, 28):

$$y = 13,74241 + 0,163711x_1 - 0,74771x_2 - 0,00152x_1^2 + 0,051092x_2^2 - 0,00958x_1x_2. \quad (19)$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості $\alpha = 0,05$ показала, що модель адекватна ($F_{набл} = 7096,5 > F_{табл}(0,05; 5; 22) = 2,66$).

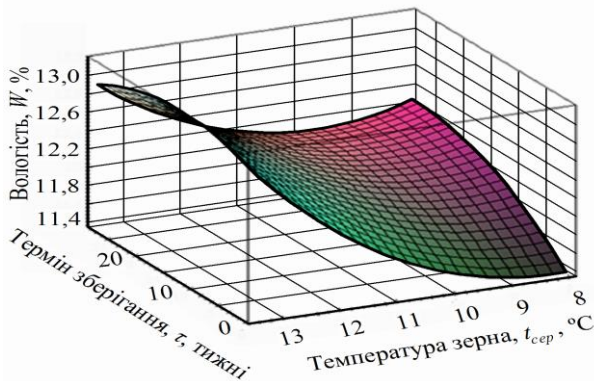


Рисунок 27 – Залежність вологості пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

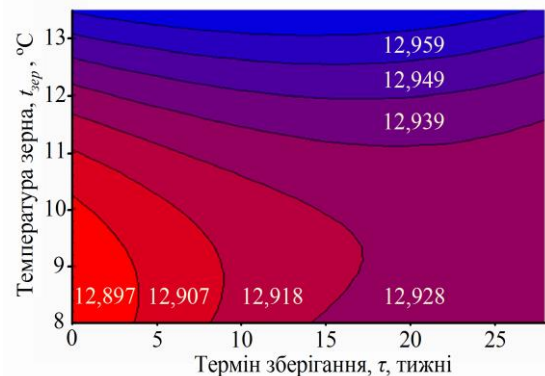


Рисунок 28 – Двомірна залежність вологості пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

Проведення стохастичного моделювання за методом Бокса-Бенкіна здійснювали для процесів віброаспіраційного фракціонування, віброконвеєрного інфрачервоного сушіння насіння олійних культур та конвекційного охолодження насіння зернових культур.

Експеримент по сепарації проводили для насіння середньої та важкої фракції. У ході досліджень вимірювали відсоток насіння після сепарації у відповідному приймальному бункері. Зроблена перевірка адекватності побудованих моделей за критерієм Фішера. На рис. 29 та 30 представлені поверхні відгуків при сепарації насіння важкої фракції, а на рис. 31 та 32 – середньої фракції.

Для процесу сепарації насіння соняшнику раціональне значення важкої фракції буде виконано при наступних значеннях параметрів (рис. 29, 30):

Швидкість сходу насіння:

$$V_0 = x_1 = 0,85 \text{ м/с},$$

Кут введення насіння:

$$\alpha = x_2 = 31,0^\circ,$$

Швидкість повітря:

$$V_V = x_3 = 5,90 \text{ м/с},$$

Кут повороту аспіраційного каналу:

$$\beta = x_4 = 283,5^\circ,$$

Розмір парусного елемента:

$$a = x_5 = 10,5 \text{ мм}.$$

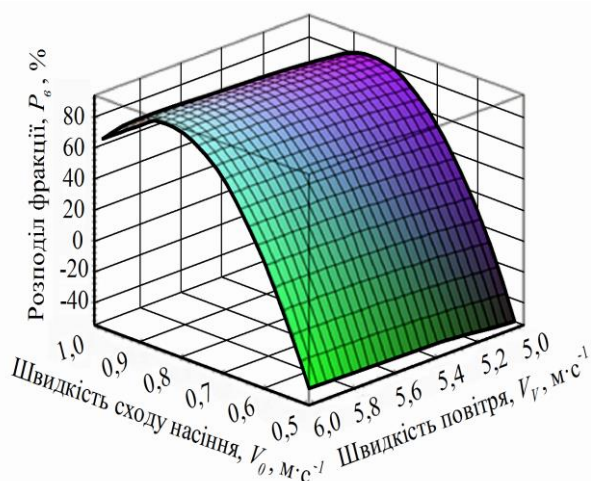


Рисунок 29 – Залежність розподілу фракцій від швидкості сходу насіння V_0 та швидкості повітря V_V при фіксованих значеннях факторів:
 $\beta = 283,5^\circ$, $a = 10,5 \text{ мм}$; $\alpha = 31,0^\circ$

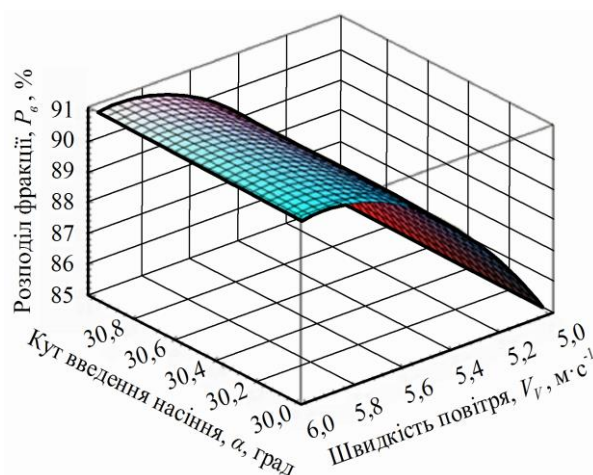


Рисунок 30 – Залежність розподілу фракцій від кута введення насіння α та швидкості повітря V_V при фіксованих значеннях факторів:
 $V_0 = 0,85 \text{ м/с}$, $\beta = 283,5^\circ$, $a = 10,5 \text{ мм}$

Для середньої фракції раціональне значення буде виконано при таких параметрах (рис. 31, 32):

Швидкість сходу насіння:

$$V_0 = x_1 = 0,86 \text{ м/с},$$

Кут введення насіння:

$$\alpha = x_2 = 31,5^\circ,$$

Швидкість повітря:

$$V_V = x_3 = 5,93 \text{ м/с}$$

Кут повороту аспіраційного каналу:

$$\beta = x_4 = 286,7^\circ,$$

Розмір парусного елемента:

$$a = x_5 = 10,2 \text{ мм}.$$

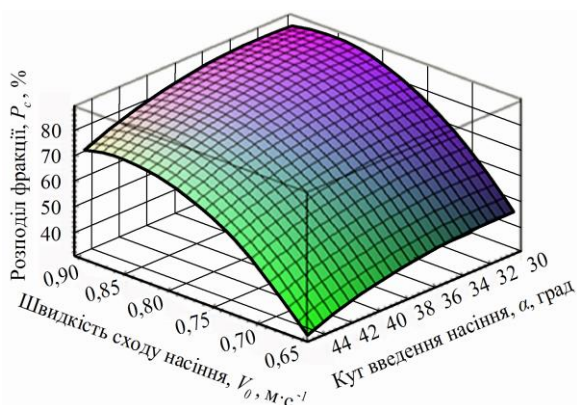


Рисунок 31 – Залежність розподілу фракцій від швидкості сходу насіння V_0 та кута введення насіння α при фіксованих значеннях факторів:

