

Міністерство освіти і науки України
Одеська національна академія харчових технологій

ПАЛАМАРЧУК Владислав Ігорович



УДК 631.365:633.85

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТА ОБЛАДНАННЯ
КОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ СИРОВИНИ
ОЛІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному аграрному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
Бандура Валентина Миколаївна,
Вінницький національний аграрний університет,
факультет механізації сільського господарства, декан.

Офіційні опоненти : - доктор технічних наук, заслужений діяч науки і техніки України, академік АНТК України, академік міжнародної академії холоду, професор
Бурдо Олег Григорович,
Одеська національна академія харчових технологій,
завідувач кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту, завідувач кафедри;

- кандидат технічних наук, доцент
Дубковецький Ігор Володимирович
Національний університет харчових технологій,
кафедра процесів і апаратів харчових виробництв, доцент кафедри.

Захист відбудеться *3 листопада 2016 р. о 14⁰⁰* годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 в Одеській національній академії харчових технологій в аудиторії А-234 за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розіслано *30 вересня 2016 року*.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Г. І. Палвашова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Світовий ринок насіння олійних культур та продуктів їх переробки за останнє десятиріччя розвивається достатньо інтенсивно за рахунок зростання харчових потреб в олії, виробництва біодизелю та використання відходів переробки насіння олійних культур як кормових домішок високої якості при відгодовуванні тварин та птиці.

При зневоложенні оліємісткої сировини як сипкої маси набувають зростаючого попиту процеси інфрачервоного сушіння. Метод інфрачервоного опромінювання є одним із перспективних фізичних методів обробки харчових продуктів. Завдяки перевагам перед традиційними способами теплової обробки його все більше застосовують у різних галузях харчової промисловості та ресторанному господарстві. Обробка інфрачервоним випромінюванням використовується для бланшування, обсмажування та сушіння плодово-овочевої сировини, пастеризації молока, соків, вин і пива, теплової обробки м'ясопродуктів, готування гриль-продукції з різних видів харчової сировини. Використання інфрачервоного опромінювання, як ефективного методу термопідготовки матеріалу з олійних культур перед вилученням олії, по-перше, забезпечує інактивацію антиживильних речовин - трипсिनного інгібітору і ферменту уреазу, за активністю якої визначають рівень токсичності; по-друге, короткочасна інтенсивна теплова дія дозволяє отримати високоякісні макуху і олію; по-третє, установка для інфрачервоного опромінювання, що входить до складу лінії для виробництва рослинної олії малої потужності, дає можливість переробляти олійне насіння в зоні їх вирощування, тобто у фермерських господарствах, колгоспах та інших агропідприємствах, які займаються їх вирощуванням. Тому відпадає необхідність будівництва дорогої котельної для забезпечення виробництва технологічною водяною парою.

Короткочасна інтенсивна дія інфрачервоного поля на поверхневий шар сировини створює водночас проблеми його перегріву та нерівномірності пошарової обробки. Тому є перспективним при транспортуванні продукції в зоні обробки використовувати віброконвеєрні та хвильові технології, що дозволяють створити сприятливі умови для інтенсифікації процесу виробництва та застосування ефективних методів дії на його об'єкт; реалізувати технологічний рух у безперервному режимі; зменшити та усунути взагалі використання непродуктивної праці; зокрема при здійсненні допоміжних операцій; створити загальне керування динамічним станом системи, в якій відбувається технологічна дія; мінімізувати механічні пошкодження об'єкта.

Поєднання вібраційної та поточної технологій в конвеєрних вібромашинах обумовлює реалізацію автоматизації виробничого процесу, гармонійне співвідношення його основних структурних складових, здійснення ефективної об'ємної дії на продукцію, що відповідає вищим формам досконалості технологічного обладнання. Розвиток вібраційних конвеєрних машин веде початок із хвильових та вібраційних конвеєрів, що зумовило вибір предмета дослідження у даній науковій роботі.

Таким чином, розвиток технологічної та конструктивної ефективності таких інтенсивних тепломасообмінних процесів як інфрачервоне сушіння оліємісткої сировини та вібраційні транспортно-технологічні заходи, що набувають все

більшого попиту у харчових, фармацевтичних виробництвах та є перспективним джерелом енергії, зумовлює актуальність та перспективи розвитку представлених у роботі досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно з Державною цільовою програмою «Розвиток українського села до 2015 р.», з тематичним планом науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» на 2012 – 2016 рр. за напрямом «Інтенсифікація процесів харчових, фармацевтичних та мікробіологічних виробництв шляхом механічної та теплофізичної технологічної дії (державний реєстраційний номер 0112 U 006704), а також з договором про творчу співпрацю з приватним підприємством «Вінницький олієжировий комбінат».

Як особистий внесок здобувача при участі у даних заходах стала теоретична та експериментальна оцінка основних параметрів інфрачервоного сушіння в умовах нерухомого та рухомого шару сировини розробка експериментально-промислової моделі віброхвильової інфрачервоної сушарки та обґрунтування робочих режимів обробки ріпаку та сої за даного оснащення.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є інтенсифікація інфрачервоного сушіння, зменшення енерговитрат та металоємкості при обробці зерна олійних культур шляхом теоретичного та експериментального визначення залежностей для основних параметрів масообміну в умовах нерухомого, рухомого та псевдозрідженого шару сировини, розробки віброхвильової конвеєрної інфрачервоної сушарки та оптимізації режимних параметрів досліджуваного тепломасообмінного процесу.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання:

- визначити тенденції розвитку процесів інфрачервоного сушіння оліємісткої сировини, обґрунтувати технологічно-конструктивну схему та розробити експериментально-промислову модель віброхвильової інфрачервоної сушарки;
- розробити план, методика проведення експериментальних, теоретичних досліджень та обробки отриманих результатів;
- експериментально визначити основні тепломасообмінні характеристики інфрачервоного сушіння в умовах нерухомого та рухомого шару сировини;
- розробити математичну модель інфрачервоного сушіння з рухомим шаром сировини та скласти кінетичне рівняння за використання основних параметрів процесу та критеріїв подібності;
- розробити математичну модель процесу віброхвильового інфрачервоного сушіння та обґрунтувати ефективні робочі режими для його реалізації;
- отримати аналітичні та графічні залежності для основних параметрів вібрації та траєкторії руху виконавчих органів машини;
- визначити залежності для розрахунку основних параметрів даного процесу;
- скласти критеріальне рівняння тепло масообміну для процесу конвеєрного інфрачервоного сушіння;
- провести техніко-економічну оцінку, функціонально-вартісний аналіз та виробничу апробацію розроблених процесів та обладнання;

Об'єкт дослідження – процес інфрачервоного сушіння сипкої оліємісткої сировини в умовах нерухомого, рухомого та псевдозрідженого шару.

Предмет дослідження – установки з рухомим та нерухомим шаром сировини, віброхвильова установка з інфрачервоними випромінювачами для сушіння ріпаку та сої, закономірності зміни основних параметрів даних процесів.

Методи досліджень – аналітичні, теоретичні, експериментальні.

Для теоретичних досліджень використані сучасні концепції фізичного та математичного моделювання сипких середовищ, теорії подібності, теорії вібраційної обробки вільно гранульованих мас, теорії вібраційного та хвильового транспортування сипких мас.

При виконанні експериментальних досліджень були використані німецька апаратура Robotron, сучасні комплекси для оцінки параметрів тепло масообміну, кінематичних, силових та енергетичних характеристик віброхвильового транспортування мас ріпаку та сої.

Для аналітичного дослідження використовувалось програмне забезпечення Matlab, MathCAD, Excel.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше було:

- розроблено математичну модель процесу віброхвильового конвеєрного інфрачервоного сушіння з деформованим вантажонесучим органом;
- побудовано та досліджено динамічну модель вібраційного приводу хвильового конвеєра при реалізації силової, моментної та комбінованої незрівноваженості коливальної системи;
- отримано експериментальні та теоретичні залежності для кінематичних, силових, енергетичних та теплофізичних параметрів віброхвильової інфрачервоної сушарки.

Дістало подальший розвиток:

- математичне моделювання процесу інфрачервоного сушіння в умовах рухомого шару сировини при використанні тепломасообмінних критеріїв подібності;
- дослідження механіки вібраційних транспортно-технологічних машин в процесах сушіння сипких середовищ;
- оцінка віброконвеєрних сушарок за конкурентоспроможністю та в результаті техніко-економічного і функціонально-вартісного аналізу.

