

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2

Вібрації в техніці та технологіях



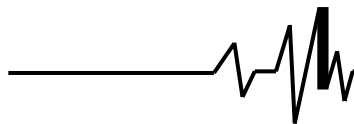
Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

Вібрації в техніці та технологіях

№ 2 (105)

Вінниця 2022

**ВІБРАЦІЇ В
ТЕХНІЦІ ТА
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального
спрямування Видавець: Вінницький національний
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та
технологіях”

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової
інформації*

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та
технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця,
2022. – 2 (105) – 129 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного
університету (протокол № 1 від 30.08.2022 р.)*

*Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки
України від 02.07.2020 р. № 886)*

Головний редактор

Калетнік Г.М. – д.е.н., професор,
академік НААН України, Вінницький
національний аграрний університет

**Заступник головного
редактора**

Адамчук В.В. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний науковий
центр “Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства”

Відповідальний секретар

Солоня О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний університет
біоресурсів і природокористування України

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Деревенько І. А. – к.т.н., доцент,
Національний університет «Львівська
політехніка»

Зіньковський А.П. – д.т.н., професор,
Інститут проблем міцності імені Г. С.
Писаренка НАН України

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Матвеев В.В. – д.ф.-м.н., професор,
академік НАН, Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор,
Вінницький національний аграрний
університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

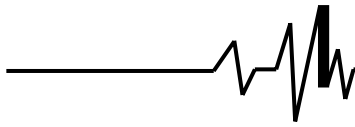
Максимов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: vibration.vin@ukr.net

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН***Sevostianov I.***ELABORATION OF PROCESSES OF VIBRO-BLOWING DEHYDRATION OF DAMP DISPERSIVE MATERIALS IN A CLOSED PRESS-FORM.....5***Луц П.М.***ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АНТИВІБРАЦІЙНОЇ ВІДЖИМНОЇ НАСАДКИ ПРЕСУ17***Степаненко С.П., Котов Б.І., Рудь А.В., Замрій М.А.***ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ НА ПОВЕРХНІ СТУПІНЧАСТОГО ВІБРОЖИВИЛЬНИКА.....25***Купчук І.М., Дідик А.М.***ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КОРМІВ ЗАЛЕЖНО ВІД КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ДИСКОВОЇ ДРОБАРКИ33****2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА***Сивак Р. І., Солоня О.В., Залізняк Р. О.***ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОДНО- ТА ДВОВИМІРНИХ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ КІНЕМАТИКИ ПЛАСТИЧНОЇ ТЕЧІЇ МЕТАЛУ45***Веселовська Н. Р., Брацлавець Б.С., Іскович-Лотоцький Р.Д., Шевченко В.В.***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ НА УСТАНОВКАХ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ.....52***Matviychuk V., Gaidamak O. Karpiichuk M.***REATING SURFACE LAYERS OF PARTS WITH INCREASED TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS USING COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING.....65***Sevostianov I., Melnyk O.***SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL FOR HYDROPONIC TECHNOLOGICAL COMPLEXES 76***Матвійчук В.А., Колісник М.А., Штуць А.А.***ПОБУДОВА КРИВИХ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ МАТЕРІАЛІВ84***Shargorodskiy S., Yaschuk E.***INVESTIGATION OF OPERATION OF THE HYDROVOLUMIC MANUAL CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF A DOSING PUMP WITH AXIAL SPOILER WITH ACCIDENTAL LOAD.....91***Швець Л.В., Труханська О.О.***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЛЬЦЮВАННЯ ЗАГОТОВОК З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ ІЗОТЕРМІЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ.....104***Гулько І.В., Грибик Р.І.***МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ115****3. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА***Полєвода Ю. А., Рєва В.Ю., Попов І.І.***МЕТОДИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА122**

**Полевода Ю. А.**

к.т.н., доцент

Ревва В. Ю.