$$V_V = 5,93 \text{ м/с}, \beta = 286,7^\circ, a = 10,2 \text{ мм}$$

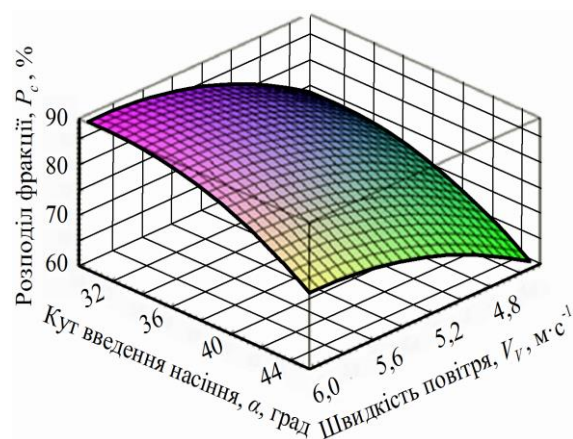


Рисунок 32 – Залежність розподілу фракцій від кута введення насіння α та швидкості повітря V_V при фіксованих значеннях факторів:

$$V_0 = 0,85 \text{ м/с}, \beta = 286,7^\circ, a = 10,2 \text{ мм}$$

Для процесу транспортування сої у зоні сушіння були виявлені оптимальні значення вологості оброблюваного матеріалу 12,35...12,45 % (рис. 33, 34). Відповідно до побудованої моделі таке значення вологості досягається при наступних параметрах:

Амплітуда коливання: $A = x_1 = (3,5 \pm 0,45) \text{ мм}$

Відстань від поверхні: $d = x_2 = (20 \pm 1,3) \text{ мм}$,

Потужність випромінювання: $N = x_3 = (350 \pm 13) \text{ Вт}$,

Подача матеріалу: $m = x_4 = (2670 \pm 90) \text{ г/хв}$.

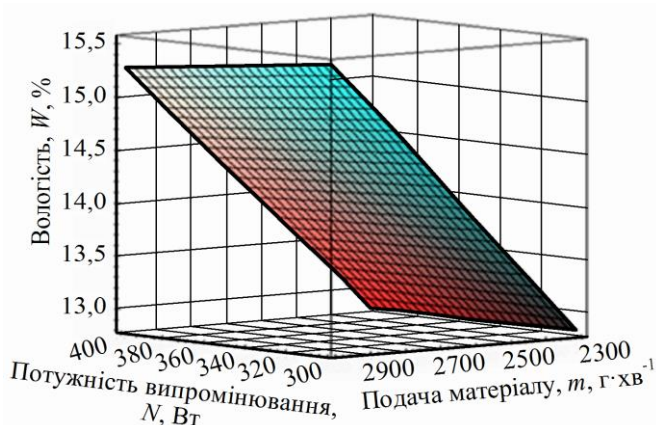


Рисунок 33 – Залежність вологості насіння від потужності випромінювання N та подачі матеріалу m при фіксованих значеннях факторів:
 $A = 3,5 \text{ мм}, d = 20 \text{ мм}$

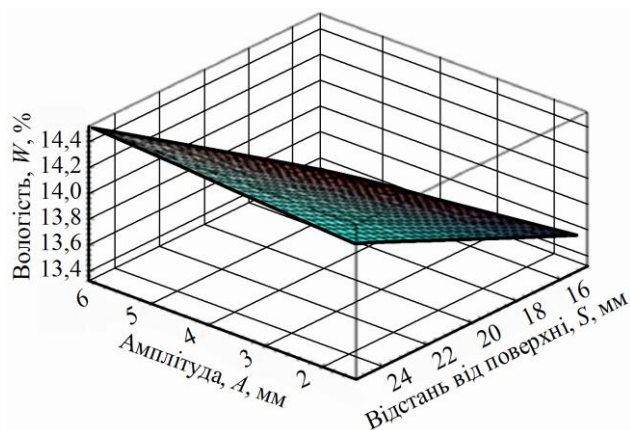


Рисунок 34 – Залежність вологості насіння від амплітуди A та відстані від поверхні S при фіксованих значеннях факторів: $m = 2670 \text{ г/хв}, N = 350 \text{ Вт}$

Рациональні значення температури всередині шару продукції становлять 47...50 °С (рис. 35, 36). Відповідно до побудованої моделі таке значення температури досягається при наступних параметрах:

Амплітуда коливання: $A = x_1 = (3,9 \pm 0,45)$ мм ,

Відстань від поверхні: $d = x_2 = (19 \pm 1,3)$ мм ,

Потужність випромінювання: $N = x_3 = (355 \pm 13)$ Вт ,

Подача матеріалу: $m = x_4 = (2675 \pm 90)$ г/ хв .

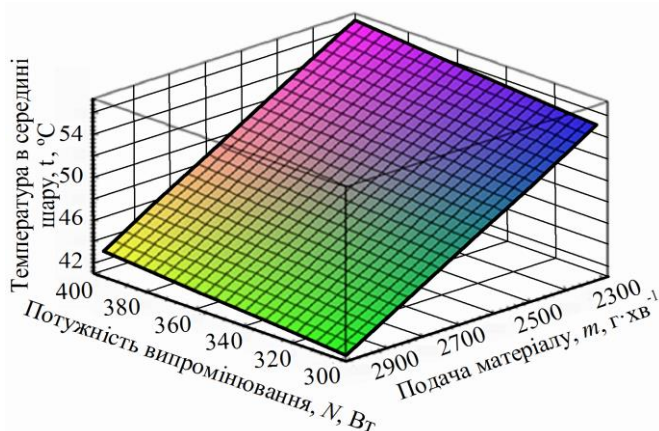


Рисунок 35 – Залежність температури в середині шару насіння від потужності випромінювання N та подачі матеріалу m при фіксованих значеннях факторів:

$$A = 3,9 \text{ мм} , d = 19 \text{ мм}$$

При оцінці якісних параметрів пшениці, що зберігається за розробленої схеми охолодження, раціональне значення вмісту клейковини дорівнює 28,1 % та реалізується при фіксованих значеннях таких факторів: температура холодноносія $t_{хд} = 4,0^\circ\text{C}$, температура повітря у зерносклаві $t_n = 5,7^\circ\text{C}$, середня температура зерна $t_{сеп} = 9,6^\circ\text{C}$; вологість зерна $W = 12,5\%$, об'ємна подача повітря $P = 10800 \text{ м}^3/\text{год}$ (рис. 37, 38).