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішена наукова проблема органічного поєднання транспортного та технологічного рухів при забезпеченні високої інтенсифікації та рівномірності інфрачервоного сушіння, що дозволило за необхідної якості обробки та продуктивності обладнання значно зменшити енерговитрати на металоємкість порівняно з традиційними віброконвеєрними машинами, що мають недеформований вантажонесучий орган; обґрунтовані основні режимні параметри при реалізації інфрачервоного сушіння ріпаку і сої та хвильового транспортування продукції в умовах псевдозрідженого шару.

Розроблена технічна документація, виготовлена та впроваджена у виробництво експериментально-промислова модель віброхвильової інфрачервоної сушарки на базі ПП «Вінницький олійножировий комбінат».

На основі розроблених технічних та технологічних проектів отримано патент України на корисну модель.

Отримані результати були покладені в основу монографії «Удосконалення теплотехнологій при виробництві олії та біодизельного пального».

Особистий внесок здобувача. Автором особисто отримані основні результати експериментальних та теоретичних досліджень, зокрема:

- виконано аналіз найбільш ефективних технологічних схем біотехнологій, що пов'язані із переробкою олієвмісної сировини [1, 2, 5];
- на основі ґрунтового аналізу сучасних процесів та обладнання для сушіння обґрунтовано конструктивно-технологічну схему віброконвеєрної інфрачервоної сушарки [1, 3, 7, 10];
- проведено математичний аналіз руху виконавчих органів віброприводу конвеєрної вібромашини [8, 9];
- сконструйовано основні структурні складові конвеєрної вібраційної інфрачервоної сушарки [9, 10, 11];
- експериментально отримані основні кінематичні та енергетичні характеристики розробленої віброконвеєрної інфрачервоної сушарки [12, 14, 15];
- експериментально отримані основні параметри тепломасообміну інфрачервоного сушіння [6, 13].

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких вітчизняних та міжнародних науково-технічних конференціях (МНТК): II МНТК «Земля України – потенціал економічної і екологічної безпеки держави» (Вінниця, 23-26 березня 2011), XIII МНТК «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Вінниця, 17-18 жовтня 2012), XIV МНТК «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (Одеса, 3-7 вересня 2012), МНП Інтернет-конференції «Прикладна наука та інноваційний шлях розвитку національного виробництва» (Тернопіль, 4-5 жовтня 2012), МНТК «Вібрації в техніці та технологіях в переробних і харчових виробництвах» (Вінниця, 25-26 квітня 2013), IV МНТК «Інноваційні енерготехнології» (Одеса, 9-13 вересня 2013), 73 науковій конференції науково-викладацького та наукового складу ОНАХТ (Одеса, 22-26 квітня 2013), IV МНТК «Земля України – потенціал економічної і екологічної безпеки держави» (Вінниця, 18 жовтня 2014), V МНТК «Інноваційні енерготехнології» (Одеса, 7-11 вересня 2015), 76 науковій конференції науково-викладацького та наукового складу ОНАХТ (Одеса, 18-22 квітня 2016).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 21 наукову працю, серед яких: 1 монографія, 13 наукових статей, серед них: 3 статті у збірниках, що включені до міжнародних наукометричних баз, 10 статей у фахових виданнях України, 1 деклараційний патент України на корисну модель, тези 6 доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 169 найменувань та додатків. Дисертація викладена на 269 сторінках машинописного тексту (основна частина складає 175 сторінок), містить 77 таблиць та 109 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрита сутність і стан наукової проблеми, обґрунтована актуальність теми, її розкриття у наукових програмах, публікаціях, на конференціях, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі «Аналіз конструктивно-технологічних чинників інфрачервоного віброконвеєрного сушіння зерна олійних культур» проведено аналіз об'єкта та предмета досліджень, методів та об'єкта обробки.

Унікальні властивості основних оліємістких культур зумовлюють все більше зростаючий попит на них у сучасних переробних виробництвах (рис. 1): ріпак виступає джерелом кормів, важливою сировиною для виробництва біопалива; соя збагачує ґрунт азотом, поліпшує його структуру та дані продукти є основними складовими при виробництві олії.

З метою інтенсифікації процесу забезпечення заданої вологості сировини пропонується використовувати дію на продукцію інфрачервоного випромінювання. При цьому проблеми забезпечення рівномірності обробки, нівелювання перегріву поверхневого шару сипкого технологічного середовища у дисертації вирішується за рахунок створення псевдозрідженого шару продукції під дією вібраційних імпульсів виконавчих органів машини, що розробляється.

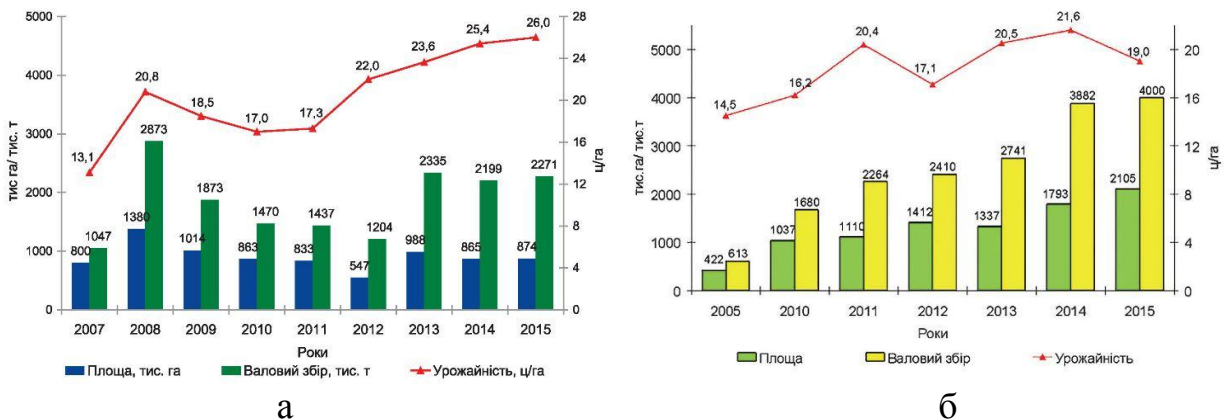


Рис. 1. Динаміка виробництва ріпаку (а) та сої (б) в Україні у 2007-2015 р.

Поставлені при конструюванні сушарки задачі досягнення високої продуктивності при помірних енерговитратах та металоємкості зумовили вибір віброконвеєрної схеми машини (рис. 2). Компонування основних структурних складових машини здійснювалось на основі аналізу транспортно-технологічних машин з недеформувальним та гнучким транспортуючим органом за умови псевдозрідження продуктового потоку. В результаті була розроблена принципова схема віброхвильової інфрачервоної сушарки (рис. 3), особливостями якої є створення на робочій частині транспортерної стрічки 1 біжучої або стоячої хвилі в залежності від вибору режимних параметрів дебалансних віброзбуджувачів 11, 12, що агреговані в опорних котках 5, 6 стрічки. За такої схеми, на відміну від традиційно використовуваних віброконвеєрних сушарок, коливною масою машини є не вся опорна поверхня конвеєра, а лише котків, які підпружинені до корпусу, що значно зменшує енерговитрати на привод та металоємкість конструкції. Інфрачервоні випромінювачі 4 розміщені над поверхнею стрічки з можливістю вертикального регулювання подачі променистого потоку.

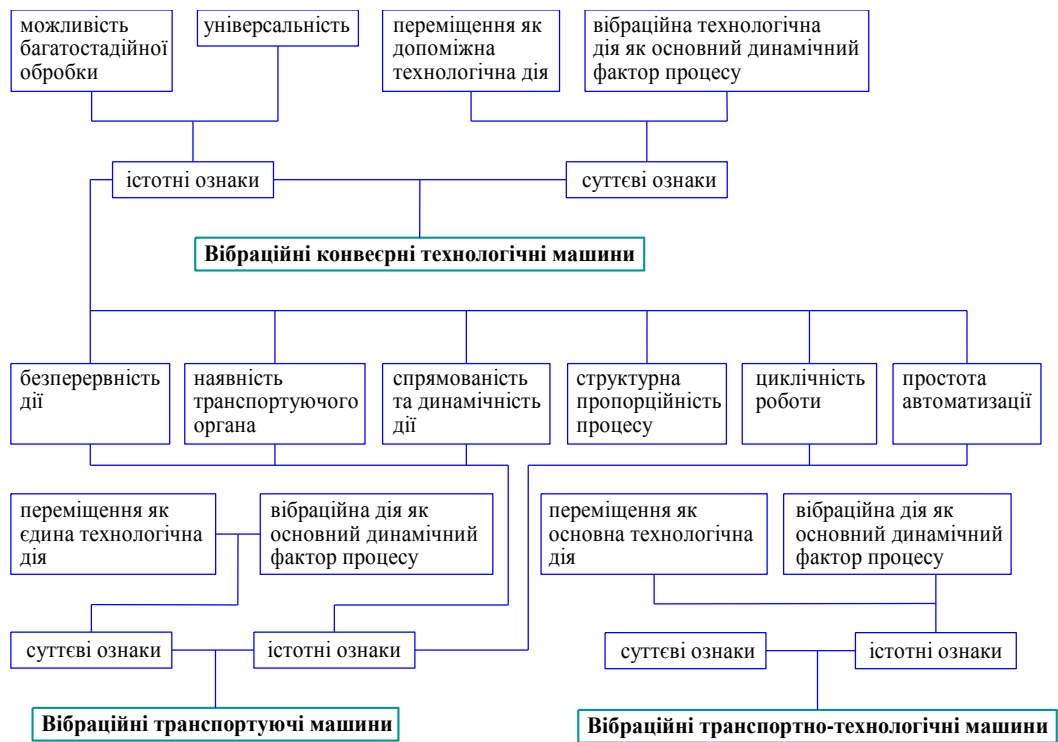


Рис. 2. Обґрунтування основних властивостей досліджуваної транспортно-технологічної системи.