аспірант

**Вінницький національний
аграрний університет****Попов І. І.**

викладач

**Відокремлений
структурний підрозділ
«Ладжинський фаховий
коледж Вінницького
національного аграрного
університету»****Polievoda Y.**PhD of Engineering, Associate
Professor**Revva V.**

postgraduate

**Vinnitsia National Agrarian
University****Popov I.**

teacher

**Separated structural unit
«Ladyzhyn Professional
College of Vinnitsia
National Agrarian
University»****УДК 636.985.55****DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2-13**

МЕТОДИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

Першочерговим завданням виробників зерна є доведення його до кондиційної вологості. Для тимчасового та довгострокового зберігання, транспортування та переробки потрібно зерно вологістю 14%, для зернообових – трохи менше, близько 10%. Це досягається термічною обробкою зерна. Термічні способи обробки зерна суттєво підвищують його поживні і смакові якості, дозволяють диверсифікувати сферу вжитку обробленого продукту.

Для проведення високоякісного та енергоощадного процесу потрібно детально вивчити методи та засоби для його реалізації.

Вибір способів і засобів для термічної обробки зерна залежить від декількох факторів. Це вид початкового і кінцевого зернового продукту, об'єми виробництва, наявне обладнання тощо. Метою досліджень є мінімізація енергозатрат та збереження якості готової продукції при термічній обробці зерна шляхом вивчення існуючих методів і вибору оптимального, виходячи з існуючих умов виробництва.

Широке розповсюдження конвективного способу обумовлене тим, що теплоносій (гаряче повітря) одночасно і передає тепло зерну і поглинає вологу, що виділяється в процесі нагріву, а також відносно простою конструкції агрегатів теплової обробки. Заслужує уваги спосіб обробки зерна шляхом його нагріву з наступним плющенням. Зерно подається в камеру, де обробляється припливно на протязі однієї хвилини гарячим повітрям температурою 260–340°C. При цьому відбувається миттєве випаровування вологи всередині зернівки. В момент коли крохмаль стає пластичним, а тиск всередині зерна – максимальним, воно направляє на вальці, де вибухає і плющиться. На практиці також застосовується і поєднання конвективного і кондуктивного нагріву зерна. Прикладом цього можуть бути різноманітні обжарювальні агрегати, які застосовуються в харчовій промисловості. Значну перевагу має спосіб термообробки зерна інфрачервоним або мікрохвильовим випромінюванням. Адже використання цього способу дозволяє підводити енергію безпосередньо до матеріалу, не нагріваючи проміжний теплоносій, паро- та повітропроводи, інше масивне обладнання. Обробка зернового матеріалу інфрачервоним випромінюванням дозволяє майже на 40% скоротити непродуктивні витрати енергії, ізолювати готовий продукт від чинників, що сприяють його забрудненню. Завдяки своїм перевагам спосіб мікронізації можна вважати найбільш перспективним для термічної обробки зерна в харчовій галузі.

Ключові слова: зерно, теплота, термічна обробка, конвективний нагрів, кондуктивний нагрів, мікронізація, енергоефективність.



Вступ. Зерно різних культур є одним з головних компонентів в раціонах як людей, так і тварин. В годівлі тварин вони використовуються в складі комбікормів, для людини – це крупи, пластівці, борошняні вироби тощо. Але свіжозібране зерно значно відрізняється своїми характеристиками (перш за все вологістю) від зерна, що йде на переробку. Звичайно, вологість свіжозібраного зерна залежить від декількох факторів, в першу чергу від культури та вологості навколишнього середовища під час збирання. Початкова вологість зерна (тобто вологість після комбайну) змінюється в широких межах від 20% до 32%. Для тимчасового та довгострокового зберігання, транспортування та переробки потрібно зерно значно меншої вологості. Для більшості видів зерна кондиційна вологість становить 14%, для зернобобових – трохи менше, близько 10%. Окрім того, якщо зерно тривалий час зберігається при підвищеній вологості, в його об'ємі інтенсивно розвиваються різноманітні шкідники, бактерії, грибки які значно погіршують продуктивну цінність зерна і можуть викликати підвищення його температури (так званий процес самозігрівання).