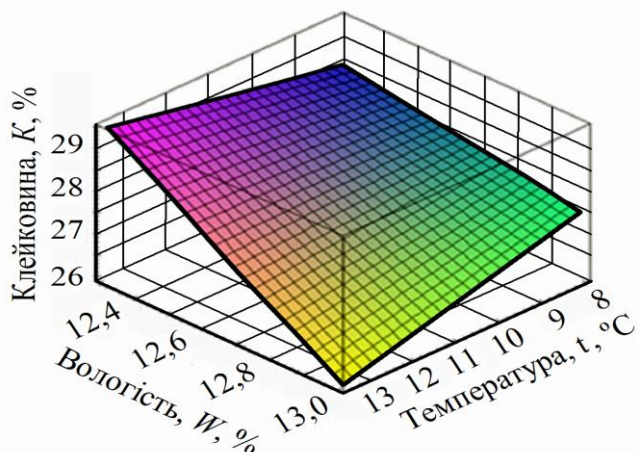


Рисунок 37 – Залежність вмісту клейковини від вологості зерна W та температури зерна $t_{сеп}$ при фіксованих значеннях факторів:

$$P = 10800 \text{ м}^3/\text{год} ,$$

$$t_{хд} = 4,0^\circ\text{C} , t_n = 5,2^\circ\text{C}$$

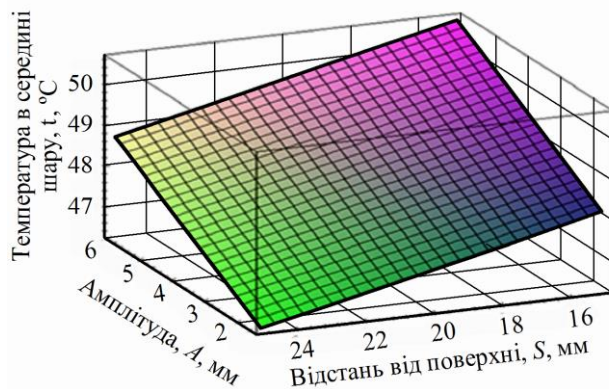


Рисунок 36 – Залежність температури в середині шару насіння від амплітуди A та відстані від поверхні S при фіксованих значеннях факторів:

$$m = 2675 \text{ г/ хв} , N = 355 \text{ Вт}$$

При оцінці якісних параметрів пшениці, що зберігається за розробленої схеми охолодження, раціональне значення вмісту клейковини дорівнює 28,1 % та реалізується при фіксованих значеннях таких факторів: температура холодноносія $t_{хд} = 4,0^\circ\text{C}$, температура повітря у зерносклаві $t_n = 5,7^\circ\text{C}$, середня температура зерна $t_{сеп} = 9,6^\circ\text{C}$; вологість зерна $W = 12,5\%$, об'ємна подача повітря $P = 10800 \text{ м}^3/\text{год}$ (рис. 37, 38).

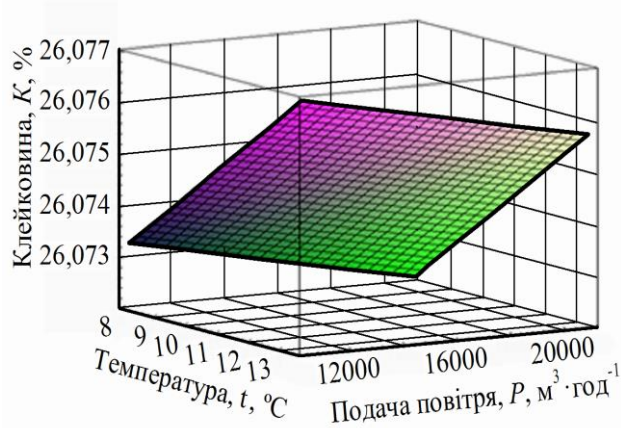


Рисунок 38 – Залежність вмісту клейковини від температури зерна $t_{сеп}$ та об'ємної подачі повітря P при фіксованих значеннях факторів:

$$W = 12,5\% ,$$

$$t_{хд} = 4,0^\circ\text{C} , t_n = 5,2^\circ\text{C}$$

Перевірку адекватності здійснювали по кожному із досліджуваних процесів проектованої системи зберігання. Враховуючи, що проектовані зерносховища можуть бути багатофункціональними, аналіз критеріїв оцінки проводили для технології обробки насінневого матеріалу.

П'ятий розділ “Результати впровадження та техніко-економічне обґрунтування розробленої системи зберігання”. Високий потенціал енергетичних та економічних характеристик сформованої системи зберігання зернової продукції дозволив провести успішну виробничу апробацію та розробити відповідні практичні рекомендації на підприємства.

Важливу роль збереження з подальшою реалізацією зернової та олійної продукції відіграє розвиток та впровадження нових підходів для ведення сільськогосподарського виробництва та діяльності на підприємствах, які, в свою чергу, зацікавлені вкласти невеликі кошти в обладнання та отримати якісну продукцію і прибуток від реалізації.

Відмічається, що зараз інтенсивно розвивається фермерське господарство, тому постала проблема у пошуках найбільш рентабельного використання ресурсів, які пов'язані із збереженням врожаю у себе в господарстві та подальшою його переробкою.

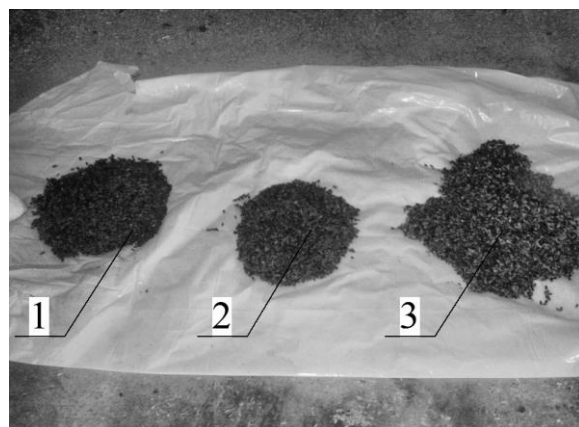
За результатами досліджень була розроблена науково-технічна документація на проектоване оснащення системи зберігання зернової продукції, частина з якого пройшла виробничу апробацію та була впроваджена у сільськогосподарських та машинобудівних підприємствах, фермерських господарствах.

За результатами дисертаційних досліджень та наданої технічної документації на підприємствах ТОВ “МПП-АГРО” та ТОВ “Мелітопольський завод турбокомпресорів” були виготовлені промислові зразки віброаспіраційного сепаратора відповідно до особливостей їх конструкції та технічних характеристик.

Віброаспіраційні сепаратори знайшли своє впровадження у ТОВ “СПП ЛАНА” Михайлівського району с. Плодородне та СФГ “ВІТА” Якимівського району с. Ленінське (рис. 39, 40) Запорізької області.



Рисунок 39 – Віброаспіраційний сепаратор ВАС–7 під час сепарації насіння соняшнику в СФГ “ВІТА”



1 – важка фракція; 2 – середня фракція;
3 – загальна маса до сепарування
Рисунок 40 – Насінневий матеріал соняшнику

На основі проведення експериментальних досліджень розроблена віброконвеєрна інфрачервона сушарка була впроваджена у ТОВ “Агрофірма Ольвія” Приазовського району с. Чкалове Запорізької обл. (рис. 41).