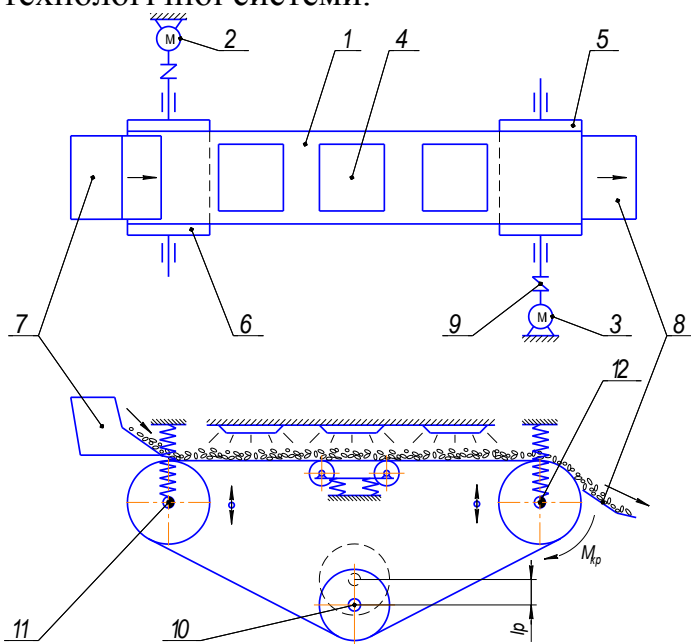


Рис. 3. Розроблена конвеєрна віброхвильова інфрачервона сушарка: 1 – стрічка; 2, 3 – двигуни віброзбуджувачів; 4 – інфрачервоні випромінювачі; 5,6 – котки; 7 – живильник; 8 – приймальний бункер; 9 – гнучка муфта; 10 – натяжний коток; 11, 12 – дебалансні віброзбуджувачі.

Другий розділ роботи «Розробка методик виконання та обробки результатів досліджень» дозволив отримати шляхи опрацювання результатів наукового аналізу досліджуваних процесів та обладнання (рис. 4); розробити методіку отримання основних тепломасообмінних та механічних характеристик інфрачервоного зневолення для нерухомого, рухомого та псевдо зрідженого шару оліє місткої сировини; опрацювати методіку багатофакторного планування експерименту для обробки отриманих даних при використанні критеріїв Стюдента та Фішера.

У третьому розділі роботи «Математичне моделювання процесу інфрачервоного сушіння» представлено аналіз процесу масообміну інфрачервоного сушіння у рухомому шарі сировини та теоретичне дослідження механіки руху виконавчих органів віброзбуджувача

досліджуваної машини, які дозволяють обґрунтувати робочі режими розроблених процесів та обладнання.

При використанні методу «аналізу розмірностей» та теореми Федермана-Бекінгема, на основі проведених експериментальних досліджень та аналізу факторного простору було складено рівняння масообміну досліджуваного інфрачервоного сушіння ріпаку в рухомому шарі продукції у критеріальному вигляді.

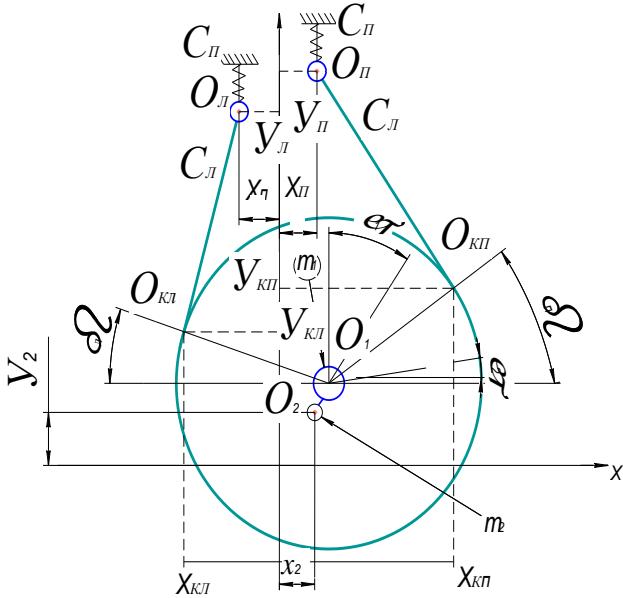
$$St = APe^{1,08} Bu^{1,2} \cdot \frac{1}{\nu} \left(\frac{\Pi_V r}{a^3} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{P_S d}{\rho} \right)^{1,56} \quad (1)$$

Використовуючи рівняння (1), за допомогою спеціально розробленої програми, знаходимо рекомендований ряд параметрів робочого режиму для досліджуваного процесу.

На основі бази даних стосовно приводного механізму експериментальної моделі віброхвильової сушарки була розроблена розрахункова схема віброзбуджувача (рис. 5) та за допомогою рівнянь Лагранжа 2 роду були складені рівняння руху виконавчих органів машини з динамічним дебалансним віброзбуджувачем.



Рис. 4. План проведення експериментальних досліджень



Розподіл мас у системі:

$$m = m_1 + m_2$$

$$m_1 = m_{деб}$$

$$m_2 = m_e + m_n$$

Степені вільності системи:

- x_1 - горизонтальне переміщення приводного валу;
- y_1 - вертикальне переміщення приводного валу;
- ;
- φ_1 - кутове зміщення приводного валу;
- φ_2 - кутове зміщення бічного диску опорного котка;

Рис. 5. Розрахункова схема вібромашини з гнучкою напрямною та динамічним приводом

$$\begin{cases} \ddot{X}_2 + \frac{c_x}{m_0} X_2 = \frac{m_1 l_{12}}{m_0} [\ddot{\varphi}_1 \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_1] + \frac{1}{m_0} [T_{Л} \sin B_{Л} - T_{П} \cos B_{П}] \\ \ddot{Y}_2 + \frac{c_y}{m_0} Y_2 = \frac{m_1 l_{12}}{m_0} [\ddot{\varphi}_1 \sin \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \cos \varphi_1] - \frac{1}{m_0} [m_0 q - T_{Л} \cos B_{Л} - T_{П} \cos B_{П}] \\ \ddot{\varphi}_2 - [T_{П} - T_{Л}] R / J_2 \\ \ddot{\varphi}_1 + \frac{\ddot{X}_2}{l_{12}} \cos \varphi_1 + \frac{\ddot{Y}_2 + m_1 q}{l_{12}} \sin \varphi_1 + \frac{M_{KP}}{m_1 l_{12}^2} \end{cases} \quad (2)$$

При врахуванні особливостей розглянутої системи та припущень: $\beta_n = \beta_n = const$, $Y_n = Y_n$, $X_n = X_n$, $\dot{\varphi}_1 = const$ та враховуючи затухання вільної складової рівнянь для установлених режимів перетворюємо систему (1) у рівняння

$$\begin{cases} X_2 = \frac{A_1 [\omega_1^2 - k_x^2]}{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \varphi_x^2 \omega_1^2} \sin \omega_1 t + \frac{A_1 \varphi_x \omega_1}{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \varphi_x^2 \omega_1^2} \cos \omega_1 t \\ Y_2 = -\frac{A_1 [\omega_1^2 - k_y^2]}{[\omega_1^2 - k_y^2]^2 + \varphi_y^2 \omega_1^2} \cos \omega_1 t + \frac{A_1 \varphi_y \omega_1}{[\omega_1^2 - k_y^2]^2 + \varphi_y^2 \omega_1^2} \sin \omega_1 t \end{cases} \quad (3)$$

Отримані рівняння траєкторії (2), (3) дають можливість визначити основні кінематичні, силові та енергетичні характеристики віброприводу досліджуваної машини в аналітичному та графічному вигляді (рис. 6), що дозволяють рекомендувати робочі режими при передачі інерційного імпульсу деформованому транспортерному органу сушарки, створюючи біжучу хвилю на його поверхні.