Постановка проблеми. Бували випадки коли цей процес самозігрівання призводив навіть до загорання об'єктів, де зберігалася велика кількість вологого зерна.

Тому першочерговим завданням виробників зерна є доведення його до кондиційної вологості. Для цього існує декілька способів і практично всі вони пов'язані з термічною дією зовнішніх факторів на зерно. Виключенням може слугувати лише процес механічного зневоложення для деяких видів зерна. Прикладом механічної дії на зерно може бути процес обробки особливо високовологих об'єктів (наприклад свіжозібране насіння гарбуза) [1].

Окрім важливого процесу доведення зерна до кондиційної вологості, термічна обробка широко застосовується при його переробці в харчовій та комбікормовій галузях. Адже термічна дія має широкий спектр впливу на зерно:

- покращує смакові якості круп;
- підвищує харчову цінність продукту за рахунок розщеплення важкоперетравних речовин;
- зменшує внутрішні енергетичні затрати організму;
- підвищує вологовбирну здатність продукту;
- покращує фізико-механічні характеристики зерна для подальшої обробки та зберігання.

Можна зробити висновок, що термічна обробка зерна є найважливішим процесом у

всій технології його післязбирального обробітку та переробки. Для проведення високоякісного та енергоощадного процесу потрібно детально вивчити методи та засоби для його реалізації. Це і є завданням даної роботи.

Мета дослідження. Метою досліджень є мінімізація енергозатрат та збереження якості готової продукції при термічній обробці зерна шляхом вивчення існуючих методів і вибору оптимального, виходячи з існуючих умов виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вибір способів і засобів для термічної обробки зерна залежить від декількох факторів. Це вид початкового і кінцевого зернового продукту, об'єми виробництва, наявне обладнання тощо В залежності від цих та деяких інших факторів проводяться наукові дослідження, результати яких висвітлюють різні аспекти цього важливого технологічного процесу. Наприклад, до складу лінії може входити обладнання для очищення зерна від домішок, лущення плівчастих культур, зволоження або пропарювання, обробки інфрачервоним промінням, плющення та охолодження пластівців і т. д. Найпростішу принципову технологічну схему лінії для мікронізації наведено на рис. 1.

Широкий спектр технологій сушіння зернової продукції та засобів для їх реалізації представлений в монографії [2] яка підсумовує багаторічний досвід роботи Одеської національної академії харчових технологій в цій галузі.

Але більшість досліджень присвячено окремими аспектами даної проблеми: виду продукції, способу термічної обробки, обладнанню, яке при цьому використовується, теоретичними аспектами опису процесу тощо. Так, наприклад в роботі [3] розглянуті питання вибору способу та засобів сушіння високо вологого насіння гарбуза. В роботі [4] розглянуті різні аспекти способу підведення теплової енергії до зерна за допомогою теплових труб і мікрохвильового поля, зокрема їх вплив на схожість зернового матеріалу. Математична модель радіоаційно-конвективного сушіння зерна у віброкиплячому шарі представлена в роботі [5]. В ній відмічено, що застосування радіаційно-конвективного способу сушіння дозволяє проводити термообробку зернових матеріалів в широкому діапазоні технологічних параметрів, що особливо актуально для господарств з обмеженою номенклатурою сушильного обладнання.