Виготовлення промислових зразків сушарки було здійснене на ПАТ “Гідросила МЗТГ” (Мелітопольський завод тракторних гідроагрегатів).



Рисунок 41 – Віброконвеєрна інфрачервона сушарка, яка застосовувалась у ТОВ “Агрофірма Ольвія”

Збереження природних властивостей зерна на практиці за рахунок використання холоду, а холод – дешевий і незамінний консервант будь-якої сільськогосподарської продукції, дозволяє підвищити ефективність тривалого зберігання.

Був проведений порівняльний аналіз експлуатаційних показників роботи існуючих зерносховищ у товаристві з обмеженою відповідальністю “Агрофірма Ольвія” та розробленого зерносховища із застосуванням охолодження у процесі зберігання (рис. 42).

При цьому розміщення зерна у сховищах здійснювали на спеціальних піддонах (рис. 43), дослідні зразки які були виготовлені за спеціальним замовленням на таких підприємствах, як ПАТ “ГІДРОСИЛА МЗТГ та ТОВ “Гідросила-Тетіс”.



а)



б)

а) зерносховище, що оснащено розробленою системою охолодження;

б) система охолодження між двома зерносховищами

Рисунок 42 – Загальний вигляд зерносховищ ТОВ “СПП ЛАНА”:



Рисунок 43 – Розташування металевих піддонів з бортами відносно бетонної підлоги зерносховища

В ході роботи використовували пшеницю (сорт: Шестопалівка), вирощену в Запорізькій області (рис. 44).



Рисунок 44 – Зерносховище з завантажувальним зерновим матеріалом у піддонах з бортами під час охолодження у ТОВ “СПП ЛАНА”

Завдяки запропонованій технології вдалося зменшити втрати пшениці у процесі зберігання, а саме зберегти 2 клас пшениці після 6 місяців. Термін окупності даного зерносховища становить 1,04 року.

Зернову продукцію зберігали в ТОВ “СПП ЛАНА” не на підлозі насипом, а на певній відстані від неї для запобігання небажаного зволоження продукції. У результаті впровадження матеріалів розробки і досліджень зерносховища для зберігання сільськогосподарської продукції із застосуванням охолодження в цілому, виявили доцільним.

Для оцінки конкурентоспроможності та рівня розроблених техніки та технологій використовували аналіз сучасних методів розрахунків зберігання зернової продукції, зокрема високий рейтинг отримала розроблена схема низькотемпературної обробки зернових мас при застосуванні у якості критеріїв оцінки: вмісту клейковини, вологості, питомих енерговитрат на систему зберігання, об’єму комплексу для зберігання, орієнтовної вартості капіталовкладень.

Розроблена система зберігання зернової та олійної продукції за структурою містить дві основні складові: підсистему підготовки насінневого матеріалу до зберігання, що включає операції фракціонування та сушіння; підсистему для

зберігання насінневого матеріалу шляхом активного вентилявання та барботування при застосуванні потоків холодоносія.

Результати аналізу розрахунків підтверджують ефективність використання власного насінневого матеріалу соняшнику, у порівнянні з його купівлею: економія загальних витрат на насіння становить 171,1 грн/га. За рахунок підвищення врожайності на 4,5 ц/га, отримали економічний ефект 4050 грн/га, та прибуток від реалізації соняшнику збільшується на 53538,4 грн/га (таблиця 1).

Таблиця 1 – Економічна ефективність реалізації соняшнику при застосуванні віброаспіраційного сепаратора

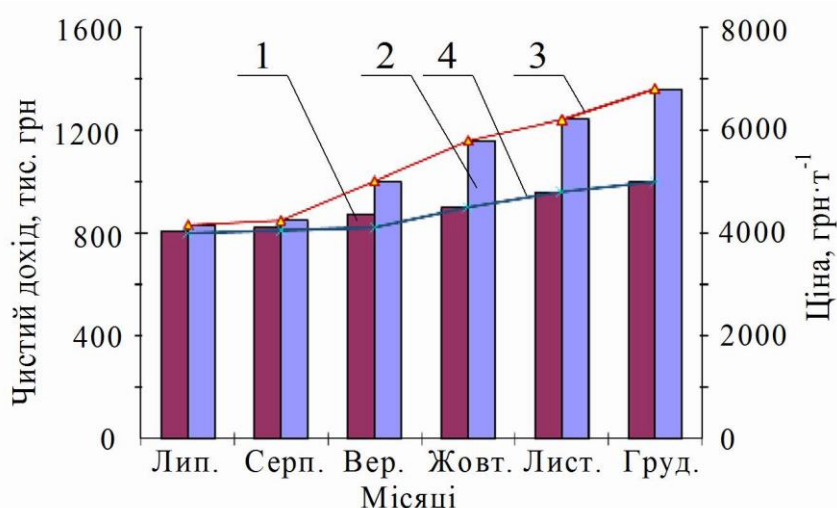
Показники	Без сепарування	Із сепаруванням	Відхилення, +/-
Повна собівартість, грн/ц	791,2	2410,0	1618,8
Середня урожайність, ц/га	19,5	24,0	4,5
Ціна реалізації, грн/ц	900,0	5000,0	4100,0
Чистий дохід, грн	17550,0	120000,0	102450,0
Повна собівартість всієї продукції, грн	15428,4	57840,0	42411,6
Витрати на виготовлення сепаратора, грн	-	6500	6500
Прибуток, грн	2121,6	55660,0	53538,4
Рентабельність, %	13,8	96,2	82,4

Техніко-економічна оцінка засобів механізації для інфрачервоного сушіння наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Техніко-економічна ефективність технологічної машини

Показники	Розробленої машини	Базової машини	Відхилення +/-
Продуктивність машини, кг/год	160	150	10
Металоемкість конструкції, кг	120	550	430
Енергоємність машини, Вт	3689,4	29040	25350,6
Енерговитрати, грн	24991	196710	171719
Загальні експлуатаційні витрати	80714,1	-	-
Ефект від економії енерговитрат E_2 , грн	171719	-	-
Ефект від зменшення металоемкості конструкції E_1 , грн	25800	-	-
Загальний очікуваний економічний ефект E , грн	197519	-	-
Термін окупності T_o , роки	0,4	-	-

Стосовно охолодження зернової маси, то з економічної точки зору розрахований чистий дохід по кожному місяцю реалізації (рис. 45).



1 – від реалізації базової технології, грн; 2 – від реалізації проектної технології, грн; 3 – ціна пшениці 2 - 3 класу, грн/т; 4 – ціна пшениці 4 - 5 класу, грн/т
Рисунок 45 – Чистий дохід від реалізації пшениці при зберіганні за базовою та проектною технологіями:

Ефективність застосування проектного устаткування в зерносховищі розраховали, враховуючи різницю між прибутком за проектною та базовою технологіями. Прибуток від реалізації зернової продукції, що зберігалась від 1 до 6 місяців становить 1758 та 4286,4 грн/т відповідно.

Застосування проектного устаткування у зерносховищі з активним вентиляванням та барботуванням сипкої продукції за конвекційного потоку холодноносія дозволить отримати: річний економічний ефект у розмірі 317600,5 грн за терміну окупності устаткування 1,04 роки.