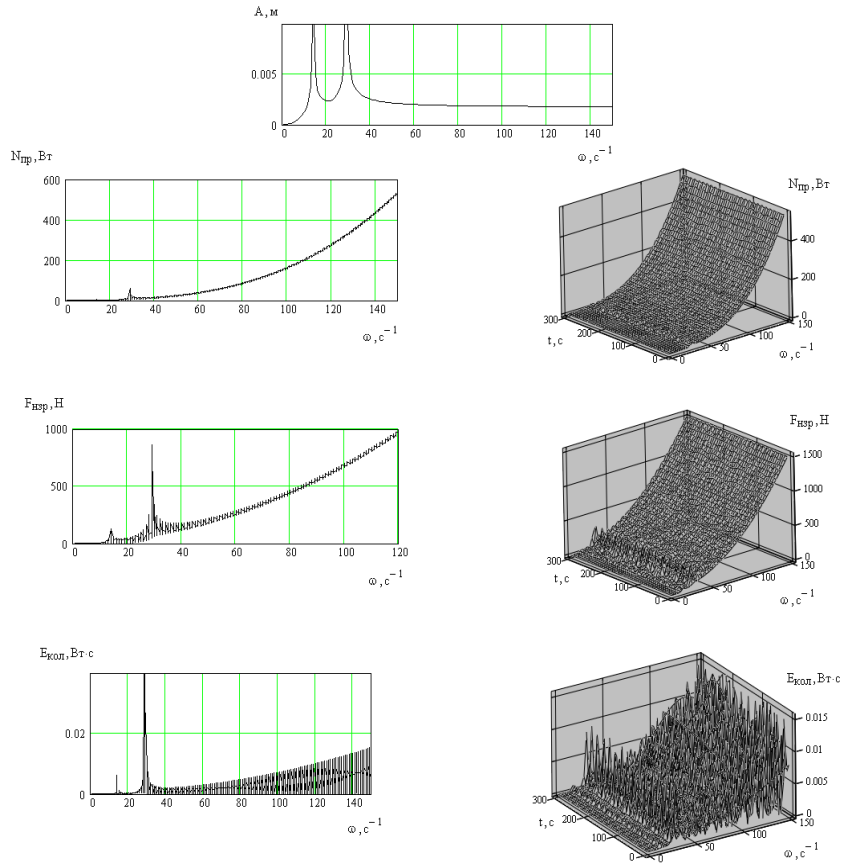


Рис. 6. Амплітудно-частотні ($f = A(\omega)$), силові ($f = F_{\text{нзр}}(\omega, t)$) та енергетичні ($f = N_{\text{пр}}(\omega, t)$), $E_{\text{кол}}(\omega, t)$ характеристики дебалансного динамічного віброприводу машини з гнучким або деформованим транспортуючим органом: A – амплітуда коливань робочого контейнера; $N_{\text{пр}}$ – потужність приводу; $F_{\text{нзр}}$ – незрівноважені зусилля, що навантажують опорні вузли.

Абсолютна амплітуда коливань робочих органів вібробудувача

$$A = m_0^{-1} m_1 \ell_{12} \omega_1^2 \sqrt{\left[\left(\omega_1^2 - k_x^2 \right)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2 \right]^{-1} + \left[\left(\omega_1^2 - k_y^2 \right)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2 \right]^{-1}} \quad (4)$$

Потужність приводу машини

$$N_{\text{пр}} = m_1 \ell_{12} \omega_1^2 \eta_{\text{пр}}^{-1} \left[0,5 d_u \mu + m_1 \ell_{12} \omega_1^3 \cdot m_0^{-1} \sqrt{\left[\frac{\left(\omega_1^2 - k_x^2 \right) \cos \omega_1 t - \alpha_x \omega_1 \sin \omega_1 t}{\left[\left(\omega_1^2 - k_x^2 \right)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2 \right]^{-1}} \right]^2 + \left[\frac{\left(\omega_1^2 - k_y^2 \right) \sin \omega_1 t + \alpha_y \omega_1 \cos \omega_1 t}{\left[\left(\omega_1^2 - k_y^2 \right)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2 \right]^{-1}} \right]^2} \right] \quad (5)$$

Навантаження на опорні вузли приводного валу

$$F_{\text{нзр}} = m_1 \ell_{12} \omega_1^4 \sqrt{\left[\frac{\left(k_x^2 - \omega_1^2 \right) \sin \omega_1 t - \omega_1 \alpha_x \cos \omega_1 t}{\left(\omega_1^2 - k_x^2 \right)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2} \right]^2 + \left[\frac{\left(\omega_1^2 - k_y^2 \right) \cos \omega_1 t - \alpha_y \omega_1 \sin \omega_1 t}{\left(\omega_1^2 - k_y^2 \right)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2} \right]^2} \quad (6)$$

Енергія руху коливних мас віброприводу

$$E_{\text{кол}} = 0,5 m_0^{-1} m_1^2 \ell_{12}^2 \omega_1^6 \left[\left[\frac{\left(\omega_1^2 - k_x^2 \right) \cos \omega_1 t - \alpha_x \omega_1 \sin \omega_1 t}{\left(\omega_1^2 - k_x^2 \right)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2} \right]^2 + \left[\frac{\left(\omega_1^2 - k_y^2 \right) \sin \omega_1 t - \alpha_y \omega_1 \cos \omega_1 t}{\left(\omega_1^2 - k_y^2 \right)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2} \right]^2 \right] \quad (7)$$

Четвертий розділ дисертації «Експериментальне обґрунтування режимних параметрів інфрачервоного сушіння ріпаку та сої» присвячений накопиченню необхідних експериментальних даних для оцінки шуканих тепломасообмінних та механічних параметрів досліджуваного інфрачервоного сушіння для трьох методів його реалізації: у нерухомому шарі сировини; у рухомому шарі сировини; у віброзв'язаному рухомому шарі сировини.

Для кожної з даних груп дослідів була використана експериментальна база, що представлена на рис. 7.



а

б

в

Рис. 7. Експериментальні лабораторії для проведення досліджень:

а – для нерухомого шару сировини; б – для рухомого шару сировини; в – для віброзв'язаного шару сировини.

Результати експериментальних досліджень при визначенні основних тепломасообмінних характеристик інфрачервоного сушіння представлені на рисунках 8 – 11 для нерухомого шару сировини, на рисунках 12 – 17 для рухомого шару, що дозволяє оцінити швидкість сушіння та продуктивність даних процесів при варіюванні технологічними параметрами. Для інфрачервоного сушіння в умовах віброзв'язаного шару були знайдені залежності для амплітудно-частотних характеристик (рис. 18), віброшвидкості (рис. 19), віброприскорення (рис. 20) та інтенсивності коливань або питомих витрат енергії на одиницю коливної маси приводу (рис. 21), що дають можливість обґрунтувати параметри робочого режиму експлуатації віброхвильової конвеєрної машини.

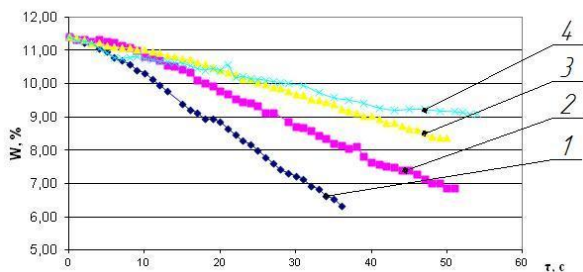


Рис. 8. Зміна вологості ріпаку при інфрачервоному сушінні різномасних навісок та $N_{в}=120$ Вт: 1 – 100 г; 2 – 200 г; 3– 300 г; 4 – 400 г.

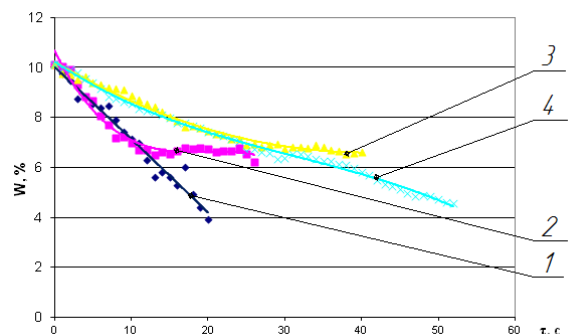


Рис. 10. Зміна вологості сої при інфрачервоному сушінні різномасних навісок продукції та $N_{в}=220$ Вт: 1 – 100 г; 2– 200 г; 3– 300 г; 4 – 400 г.