Обробка зерна зернопродуктів і насіння застосовується як самостійний вид обробки, так і в якості окремої операції в різноманітних технологічних процесах. Кожний вид зернового

матеріалу потребує певної тривалості – експозиції обробки. В безперервних установках, які в якості транспортних засобів для переміщення матеріалу (наприклад, під час опромінювання) використовують стрічкові транспортери, потрібна експозиція реалізується зміною швидкості стрічки, що легко технічно реалізується. Але при використанні стрічкових транспортерів зерновий матеріал розміщують на поверхні стрічки моношаром, що вимагає збільшення довжини транспортного засобу. Застосування вібраційних транспортерів (обладнання) значно підвищує ефективність обробки, оскільки, дозволяє перемішувати шар зернового матеріалу, змінювати орієнтацію зернівок неперервно і збільшувати висоту шару і т. д. Тому для зернового матеріалу в умовах господарств можна використовувати різноманітне вібраційне обладнання, а як транспортний засіб «решітний стан» віброрешітних зерноочисних машин, які працюють на очищенні обмежений проміжок часу. Але при цьому виникає проблема забезпечення необхідного, керованого режиму переміщення [14, 15, 16].

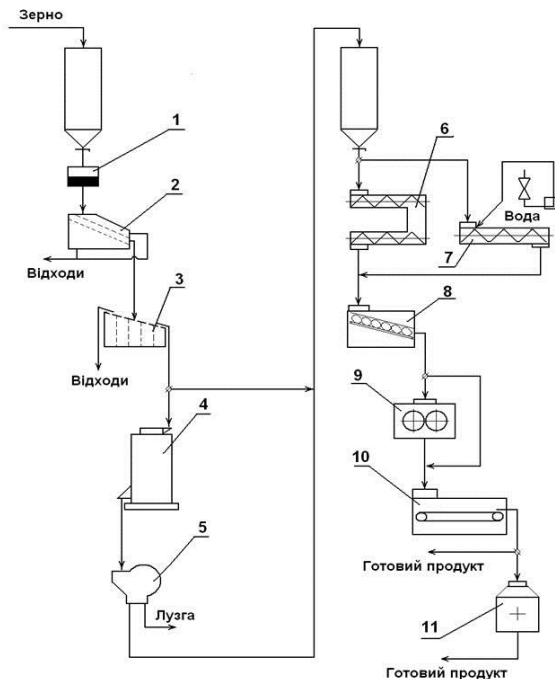


Рис. 1. Принципова технологічна схема мікронізації зерна: 1 – магнітний захист; 2 – зерноочисний сепаратор; 3 – каменевідбірник; 4 – лушильна машина; 5 – повітряний сепаратор; 6 – пропарювач; 7 – зволожувальна машина; 8 – мікронізатор; 9 – плющильний верстат; 10 – охолоджувальна колонка горизонтального типу; 11 – дробарка

Останнім часом розширюється сфера застосування інфрачервоної сушки, зокрема

процесу мікронізації. В роботах [6, 7, 8, 16] розглянуті процеси створення математичних моделей високотемпературної термообробки зернових матеріалів. Розроблені в цих роботах математичні моделі на основі аналітичних та експериментальних досліджень процесів термообробки зернових матеріалів забезпечують широкий діапазон розрахунків режимів і параметрів обладнання для реалізації даних процесів. Ще один приклад побудови математичної моделі процесів тепло- і масопереносу, на цей раз в щільному шарі зернового матеріалу, представлений в роботі [9]. Представлені математичні моделі можна використовувати для визначення параметрів процесу конвективного сушіння в конвеєрних сушарках.

Підсумовуючи наведений огляд останніх досліджень в даній галузі, можна зробити висновок, що більшість авторів досліджує окремі способи термічної обробки зерна. Вибір конкретних об'єктів дослідження залежить від виду початкового та кінцевого продукту, наявного обладнання тощо. Для правильного вибору об'єкту досліджень потрібно мати уяву про існуючі способи термічної обробки зерна. Саме детальному огляду цих способів і присвячена дана робота.

Основні результати досліджень

Огляд способів термічної обробки зерна почнемо з найбільш розповсюдженого – конвективного нагріву гарячим (підігрітим) повітрям.

Широке розповсюдження саме конвективного способу обумовлене тим, що теплоносій (гаряче повітря) одночасно і передає тепло зерну, і поглинає вологу що виділяється в процесі нагріву, а також відносної простоти конструкції агрегатів теплової обробки.