При розгляді питання економічної ефективності виробництва більшість з представлених факторів за проектою системою зберігання свідчать про високі технологічні та технічні показники представлених засобів досліджуваних процесів, що дозволить налагодити процес виробництва та випуск якісної продукції з найменшими можливими витратами.

ВИСНОВКИ

Дисертація спрямована на розв'язання науково-технічної проблеми, суть якої полягає у техніко-технологічному обґрунтуванні енергоощадної системи післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур при максимальному збереженні їх вихідних властивостей. За результатами досліджень сформульовано наступні висновки.

1. На основі аналізу досвіду сучасних технологій збирання врожаю зернових і олійних культур та засобів механізації процесів їх первинної переробки і зберігання сформовані принципи побудови їх системи зберігання, обґрунтовані та розроблені ефективні засоби механізації для функціонування цієї системи; зокрема, схеми і моделі віброаспіраційного і пневмодинамічного сепаратора, інфрачервоної сушарки з віброхвильовим механізмом для транспортування насінневого матеріалу у зоні обробки за безперервного режиму переміщення та пошарового оновлення поверхонь контакту з енергоносієм, зерносховища з ак-

тивним потоком холодоносія, імпульсного пневмодинамічного барботера для ворушіння сипкої маси при її зберіганні насипом у сховищах.

2. За результатів теоретичних досліджень встановлено, що високий рівень якості розділення насіння соняшнику отримується при використанні розробленого вертикального віброаспіраційного сепаратора, центральна труба якого виконана з можливістю здійснення кутових автоколиваний і оснащена конусним розподільником та 20 спеціальними парусними елементами висотою 10,25...10,50 мм, що дозволило утворити у зоні фракціонування додаткові рушійні збурювальні сили величиною 68...100 Н та обертового моменту, величина якого склала 2,7...4,1 кН·м.

3. За результатами виконання та обробки експериментальних досліджень для визначення раціонального рівня якості розділення фракцій соняшнику при швидкості зустрічного повітряного потоку у межах 4,5...5,5 м/с рекомендували: кут нахилу твірної конусного розподільника вертикального сепаратора повинен дорівнювати 40°, що дозволить здійснити подачу насіння соняшнику під кутом 31...32° до осі розподільника та сходження з нього насінневого матеріалу у вертикально напрямлений повітряний потік зі швидкістю 0,8 м/с.

Для збільшення вмісту насінин важкої фракції в умовах віброаспіраційної сепарації 91,1% необхідно забезпечити швидкість сходження насіння 0,85 м/с, кут введення насіння до розподільника 31,0 °, швидкість повітряного потоку 5,9 м/с, кут повороту аспіраційного каналу 283,5 °, висоту парусного елемента 10,5 мм. Відсоток середньої фракції за проектованого процесу обробки досягається 88,4 % за таких параметрів: швидкості сходження насіння 0,86 м/с, кута введення насіння до розподільника 31,5 °, швидкості повітряного потоку 5,92 м/с, кута повороту аспіраційного каналу 286,7 °, висоти парусного елемента 10,25 мм.

4. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень функціонування розробленої інфрачервоної зерносушарки з комбінованим віброзбуджувачем стабільний хвильовий рух його робочого вальця має місце при зміні кутової швидкості приводного валу у діапазоні 50...80 рад/с.

5. Встановлено, що раціональний діапазон швидкості транспортування насіння сої у процесі інфрачервоного сушіння складає 0,15...0,60 см/с. Зростання цього параметра у вказаних межах збільшує час настання етапу постійної швидкості сушіння сої більш як у 2,5 рази (з 205 с до 520 с), стабілізуючи його на рівні 520 с, що дозволяє рекомендувати діапазон швидкостей транспортування насіння у зоні інфрачервоного опромінення 0,15...0,40 см/с для досягнення необхідної вологості за один прохід продукції хвильовим конвеєром.

Необхідне значення вологості насіння сої 12,45 % після сушіння у розробленій інфрачервоній сушарці досягається за наступних діапазонів зміни параметрів даного процесу: амплітуді коливаний віброзбуджувача 3,5...3,9 мм, відстані до поверхні випромінювача 19...20 мм, потужності випромінювача 350...355 Вт, подачі матеріалу 0,156...0,160 т/год, інтервалу температури усередині шару оброблюваної продукції 47...50 °С.

6. Теоретичними дослідженнями встановлено, що інтенсивне барботування та відповідно перемішування зернової маси у горизонтальній площині можливе при застосуванні стоячої пневмодинамічної хвилі за умови опозитного розташування імпульсних генераторів. Робочий тиск останніх має бути у межах 0,3...0,5 МПа, а співвідношення тисків відкривання (P_3) і закривання (P_2) діафрагми пневматичної робочої камери має відповідати умові $P_3 = (3,5...5)P_2$. За результатами експериментальних досліджень процесу пневмоімпульсного барботування виявили, що за амплітудного значення імпульсу 300...500 кПа по довжині піддону із зерновою продукцією спостерігається зменшення надлишкового тиску за ударною хвилею лише на 12 кПа; так як ударна хвиля практично не втрачає своєї функціональності на відстані 5 м, тобто проектованої довжини піддона з продукцією.

7. Найбільш сприятливим терміном зберігання насіння зернової сировини є 24 тижні. Показник клейковини при цьому складе 28,1 % за температури не більше 9,0 °С, показник індексу деформації клейковини 65 % за температури 9,5 °С, а показник вологості – 12,11 % за температури 9,54 °С.

Необхідне значення вмісту клейковини у зерновій продукції дорівнює 28,1 % за таких раціональних параметрів режиму її зберігання: вологості зернового матеріалу 12,5 %, об'ємній подачі повітря 10800 м³/год, температурі холодоагента 4,0 °С, температурі повітря у сховищі 5,7 °С, середній температурі насипного зерна у зерносховищі 9,5 °С.

8. Розроблення представлених засобів механізації післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур дозволяє отримати наступні показники техніко - економічної ефективності:

- реалізація операції фракціонування насіння за допомогою віброаспіраційного сепаратора дає змогу отримати економічний ефект за рахунок збільшення урожайності соняшника у межах 4050 грн/га при економії сукупних витрат на насіння 171,1 грн/га; прибуток збільшується на 53538,4 грн, а рентабельність виробництва на 82,4 %;

- для інфрачервоного сушіння ефект від зменшення металоємкості конструкції та економії енерговитрат при експлуатації машини складає 25800 грн та 171719 грн відповідно, термін окупності 0,4 року;

- застосування проектного устаткування у зерносховищі з активним вентиляванням та барботуванням сипкої продукції за конвекційного потоку холодноносія дозволить отримати: річний економічний ефект у розмірі 317600,5 грн за терміну окупності устаткування 1,04 роки; прибуток від реалізації пшениці, що зберігалась у проектованому зерносховищі від 1 до 6 місяців становить 1758 та 4286,4 грн/т відповідно.