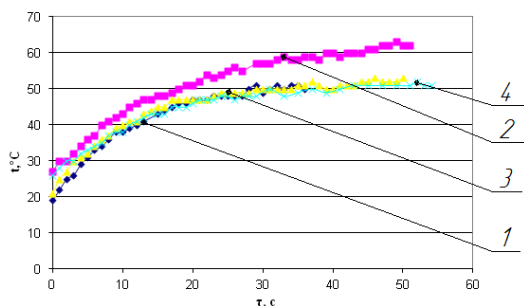


Рис. 9. Термограми інфрачервоного сушіння різномасних навісок ріпаку при $N_B=120\text{Вт}$: 1 – 100 г; 2 – 200 г; 3– 300 г; 4 – 400 г.

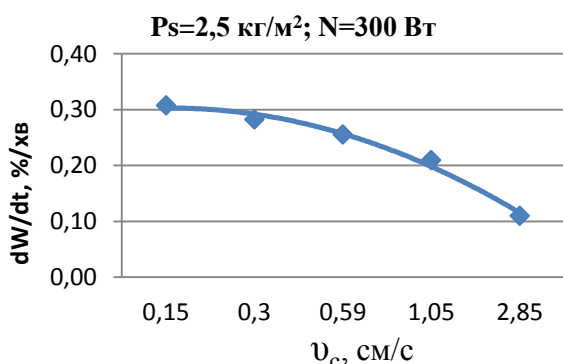


Рис. 12. Залежності зниження вологості для зерна ріпаку при зміні швидкості руху стрічки

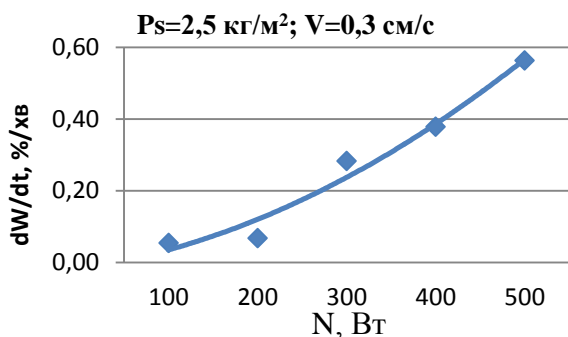


Рис. 13. Залежності зниження вологості для зерна ріпаку при зміні потужності випромінювачів

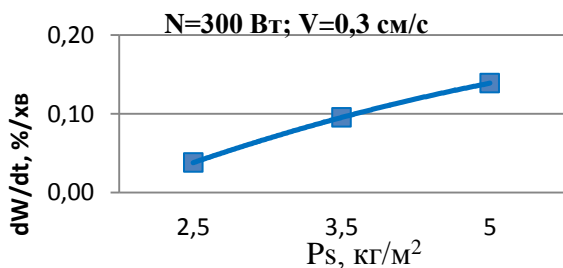


Рис. 14. Залежності зниження вологості для зерна ріпаку при зміні питомого завантаження

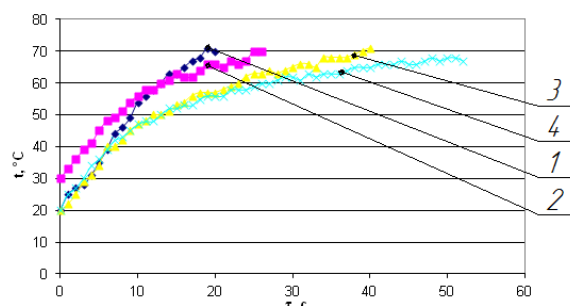


Рис. 11. Термограми інфрачервоного сушіння різномасних навісок сої при $N_B=220\text{Вт}$: 1 – 100 г; 2– 200 г; 3 – 300 г; 4 – 400 г.

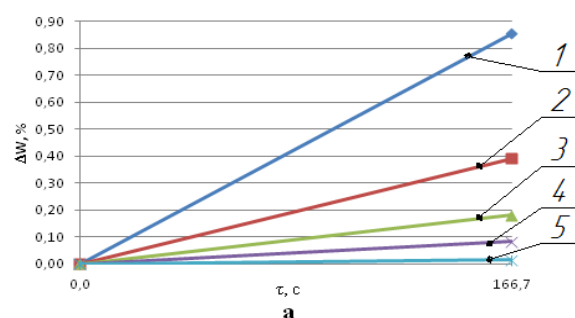


Рис. 15. Зміна вологості при інфрачервоному сушінні у рухомому шарі продукції при варіюванні швидкості транспортерної стрічки): 1 – 0,0015 м/с; 2 – 0,003 м/с; 3 – 0,0059 м/с; 4 – 0,0105 м/с; 5 – 0,0285 м/с

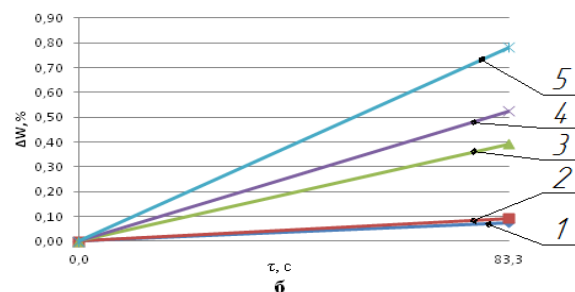


Рис. 16. Зміна вологості при інфрачервоному сушінні у рухомому шарі продукції при варіюванні потужності випромінювання: 1 – 100 Вт; 2 – 200 Вт; 3– 300 Вт; 4 – 400 Вт; 5 – 500 Вт

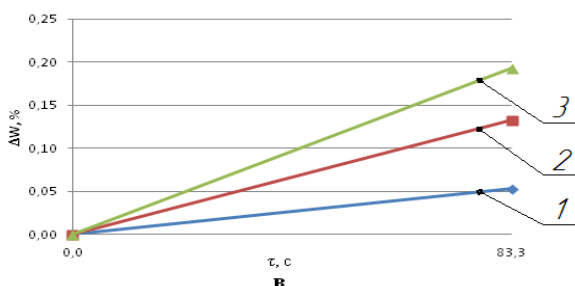


Рис. 17. Зміна вологості при інфрачервоному сушінні у рухомому шарі продукції при варіюванні завантаження робочої зони: 1 – 2,5 кг/м²; 2 – 3,5 кг/м²; 3 – 5 кг/м²

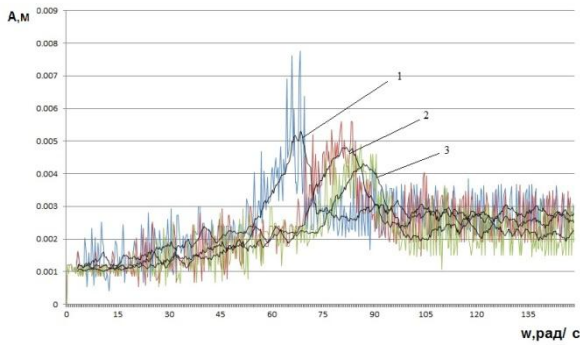


Рис. 18. Амплітудно-частотна характеристика віброхвильової сушарки в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу та кута розведення дебалансів: 1 - при 0 град.; 2 - при 45 град.; 3 - при 90 град.

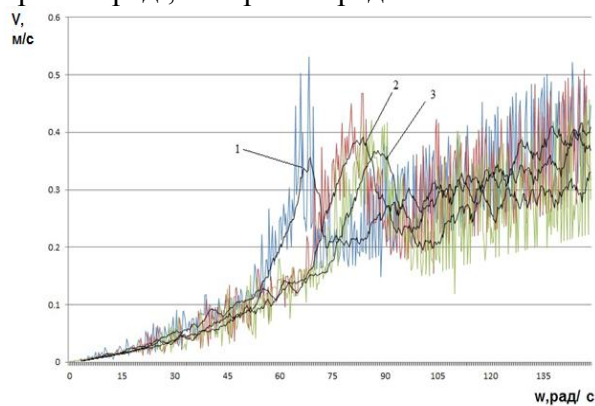


Рис. 19. Віброшвидкість досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу та кута розведення дебалансів: 1 - при 0 град.; 2 - при 45 град.; 3 - при 90 град.