Технічні способи конвективного нагріву зерна досить різноманітні. Є способи використання у виробничих умовах конвективного нагріву продуктами згорання палива або газоповітряної суміші з досить високою температурою, що призводить до значної інтенсифікації процесу. Також знаходить застосування конвективний нагрів зерна в розпушеному шарі [10, 15].

При конвективному нагріві зерна важливу роль відіграє товщина шару, його стан (щільний, розпушений), параметри матеріалу і теплоносія.

Зерно, як складна термодинамічна система і живий організм, активно взаємодіє з навколишнім середовищем і зазнає зміни своїх властивостей і структури, як відповідь на прикладений зовнішній вплив. При зміні вологості і температури в зерні відбуваються складні фізико-хімічні та біологічні процеси:



набухання біополімерів зерна при їх взаємодії з вологою, активізація його ферментної системи тощо.

Дослідження [11, 15] показали що при конвективному способі нагріву зерна вологістю 12–15% на протязі 50–120 с повітрям нагрітим до 300°C в теплообмінному апараті спеціальної конструкції воно швидко нагрівається до температури 160°C. В результаті такої швидкої і різної температурної дії волога, яка зв'язана біополімерами зерна, набуває високої термодинамічної активності і переходить в стан пари, тиск всередині зерна різко зростає і воно спучується. Об'єм зерна збільшується на 30–40%, а в деяких випадках воно розтріскується під дією високого внутрішнього тиску. Таке спучене зерно після охолодження можна зберігати досить довгий час. Харчові якості зерна після такої обробки покращуються. Потрібно також відмітити, що такий спосіб обробки зерна не пов'язаний з необхідністю мати додаткове обладнання, наприклад котельню.

Заслужує уваги спосіб обробки зерна шляхом його нагріву з наступним плющенням. Зерно подається в камеру, де обробляється приблизно на протязі однієї хвилини гарячим повітрям температурою 260–340°C. При цьому відбувається миттєве випаровування вологи всередині зернівки. В момент коли крохмаль стає пластичним, а тиск всередині зерна – максимальним, воно направляється на вальці, де вибухає і плющиться. Об'єм зерна кукурудзи і сорго після такої обробки збільшується майже в 10 разів, а пшениці і ячменю – приблизно в 1,5 рази. Основною перевагою даного способу обробки в порівнянні з пропарюванням і плющенням є невисока вологість готового продукту, що покращує його логістичні властивості і дозволяє збільшувати час зберігання.

Згодовування тваринам зерна, яке було оброблено гарячим повітрям дозволило скоротити на 20–30 % вживання ними сухої речовини в порівнянні з тваринами, яким згодовували подрібнене необроблене зерно. Таке значне скорочення вживання корму свідчить про ефективність даного способу обробки зерна. Результати досліджень щодо аналогічної обробки харчового зерна потребують подальшого вивчення.

Швидко кондуктивне нагрівання (на жаровнях) попередньо нагрітого зерна, як і при конвективному нагріві, призводить до його вспучення та розтріскування. Може відбуватись навіть «вибух» зерна внаслідок створення всередині нього високого тиску парів води. В результаті обжарювання відбувається гідроліз крохмалю і перехід його в більш прості

вуглеводи, зокрема декстрини, а також часткова денатурація білків.

Дослідження показують зміни співвідношення між соле- та лугорозчинними фракціями білка в обжарюваному зерні [12, 13]. Наприклад, відмічається, що при прожарюванні ячменю вміст водо- та спирторозчинного білку знижується на 70–75% відсотків при одночасному збільшенні вмісту лугорозчинного білку приблизно на 10%. Також відбувається зміна вмісту амінокислот, перш за все вільних, які при збільшенні вологості і температури зерна активно вступають в реакцію з простими цукрами з утворенням меланоїдів. Наприклад, при обробці вівсу вміст незамінних амінокислот зменшується більш ніж на 25%, а загальний їх вміст залишається майже на тому ж рівні. Разом з цим покращується і смакові якості продукту.