СПИСОК

ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях

1. Богданов Є. В., Кюрчев С. В. Теоретичне дослідження явища резонансу дебалансного вібраційного дозатора сипких матеріалів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2010.

Вип. 10. Т. 6. С. 65 - 69. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку дебалансних вібробуджувачів.**

2. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруємого матеріалу. *Збірник наукових праць. Серія: Технічні науки / Вінницький національний аграрний університет.* Вінниця: ВНАУ, 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 322 - 327. **Внесок здобувача: розробка технології процесу післязбиральної обробки сільськогосподарських культур.**

3. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Методика дослідження раціонального діаметра патрубків постачання насіння в середині вертикального аспіраційного каналу. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : зб. наук. праць.* Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т. 3. С. 146 - 150. **Внесок здобувача: обґрунтування технологічно-конструктивної схеми гравітаційно-аспіраційного сепаратора.**

4. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць.* Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т. 6. С. 204 - 212. **Внесок здобувача: кінематичний аналіз гравітаційно-аспіраційної системи розділення на фракції зернової сировини.**

5. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження раціональних розмірів вертикального аспіраційного каналу сепаратора насіння сільськогосподарських культур. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Серія: технічні науки.* Харків: ХНТУСГ, 2014. Вип. 148. С. 56 - 63. **Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень геометричних параметрів аспіраційних сепараторів.**

6. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Особенности хранения зерновых запасов. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць.* Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 3. С. 189 - 194. **Внесок здобувача: розробка технології післязбиральної обробки та зберігання зернової продукції.**

7. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Багатокритеріальний аналіз існуючих сепараторів насіння із різним робочим знаряддям. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Серія: технічні науки / ХНУТСГ ім. П. Василенка.* Харків, 2015. Вип. 156. Т. 1. С. 86 - 92. **Внесок здобувача: розробка методики багатокритеріального аналізу конструктивних схем обладнання для аспіраційної сепарації насіння зернових культур.**

8. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Визначення параметрів оптимізації процесу охолодження зерна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. П. Василенка.* Харків, 2015. Вип. 163. С. 228 - 239. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку статистичних характеристик процесу охолодження зернових мас.**

9. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Конструктивные особенности установки для сушки и охлаждения зерна активным вентилярованием. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 5. Т. 1. С. 108 - 113. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>. **Внесок здобувача: розробка технології конвективного охолодження зернової продукції потоком холодоносія.**

10. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Стручаєв М. І., Верхованцева В. О. Дослідження процесу теплообміну при охолодженні шару зерна пшениці. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 166. С. 50 - 56. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесів тепломасообміну при охолодженні зернових мас потоком холодоносія.**

11. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження форми і параметрів живильно-розподільчого пристрою пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. *Інженерія природокористування*. 2016. №2(6). С. 52 - 57. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку параметрів процесу транспортування насіння олійних культур у каналі аспіраційного сепаратора.**

12. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати впровадження пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 211 - 217. **Внесок здобувача: отримані результати виробничої апробації гравітаційно-аспіраційного сепаратора насіння соняшника.**

13. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження впливу коефіцієнта теплопровідності на вологість зернового матеріалу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. Харків, 2016. Вип. 179. С. 26 - 31. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу критеріїв подібності теплообмінних процесів.**

14. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження ентальпії у процесі зберігання зернової маси із застосуванням охолодження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 1. С. 62 - 67. **Внесок здобувача: розробка методики графоаналітичного аналізу теплообмінних та енергетичних характеристик процесу охолодження сипких мас.**

15. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Разработка рекомендации по хранению пшеницы в зернохранилище. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 166 - 173. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень процесів зберігання пшениці у зерносковищах.**

16. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Визначення важливого фактора якості пшениці у процесі зберігання із застосуванням охолодження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 1. С. 20 - 28. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень якісних параметрів при зберіганні**

пшениці в умовах активного вентилявання потоком холодносія.

17. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Обґрунтування параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції з віброхвильовим конвеєром. *Наукові праці: наук. збірник / Одеська національна академія харчових технологій*. Одеса, 2018. Вип. 82. Т. 1. С. 122 - 127. URL: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/swonaft/article/view/1024> **Внесок здобувача: проведено аналіз теплообмінних параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції.**

18. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Колодій О. С. Математичне моделювання віброаспіраційного сепарування насіннєвого матеріалу. *Вісник ЛНАУ: агроінженерні дослідження № 22, 2018*. С. 172 - 176. **Внесок здобувача: розробка коливальної системи у віброхвильовому транспортуванні насіннєвого матеріалу.**

19. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Обґрунтування конструкції та принципу роботи віброаспіраційного сепаратора. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 99 - 108. **Внесок здобувача: розробка конструкції та принципу роботи віброаспіраційного сепаратора.**

20. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Дослідження динаміки руху насінинни при виході з живильного конуса віброаспіраційного сепаратора. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8. Т. 2., DOI:10.31388/2220-8674-2018-2-20. **Внесок здобувача: отримані результати дослідження у віброаспіраційному сепараторі.**

Публікації у закордонних виданнях

21. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Методики дослідження раціонального діаметра патрубків постачання насіння всередині вертикального аспіраційного каналу та раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013. Vol. 15. № 2. P. 284 - 293. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку геометричних параметрів аспіраційних сепараторів.**

22. Кюрчев С. В., Колодій А. С. Математическое описание поведения зерновок подсолнечника в воздушном потоке разделительных установок. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. № 9. P. 13 - 19. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесу аспіраційного розділення сипких мас.**

23. Кюрчев С. В., Колодій А. С. Результаты исследования разработанного сепаратора семян с вертикальным аспирационным каналом. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2014. Vol. 16. № 2. P. 322 - 329. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень геометричних параметрів аспіраційних сепараторів для обробки насіння сільськогосподарських культур.**

24. Kiurchev S., Vercholantseva V. Linear and nonlinear relationship of wheat storage characteristics. *Canadian Scientific Journal*. ISSUE 1. 2015. VOL. 2. pp. 10 - 15. **Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень проце-**

сів зберігання зернової продукції у сховищах за її активної обробки охолодженням потоком повітря.