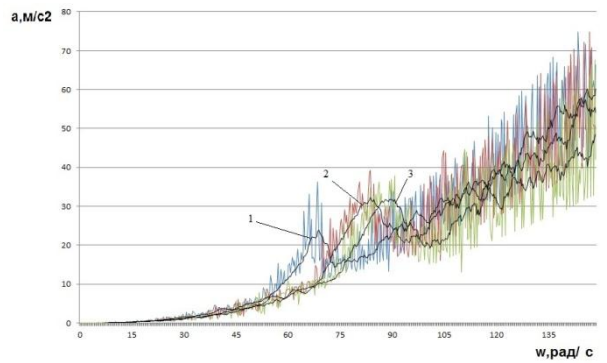


Рис. 20. Віброприскорення досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу та кута розведення дебалансів: 1 - при 0 град.; 2 - при 45 град.; 3 - при 90 град.

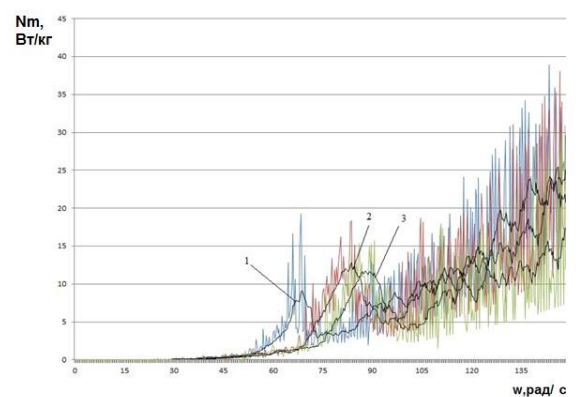


Рис. 21. Інтенсивність коливань досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу та кута розведення дебалансів: 1 - при 0 град.; 2 - при 45 град.; 3 - при 90 град.

Перевірка адекватності математичного моделювання проводилась за кінематичними та енергетичними критеріями оцінки (рис. 22); розбіжність між теоретичним та експериментальними дослідженнями виявилась в межах 14-15%.

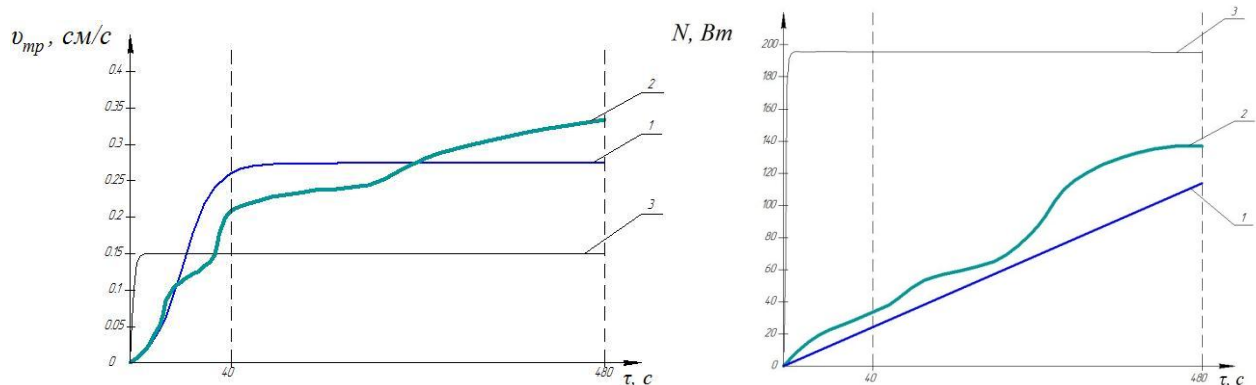


Рис. 22. Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень: а – за кінематичними характеристиками; б – за енергетичними характеристиками;

1 – результати теоретичних досліджень; 2 – результати експериментальних досліджень; 3 – швидкість транспортування продукції рухом стрічкового конвеєра; 4 – потужність приводу стрічкового конвеєра.

За розробленою схемою та результатами експериментальних досліджень була підготовлена конструкторська документація та виготовлена експериментально-промислова модель віброхвильової інфрачервоної сушарки (рис. 23).

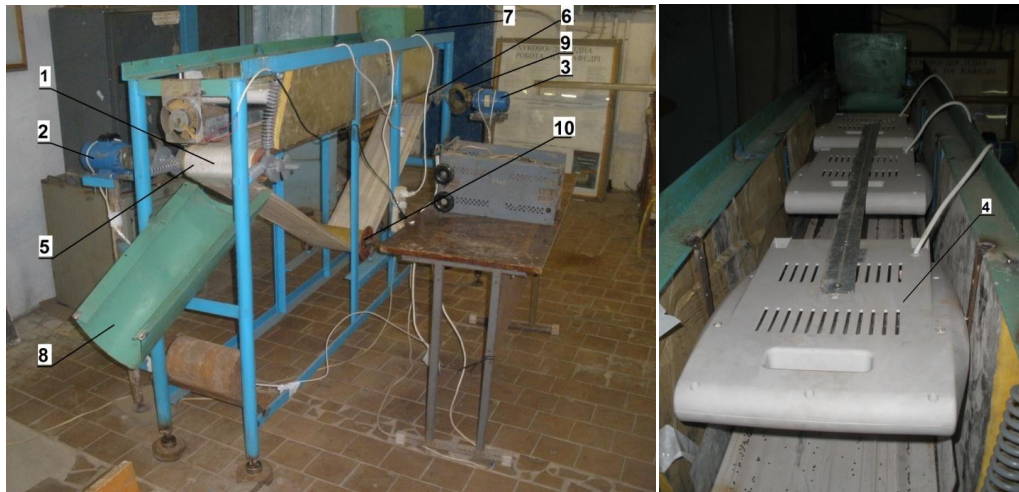


Рис. 23. Розроблена конвеєрна віброхвильова інфрачервона сушарка:
1 – стрічка; 2, 3 – двигуни віброзбуджувачів; 4 – інфрачервоні випромінювачі; 5,6 – котки; 7 – живильник; 8 – приймальний бункер; 9 – гнучка муфта; 10 – натяжний коток; 11, 12 – дебалансні віброзбуджувачі.

П'ятий розділ дисертаційної роботи «Техніко-економічна ефективність та функціонально-вартісний аналіз розроблених процесів та обладнання» становить розрахунок основних техніко-економічних характеристик розробленої віброхвильової інфрачервоної сушарки при її виробничій експлуатації, оцінка рівня даної техніки в результаті функціонально-вартісного аналізу та визначення конкурентоспроможності розробок за узагальнюючими показниками (табл. 1), що виявили високий рейтинг розроблених процесів та обладнання.

Таблиця 1

Значення окремих безрозмірних величин та узагальнюючих показників

| Марка сушарки | Показники | | | | | | | Узагальнюючі показники D | Рейтинг |
|--------------------|--|---|--|---|--|--|-------------------------------|--------------------------|----------|
| | Питома продуктивність, кг/год·м ² | Експлуатаційна потужність, що приходить на одиницю маси машини, Вт/кг | Питомі енерговитрати на привод, кВт·год/кг | Вартість виробництва одиниці маси продукції за одиницю часу, грн·год/кг | Вартість використання експлуатаційної потужності, грн/Вт | Питома метало-ємність сушарки, кг/м ³ | Об'єм сушарки, м ³ | | |
| ВХКІС (розроблена) | $\frac{0,7226}{5,0}$ | $\frac{0,7042}{5,0}$ | $\frac{0,7301}{5,0}$ | $\frac{0,7316}{5,0}$ | $\frac{0,7239}{4,42}$ | $\frac{0,7105}{5,0}$ | $\frac{0,7400}{4,87}$ | 0,7232 | 1 |
| СВИК-150 | $\frac{0,6839}{3,3}$ | $\frac{0,6950}{4,31}$ | $\frac{0,7166}{4,46}$ | $\frac{0,6693}{2,75}$ | $\frac{0,6158}{1,38}$ | $\frac{0,6399}{1,0}$ | $\frac{0,7438}{5,0}$ | 0,6794 | 3 |
| УКСУ | $\frac{0,6252}{1,0}$ | $\frac{0,6471}{1,0}$ | $\frac{0,6156}{1,0}$ | $\frac{0,6176}{1,11}$ | $\frac{0,7415}{5,0}$ | $\frac{0,6960}{4,12}$ | $\frac{0,5972}{1,0}$ | 0,6469 | 5 |
| УСК-7 | $\frac{0,6271}{1,07}$ | $\frac{0,7040}{4,98}$ | $\frac{0,7069}{4,09}$ | $\frac{0,6138}{1,0}$ | $\frac{0,6003}{1,0}$ | $\frac{0,7061}{4,73}$ | $\frac{0,6042}{1,16}$ | 0,6501 | 4 |
| УТЗ-4 "М-500" | $\frac{0,6337}{1,31}$ | $\frac{0,6745}{2,85}$ | $\frac{0,6981}{3,76}$ | $\frac{0,6797}{3,1}$ | $\frac{0,7204}{4,31}$ | $\frac{0,6875}{3,62}$ | $\frac{0,6694}{2,8}$ | 0,6800 | 2 |

ВИСНОВКИ

1. На основі огляду літератури, теоретичного аналізу та експериментальних досліджень обґрунтовано та розроблено віброхвильову інфрачервону сушарку, про доцільність якої свідчить патент України на корисну модель, проведення техніко-економічної оцінки та результати промислового впровадження машини.

2. Застосування деформованого вантажонесучого органу, двох дебалансних віброзбуджувачів, що сполучені гнучким зв'язком дозволило реалізувати транспортно-технологічну функцію обладнання, що у 3...5 разів є менш енергоємною та у 4...6 разів – менш металоємкою порівняно з традиційними віброконвеєрними інфрачервоними сушарками.

3. Експериментальні дослідження інфрачервоного сушіння з нерухомим, рухомим та псевдозрідженим шаром сировини виявили підвищення швидкості обробки для останнього у 1,9 рази за оптимальних умов рівномірності теплового контакту та нівелювання перегріву поверхневого шару.

4. Експериментально було встановлено, що збільшення питомого завантаження сої та ріпаку до 3,5 кг/м² призводить до збільшення виходу вологи, а наступне збільшення питомого завантаження є недоцільним, внаслідок недостатньої проникності ІЧ променів всередину всього шару продукту; найбільш оптимальною потужністю для випромінювачів є 300 Вт при достатньо високому виході вологи з продукту та збереженні якості зерна.

5. Вперше була розроблена математична модель процесу віброконвеєрного хвильового інфрачервоного сушіння з деформованим вантажонесучим органом, за якої наявність двох дебалансних віброзбуджувачів з гнучким зв'язком між собою дозволило реалізувати комбіновану незрівноваженість коливальної системи та відповідно можливість хвильового транспортування без істотних механічних навантажень на опори конструкції. Реалізація такої схеми дозволяє збільшити швидкість транспортування продукції на поверхні хвильового конвеєра на 29% порівняно із моментною та на 46% порівняно із силовою незрівноваженістю; підвищення енерговитрат на привод відповідно на 8% та 19%.

6. На основі математичного аналізу динамічної моделі вібраційного приводу хвильового конвеєра були отримані аналітичні та графічні залежності для основних параметрів вібрації та траєкторії руху виконавчих органів машини; амплітудно-частотні та енергетичні характеристики машини дозволили оцінити ефективні з техніко-економічних міркувань теоретичні режими вібраційної обробки, а саме $\omega_n = 90 - 120$ рад/с; $A = 2,5 - 4$ мм; режим транспортування за рахунок руху за правим динамічним гвинтом.

7. Визначено залежності для основних кінематичних, силових, енергетичних та теплофізичних параметрів досліджуваного процесу, що дозволило провести багатофакторне планування експерименту, техніко-економічний та функціонально-вартісний аналіз розроблених процесів та обладнання, підтверджуючи їх високий рейтинг за конкурентоспроможністю. Перевірка адекватності математичної моделі виявила відхилення між теоретичними та експериментальними дослідженнями за кінематичними характеристиками в межах 14%, а за енергетичними – 15%.

8. Математичне моделювання процесу інфрачервоного сушіння в умовах рухомого шару сировини дозволило скласти критеріальне рівняння тепломасообміну та обґрунтувати методику оцінки робочих режимів обробки оліємісткої сировини та рекомендації до проектування досліджуваних транспортно-технологічних систем.

9. Підготовлено технічну документацію на розроблені процеси та обладнання; спроектована експериментально-промислова модель машини була впроваджена на ПП «Вінницький оліє жировий комбінат»; очікуваний річний економічний ефект при впровадженні машини в умовах виробництва складає - 99773,6 тис. грн. при терміні окупності 0,4 року.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Друкований, М.Ф.** Удосконалення теплотехнології при виробництві олії та біодизельного пального [Текст]: монографія / **М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, Л.М. Коляновська, В.І. Паламарчук** // Вінниця, РВВ ВНАУ, 2014. – 254 с.
2. **Друкований, М.Ф.** Апарати для переробки олії в біодизель [Текст] / **М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, О.М. Друкований, В.І. Паламарчук** // Збірник наукових праць ВДАУ. – 2009. № 2. – С. 69-73.
3. **Друкований, М.Ф.** Вібраційна технологія очистки олії від мила при виробництві біодизелю [Текст] / **М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Вібрації в техніці та технологіях. №1(61). Вінниця, 2011 - С.114-120.
4. **Друкований, М.Ф.** Розвиток комплексу біотехнологій – головний шлях розвитку біоенергетики України [Текст] / **М.Ф. Друкований, І.В. Мазур, В.І. Паламарчук** // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: 2011 Вип.39, том 2. – С. 205-208.
5. **Бандура, В.М.** Експериментальні дослідження кінетики сушіння ріпаку та сої в нерухомому шарі в інфрачервоному полі [Текст] / **В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: 2012 Вип.41, том 2. – С. 110-113.
6. **Паламарчук, І.П.** Обґрунтування конструктивної та технологічної схеми конвеєрної вібраційної сушарки [Текст] / **І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Вібрації в техніці та технологіях. №2(66). Вінниця, 2012 - С.116-125.
7. **Паламарчук, І.П.** Анализ динамики виброконвейерной технологической системы с кинематическим комбинированным вибровозбуждением [Текст] / **І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2013. Vol. 15. No.4. 314-323.
8. **Паламарчук, І.П.** Обґрунтування параметрів пружної системи виброконвеєрної машини з кінематичним комбінованим вібровозбудженням [Текст] / **І.П. Паламарчук, В.І. Паламарчук, В.І. Драчишин** // Східно-Європейський журнал передових технологій, № 6/7(66), 2013. – С. 25 – 30.
9. **Паламарчук, І.П.** Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми конвеєрної вібромашини для обробки продукції «насіпом» [Текст] / **І.П. Паламарчук, В.І. Драчишин, В.І. Паламарчук** // Збірник наукових праць ВНАУ, № 2(85), 2014. – С. 185 – 192.
10. **Bandura, V.** Description of heat exchange in the similarity theory of vibrating drying process of sunflower [Text] / **V. Bandura, I. Zozuliak, V. Palamarchuk** // Ukrainian Journal of Food Science, 2014. Vol. 2. Issue 2. 305-311.
11. **Янович, В.П.** Експериментальна оцінка амплітудно-частотних характеристик виброконвеєрної технологічної машини [Текст] / **В.П. Янович, В.І. Драчишин, В.І. Паламарчук, Т.Ю. Сизова** // Вібрації в техніці та технологіях. №3(78). Вінниця, 2015. – С.145-150.

12. **Зав'ялов, В.Л.** Експериментальна оцінка енергетичних характеристик віброконвеєрної технологічної машини [Текст] / **В.Л. Зав'ялов, В.П. Янович, В.І. Драчишин, В.І. Паламарчук** // Вібрації в техніці та технологіях. №3(79). Вінниця, 2015. – С.79-85.

13. **Паламарчук, І.П.** Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми інфрачервоної віброхвильової конвеєрної сушарки для післязбиральної обробки сипкої сільськогосподарської продукції [Текст] / **І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, В.І. Паламарчук** // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - 2015. - Вип. № 1(89). Том 1 - С. 117-123.

14. **Бандура, В.М.** Экспериментальное исследование технологических параметров процесса инфракрасной сушки движущегося шара сырья масличных культур [Текст] / **В.М. Бандура, О.В. Цуркан, В.И. Паламарчук** // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2015. Vol. 17, №4. 211-214.

15. **Друкований М.Ф.** Комплекс технологій по переробці ріпаку в біодизель / **М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Збірник наукових праць ВДАУ. Випуск 42, том3. Матеріали МНТК [«Земля України – потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави»]. – Вінниця. 2009. - С. 34-40.

16. **Друкований М.Ф.** Розробка конструктивно-технологічних заходів для підвищення ефективності інфрачервоного сушіння енергонасиченої рослинної сировини / **М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Матеріали МНТК [«Земля України – потенціал економічної і екологічної безпеки держави»]. – Вінниця. 2010. – Випуск 42. – Т.3. – С. 34-40.

17. **Бандура В.М.** Перспективи методу сушіння олійних культур з використанням інфрачервоного опромінення / **В.М. Бандура, О.В. Жегалюк, В.І. Паламарчук** // Матеріали всеукраїнської наукової конференції молодих учених. – Умань. 2012. - С. 151 – 152.