25. Кюрчев С. В. Конструктивні особливості зерносховища із застосуванням охолодження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ: НУБІП, 2018. Вип. 298. С. 105 - 110. **Внесок здобувача: розробка конструкції зерносховищ із застосуванням охолодження.**

26. Кюрчев С. В. Методика дослідження впливу вологості насіння соняшника на раціональну швидкість повітряного потоку у пневмогравітаційному сепараторі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ : НУБІП, 2018. Вип. 296 С. 139 - 141. **Внесок здобувача: розробка методики досліджень впливу вологості насіння в пневмогравітаційному сепараторі.**

Патенти

27. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 86300 Україна: МПК⁵¹ B07В 1/28 (2006.01) / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. № 86300; заявл. 21.06.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. №24. 4с. **Внесок здобувача: проведено аналіз конструкційно-технологічних схем аспіраційних сепараторів.**

28. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 102657 Україна: МПК⁵¹(2015.01) B07В 1/00 / С. В. Кюрчев, В. М. Малкіна, О. С. Колодій. № 102657; заявл. 19.05.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл. №21. 4 с. **Внесок здобувача: розробка технології аспіраційного розділення насіння зернових культур.**

29. Пневмогравітаційний сепаратор для насіння: пат. 119052 Україна: МПК⁵¹ B07В 1/28 /С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. № 119052 ; заявл. 20.03.2017 ; опубл. 11.09.2017, Бюл. №17. 4 с. **Внесок здобувача: отримані результати аналізу конструктивного виконання машин для аспіраційно-гравітаційної сепарації сипких мас.**

30. Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів: пат. 129217 Україна: МПК⁵¹ F25/08 (2006.01) / М. І. Стручаєв, Н. П. Загорко, С. В. Кюрчев, В. О. Верхоланцева, В. В. Тарасенко. № 129217 ; заявл. 17.04.2018 ; опубл. 25.10.2018, Бюл. №20. 4с. **Внесок здобувача: розробка конструкційно-технологічної схеми пристрою.**

Матеріали доповідей на наукових конференціях

31. Кюрчев С. В., Колодій О. С., Мельник К. Л. Дослідження руху насіння в аспіраційному каналі пневмогравітаційного сепаратора методами числових експериментів. *Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доповідей XVII Міжнар. наук. конф., присвяченої 116-річчю з дня народження П. М. Василенка (17 – 18 жовтня 2016 р., м. Суми). Суми, 2016. С. 156 - 160. Внесок здобувача: отримані результати обробки експериментальних даних для оцінки процесу аспіраційної сепарації насіння сільськогосподарських культур.*

32. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на вологість зерна. *Інноваційні технології в АПК: тези V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (травень 2015 р., м. Луцьк) / Луцький НТУ. Луцьк: РВВ Луцького*

НТУ, 2015. С. 60 - 62. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку теплообмінних параметрів процесу охолодження сипких мас.**

33. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Економічна оцінка ефективності зберігання зерна із застосуванням охолодження. *Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК: матеріали V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (17-18 листопада 2016 р., м. Київ).* / НУХТ. Київ, 2016. С. 90 - 92. **Внесок здобувача: розробка методики техніко-економічної оцінки ефективних технологій зберігання зернової продукції при активному вентильованні холодоносієм.**

34. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Візуалізація конструкції зерносховища та процесу охолодження. *Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі (18 травня 2017 р., м. Харків)* / ХДУХТ. Харків, 2017. Ч. 1. С. 258 - 260. **Внесок здобувача: проведено аналіз методів імітаційного моделювання процесів охолодження зерна у сховищах.**

35. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Процес теплообміну між зернівками та охолоджувальним повітрям у зерносховищі. *Сучасні проблеми холодильної техніки та технології: матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф. (21 – 22 вересня 2017 р., м. Одеса).* Одеса, 2017. С. 228 - 229. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесів тепломасообміну при охолодженні зернових мас потоком холодоносія.**

36. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Перспективний процес зберігання зерна із застосуванням охолодження у зерносховищі. *Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XVIII Міжнар. наук. конф., присвяченої 117 - й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (16 – 18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець – Подільський).* Кам'янець-Подільський, 2017. С. 141 - 143. **Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень процесів зберігання зернової продукції у сховищах за її активної обробки охолодженням потоком повітря.**

37. Паламарчук І., Кюрчев С., Верхоланцева В. Вібродифузійний процес низькотемпературної обробки рослинної сировини. *Соціально – економічний розвиток аграрної сфери : інженерно-економічне забезпечення : матеріали Міжнар. наук.- практ. конф. (19 – 20 квітня 2018 р., м. Тернопіль).* Тернопіль, 2018. С. 283 - 285. **Внесок здобувача: аналіз процесів флюїдизаційної обробки сільськогосподарської продукції.**

38. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних сушарок. *The development of technical sciences: problems and solutions: the international research and practical conference (April, 27–28, 2018., Brno city).* Brno, 2018. pp. 9 - 12. **Внесок здобувача: аналіз процесів вібраційного транспортування сипких мас.**

39. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції. *Імпор-*

тозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV міжнар. наук. - практ. конф. (17-18 травня 2018 р., м. Умань). Умань, 2018. С. 113 - 115. **Внесок здобувача: аналіз процесів створення віброзв'язаного шару продукції при її зберіганні.**

40. Optimization of the parameters for the process of grain cooling / Igor Palamarchuk, Sergey Kiurchev, Valentyna Verkhohantseva [et al.]. *ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII: V Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja* (20 – 22 червня 2018., м. Криниця). Криниця, 2018. С. 91. **Внесок здобувача: отримані результати досліджень процесу охолодження зернової продукції при її зберіганні.**

41. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В. Застосування перспективної віброконвекційної інфрачервоної сушарки. *Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XIX Міжнар. наук. конф., присвяченої 118 – й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (17 – 19 жовтня 2018 р., м. Київ)*. Київ, 2018. С. 84 - 85. **Внесок здобувача: розробка віброконвекційної інфрачервоної сушарки.**

АНОТАЦІЯ

Кюрчев С. В. Механіко-технологічне обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний науковий центр “ІМЕСГ” НААН України, Глеваха, 2019.

Дисертація присвячена вирішенню народногосподарської проблеми недостатньої техніко-технологічної ефективності структури та засобів механізації системи зберігання насіння зернових і олійних культур. Ця проблема вирішується за рахунок використання інноваційних тепломасообмінних технологій та обладнання при інтенсифікації даних процесів через застосування вібраційних, хвильових, імпульсних фізико-механічних чинників, які забезпечують мінімізацію енерго- та матеріаловитрат при максимальному збереженні вихідних властивостей насіння сільськогосподарських культур.

При підготовці насінневого матеріалу до зберігання використовуються проєктовані схеми віброаспіраційного сепаратора та віброконвекційної інфрачервоної сушарки. Розроблена система зберігання передбачає централізовану систему конвекційного охолодження зернових мас та локальну – ворушіння продукції у спеціальних ємкостях під дією опозитно розташованих пневмоімпульсних барботерів.

При проєктуванні віброаспіраційного сепаратора проведеними дослідженнями була підтверджена робоча гіпотеза стосовно збільшення рушійної сили процесу фракціонування за рахунок накладання у системі комбінованої незрівноваженості від дії збурювальних сил та обертового моменту, які наводяться у системі при реалізації автоколивального режиму руху центральної труби розподільника. Доведена можливість підвищення якості сепарації шляхом використання нижньої зони розподілу віброаспіраційного сепаратора та обґрунтовані раціональні конструкційні параметри розробленого обладнання.

Проектована інфрачервона сушарка для обробки сипкої зернової продукції реалізує віброхвильове просування продукції на поверхні вантажонесучого органа за можливості регулювати її швидкість при мінімізації механічних навантажень на опори конструкції.