18. **Паламарчук І.П.** Вибір типу механічного привода для конвеєрної віброосушарки з гнучким робочим і транспортуючим органами / **І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Матеріали IV МНТК [«Інноваційні енерготехнології»]. – Одеса. 2013. – С. 27-30.

19. **Бандура В.М.** Розробка конструктивно-технологічних заходів для підвищення ефективності інфрачервоного сушіння енергонасиченої рослинної сировини / **В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Матеріали IV МНТК [«Земля України – потенціал економічної і екологічної безпеки держави»]. – Вінниця. 2014. - С. 24-27.

20. **Бандура В.М.** Перспективи застосування віброконвеєрного інфрачервоного сушіння сировини олійного виробництва / **В.М. Бандура, В.І. Паламарчук** // Матеріали МНТК [«Сучасні агротехнології: тенденції та інновації»]. – Вінниця. 2015. – С. 11-13.

21. Пат. 87767 України. Вібраційна конвеєрна сушарка з інфрачервоними випромінювачами / **І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук**. – заявл. 28.02.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4. — 4 с.

Особистий внесок: отримана експериментальна база для визначення кінетики процесу інфрачервоного конвеєрного сушіння; розроблено виконавчі органи віброприводу конвеєрної інфрачервоної сушарки; отримана експериментальна база для визначення кінематичних та енергетичних характеристик віброконвеєрної технологічної машини; проведено аналіз альтернативних інфрачервоних сушарок та обґрунтовано основні структурні складові конвеєрної вібромашини.

АНОТАЦІЯ

Паламарчук В.І. «Обґрунтування режимних параметрів та обладнання віброконвеєрного інфрачервоного сушіння сировини олійного виробництва»

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси і обладнання харчових, мікробіологічних та

фармацевтичних виробництв. – Одеська національна академія харчових технологій.

У дисертації вирішено науково-технічну проблему реалізації інфрачервоного сушіння у поточному режимі за умови мінімізації енерго- та матеріаловитрат при забезпеченні необхідної продуктивності та рівномірності обробки. Оцінка основних параметрів масообміну проводилась для умов обробки сипкої сировини в нерухомому, рухомому та віброзваженому стані. Поставлені задачі були вирішені шляхом розробки віброхвильової інфрачервоної конвеєрної сушарки та обґрунтуванні її робочих режимів при експлуатаційних та теоретичних дослідженнях.

Графо-аналітичні методи оцінки досліджуваного процесу тепло масообміну та динаміки руху виконавчих органів сушарки дозволили отримати залежності основних кінематичних, силових та енергетичних параметрів досліджуваної коливальної системи та визначити ефективні режими її експлуатації.

Розроблена експериментально-промислова модель інфрачервоної віброконвеєрної сушарки з деформувальним транспортуючим органом пройшла промислові випробування та впровадження на Вінницькому олійножировому комбінаті.

Ключові слова: інфрачервоне сушіння, віброхвильовий конвеєр, олієвмісна сировина, коливальна система.

АННОТАЦІЯ

Паламарчук В.И. «Обоснование режимных параметров и оборудования виброконвейерной инфракрасной сушки сырья масличного производства»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская национальная академия пищевых технологий.

В диссертации решено научно-техническую проблему реализации инфракрасной сушки в непрерывном режиме при минимизации энерго- и материалозатрат при обеспечении необходимой производительности и равномерности обработки. Оценка основных параметров массообмена проводилась для условий обработки сыпучего сырья в неподвижном, подвижном и виброкипящем состоянии. Учитывая сравнительно низкую степень смешивания и высокую интенсивность действия инфракрасного излучения в поверхностном слое для первых двух вариантов технологических схем, виброволновое исполнение приводного механизма сушилки дает возможность наряду со значительным повышением поверхности теплообмена обеспечить эффективное перемешивание, транспортировку и соответствующую обработку сыпучей массы продукции. Поставленные задачи были решены путем разработки виброволновой инфракрасной конвейерной сушилки и обосновании ее рабочих режимов при эксплуатационных и теоретических исследованиях.

Используя результаты исследований закономерностей процесса инфракрасной сушки, физико-механических свойств маслосодержащего сырья,

составляющих колебательной системы, были сформулированы основные тенденции развития транспортно-технологических машин, вибрационных тепломасообменных аппаратов, обоснована конструктивно-технологическая схема и экспериментально-промышленная модель инфракрасной конвейерной сушилки. В разработанной машине устраняются противоречия между транспортным и технологическим движением, которые реализуются одновременно и непрерывно. Особенностью конструкции спроектированной инфракрасной сушилки является наличие деформируемой направляющей продуктового потока, на поверхности которой создается транспортирующая волна при действии механических вибровозбудителей, смонтированных в опорных катках. Такая техническая схема позволяет решить проблему равномерного перемешивания и транспортирования сыпучей продукции в условиях действия инфракрасного излучения при минимизации энергозатрат и металлоемкости сушилки.

Экспериментальные и теоретические исследования проводились для трех способов реализации процесса инфракрасной сушки: для неподвижного, движущегося и вибросжиженного слоя сыпучей продукции. В качестве критериев оценки использовался комплекс характеристик, а именно тепломасообменные параметры исследуемого процесса: скорость сушки, температура и влажность продукции; механические параметры: амплитуда и частота колебаний, виброскорость и виброускорение; технико-экономические параметры: энергозатраты и металлоемкость оборудования, производительность сушилки и время обработки. Сравнительные исследования показали эффективность инфракрасной сушки в условиях «вибрационного» технологического поля. Для реализации последнего конструктивного решения был произведен анализ основных способов создания неуравновешенности колебательной системы, на основании которого была обоснована эффективность реализации в проектируемой виброволновой схеме исполнительных органов инфракрасной сушилки комбинированного моментно-силового метода выведения движущихся масс из положения равновесия. При этом создание правого или левого динамического винта позволяет обеспечить требуемую скорость продуктового потока для обеспечения которого, были экспериментально определены соотношения амплитудно-частотных характеристик вибровозбудителей разработанной машины.

Используя теоремы подобия и теорию размерностей, было составлено критериальное уравнение массообмена для подвижного слоя продукции. На основании методов математического анализа Лагранжа и Коши были получены уравнения траектории по основным степеням свободы исследуемой колебательной системы, зависимости для основных кинематических, силовых и энергетических ее характеристик. Полученные результаты вместе с экспериментальными исследованиями позволили обосновать экономически эффективные и технологически целесообразные рабочие режимы обработки маслосодержащего сырья, а именно рапса и сои.

Технико-экономический анализ полученных оценочных параметров исследуемого процесса для выбранных режимов обработки, характеристик наиболее известных современных конвейерных инфракрасных сушилок

показали, что даже при одинаковой производительности зарубежные виброконвейерные сушилки уступают разработанной виброволновой машине по снижению энергозатрат в 10 раз, а по уменьшению металлоемкости – в 6 раз. Подтвердил высокий рейтинг разработанного процесса и оборудования проведенный анализ уровня техники по конкурентоспособности.

Графо-аналитические методы оценки исследуемого процесса теплообмена, динамики движения исполнительных органов сушилки позволили получить зависимости основных кинематических, силовых и энергетических параметров исследуемой колебательной системы и определить эффективные режимы ее эксплуатации.

Разработана экспериментально-промышленная модель инфракрасной виброконвейерной сушилки с деформируемым транспортирующим органом прошла промышленные испытания и внедрение на Винницком масложиркомбинате.

Ключевые слова: инфракрасная сушка, виброволновой конвейер, маслосодержащее сырье, колебательная система.

ANNOTATION

Palamarchuk V.I. «Justification operational parameters and equipment vibro-conveyor infrared drying oil feedstock production»

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.18.12 - Processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical industries. - Odessa National Academy of Food Technologies.

The dissertation solved the problem of the scientific and technical implementation of infrared drying routinely provided to minimize energy and material costs while providing the necessary performance and uniformity of treatment. Evaluation of basic parameters of mass transfer was carried out for bulk materials processing conditions in a fixed, moving and vibrated condition. Delivered problem had been solved by developing vibrowave infrared conveyor dryer and justification of its operating modes at operational and theoretical studies.

Graph-analytical methods for evaluating the investigational process of heat and mass transfer and driving dynamics of executive bodies of dryers provided a major kinematic dependence, power and energy parameters of oscillatory systems and identify effective modes of operation.

The developed experimental-industrial model vibrowave infrared dryer with molding transporting the body passed industrial testing and implementation at Vinnytsia oil-extraction enterprise.

Keywords: infrared drying vibrowave conveyor oil content raw oscillating system.

Підписано до друку 20.09.2016 року. Формат 60×84/16.

Папір офсетний. Друк різнографічний

Умов. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. 182

Видавничий центр ОНАХТ, 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 122