Розроблена система пневмодинамічного зворушення зерна дозволяє забезпечити безперервне оновлення її шарів у повздовжньому та поперечному напрямках та винесення вологи до верхніх шарів за достатньо помірних енерговитрат. Централізована система активного вентилявання холодоносієм виносить дану вологу назовні та забезпечує необхідні умови мікроклімату у зерносховищі, раціональні параметри якого отримані за результатами стохастичне моделювання за методом Бокса-Бенкіна. Конструктивно-технологічні елементи проекрованої системи зберігання пройшли успішну практичну апробацію в умовах 8 сільськогосподарських та машинобудівних підприємств.

Ключові слова: зберігання, інфрачервоне сушіння, активне вентилявання, віброаспіраційний сепаратор, хвильовий конвеєр, холодоносії, зерносховище, насіння, імпульсний пневмодинамічний барботер.

АННОТАЦІЯ

Кюрчев С. В. Механико-технологическое обоснование послеуборочной обработки и хранения семян зерновых и масличных культур. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Национальный научный центр “ИМЭСХ” НААН Украины, Глеваха, 2019.

Диссертация посвящена решению народнохозяйственной проблемы недостаточной технико-технологической эффективности структуры и средств механизации системы хранения семян зерновых и масличных культур; решается за счет использования инновационных тепломассообменных технологий и оборудования при интенсификации этих процессов путем применения вибрационных, волновых, импульсных физико-механических факторов, обеспечивающих минимизацию энерго- и материалозатрат при максимальном сохранении исходных свойств семян сельскохозяйственных культур.

При подготовке семенного материала используются проектируемые схемы виброаспирационного сепаратора и виброконвеерной инфракрасной сушилки. Разработанная система хранения предусматривает централизованную систему конвективного охлаждения зерновых масс и локальную – для перемешивания продукции в специальных емкостях под действием оппозитно расположенных пневмоимпульсных барботеров.

При проектировании виброаспирационного сепаратора была подтверждена рабочая гипотеза относительно увеличения движущей силы процесса фракционирования за счет наложения автоколебательного режима действия крутящего момента при вращении центральной трубы распределителя; доказана возможность повышения качества сепарации путем использования нижней зоны рас-

пределения виброаспирационного сепаратора и обоснованы его основные конструктивные параметры.

Разработанная инфракрасная сушилка с виброволновой транспортировкой зерновой продукции позволяет значительно уменьшить энергозатраты на процесс при минимизации механических нагрузок на опоры конструкции.

Спроектированная система пневмодинамического барботирования зерновой массы обеспечивает непрерывное обновление ее слоев у продольном и поперечном направлениях и вынос влаги к поверхности. Централизованная система активного вентилирования потоком охлажденного воздуха убирает поверхностную влагу наружу и реализует необходимые условия микроклимата в зернохранилище, рациональные параметры которого были получены в результате стохастического моделирования по методу Бокса-Бенкина. Конструкционно-технологические элементы разработанной системы хранения прошли успешную апробацию на 8 сельскохозяйственных и машиностроительных предприятиях.

***Ключевые слова:** хранение, инфракрасная сушка, активное вентилирование, виброаспирационный сепаратор, волновой конвейер, хладоноситель, зернохранилище, семена, импульсный пневмодинамичный барботер.*

ANNOTATION

Kiurchev S. – Mechanical and technological substantiation of post-harvest processing and storage of seeds of grain and oilseeds.

A dissertation for obtaining the scientific degree of doctor of technical sciences in speciality 05.05.11 – machines and facilities for mechanization of agricultural production. – National scientific center ‘IAEE’ NAAS Ukraine, Glevakha, 2019.

The thesis deals with the solution of the national economic problem of insufficient technical and technological efficiency of the structure and means for mechanization of a grains and oilseeds storage system. The problem was solved through the application of innovative heat and mass exchange technologies and equipment, while intensifying the processes by means of vibration, wave, pulsed physical and mechanical factors, which ensured the minimization of power and material consumption at the maximum retention of original properties of agricultural raw materials.

During seeds preparation, we used specially designed diagrams of a vibration and aspiration separator as well as vibration and conveyor infrared dryer. The developed storage system involved a centralized system of convective cooling of grain masses and a localized one, which provide products movement in special containers under the action of opposite pneumatic pulse barboter.

The design process of the vibration and aspiration separator included research which confirmed the working hypothesis regarding the increase of the motive force of the fractionating due to the overlap in the system of combined unbalance from the action of the forces and torque given in the system during the implementation of a self-oscillating mode for the central tube of the distributor motion. During theoretical and experimental studies, the possibility of the separation quality improvement through the application of the lower zone of the vibration and aspiration separator distribution

was proved. The influence of the basic structural parameters for the developed separator on the efficiency of separation and specific energy consumption was substantiated.

The implementation of the vibration and conveyor dryer for the processing of loose grain allowed to adjust the speed of products transportation on the surface of the carrying body for the combined unbalance of the vibration system and, accordingly, the possibility of wave transport without significant mechanical loads on the supports of the structure and the use of additional mechanical transport devices.

Using the second similarity theorem and data of experimental research, a criterion equation of the process for infrared drying of soya in a moving layer of products was developed. That enabled to design standard size infrared dryers according to the set parameters of the process.

The system of dynamic moving of grain provided in the thesis allows to ensure continuous renewal of the layers in longitudinal and transverse directions as well as transfer moisture to upper layers at sufficiently moderate energy consumption. The features of the pneumodynamic gravitational stirrer are the use of the The features of the pneumodynamic gravitational stirrer are the use of a standing wave. That allows to enhance the dynamic effect of breaking the links between particles of seed material when it is stored in a bulk in special pallets.

Theoretical and experimental studies allowed to determine the influence of the temperature on the quality indices of cooled wheat, such as moisture, gluten as well as index of its deformation.

The centralized system of active ventilation by the coolant removes moisture from the surfaces of grain mass outside and provides necessary microclimate conditions in a granary, which was provided with rational parameters obtained by the results of regression analysis with active planning of the experiment.

The stochastic simulation was carried out using the Box-Behnken method, which showed that three models for different processes of the heat and energy storage system of grain and oil products were adequate as well as the response surfaces which were constructed at fixed values of the factors.

When considering the economic efficiency of production, most of the presented factors in the designed storage system indicated high technological and technical performance of the presented innovative means for the investigated processes. That will allow to adjust the process of production and release of high quality products with the least possible costs.

Structural and technological elements of the designed storage system were successfully tested on 3 agroindustrial farms. As a result, practical recommendations for the production of developed mechanisms for the mechanization of post-harvest processing and storage of oilseed and grain crops were offered to 5 machine-building enterprises.

Key words: *storage, infrared drying, active ventilation, vibration and aspiration separator, wave conveyor, coolant, granary, grain products, pulsed pneumodynamic barboter.*

Підписано до друку 27.05.2019 р. Зам. № 027
Формат 60x84x 1/16. Умовн. – друк. арк. 2,5. Наклад 100 прим.
Віддруковано в Таврійському державному
агротехнологічному університеті
Адреса: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь,
пр-т Б.Хмельницького, 18