На практиці також застосовується і поєднання конвективного і кондуктивного нагріву зерна. Прикладом цього можуть бути різноманітні обжарювальні агрегати, які застосовуються в харчовій промисловості. Досвід їх застосування демонструє значне покращення смакових якостей зерна. При цьому відбувається зміна властивостей вуглеводів зерна, перш за все, основних їх компонентів – крохмалю. Це пов'язано, в першу чергу, з тим що при вологості продукту вище 15% і температури вище 65°C відбувається клейстеризація крохмалю. Його гранули деградують, створюється суцільна гомогенна маса з високою в'язкістю, реально вираженими клейкими властивостями, які знаходяться у в'язкотекучому стані. Внаслідок деструкції макромолекул крохмалю відбувається створення різних декстринів. При цьому підвищується вміст водорозчинних речовин в зерні. При різних термічних способах обробки зерна вміст декстринів в ньому збільшується в 3–15 разів. Кінцевим продуктом ферментного розщеплення макромолекул крохмалю є моноцукри.

При помірних режимах обробки зерна вітаміни не зазнають помітних змін. Але при перевищенні температури нагріву зерна вище 80°C їх вміст може зменшуватись.

Ще одним способом температурної обробки зерна є мікронізація, тобто інтенсивний його нагрів інфрачервоними (ІЧ) променями на протязі 35–60 с. В результаті нагріву зерна до 150–190°C зв'язана в зерні вода переходить в квазіпароподібний стан. Внутрішній тиск в зерні різко зростає, в результаті чого воно вспучується і пластифікується. В такому стані зерно добре плющиться. При цьому істотно змінюються його фізичні та біологічні властивості, а також харчова цінність [13]. Відмічається що мікронізоване зерно за



поживними якостями краще, ніж початкове. Це обумовлено, перш за все, глибокою модифікацією крохмалю, його клейстеризацією та появою низькомолекулярних декстринів. В результаті суттєво збільшується доступність вуглеводів. Окрім того, відбувається також і часткова денатурація білків.

Інфрачервона обробка зерна на відміну від мікронізація проводиться при більшій тривалості процесу (до 5 хвилин) і більш низьких параметрах опромінення. Особливо перспективним є обробка ІЧ опромінення сої, яка використовується в кормових і харчових цілях. В сирому вигляді боби сої не можуть використовуватись в якості корму через наявність в них інгібіторів трипсину, які негативно впливають на процес травлення і засвоюваність білків. Однак при обробці сої опроміненням на протязі 80 с цей інгібітор практично повністю інактивується. Одночасно інактивуються ліпоксігеназа та уреаза, активність жиророзчинних вітамінів майже не змінюється.

Процес мікронізація зерна включає наступні операції: зволоження з наступною відлежкою, пропарювання, обробка ІЧ променями, плющення, охолодження.

Пропарювання проводять при тиску пари в межах 0,08–0,20 МПа в залежності від культури. Витрата пари становить від 3 до 8% від маси зерна.

Для розробки ефективного варіанту обробки зерна різних культур способом мікронізації, потрібно знати оптичні властивості зернівки, особливості його взаємодії з ІЧ променями, характер їх поглинання і відповідні реакції зерна на здійснений вплив. В даному випадку цей вплив має складний характер в зв'язку з особливою структурою зерна.

Найбільш детально вивчена мікроструктура пшениці, як основної зернової культури. Але загальні якісні закономірності характерні і для інших культур. Результати досліджень показують, що спектри пропускання або спектри відбиття потоку випромінювання як вологих, так і сухих рослинних матеріалів, в цілому подібні між собою і в кількісному, і якісному відношенні. Загальним для всіх матеріалів є наявність значного поглинання в діапазоні довжини хвилі 0,4–0,6 мкм і 1,2–2,0 мкм. При цьому велике значення має також вологість матеріалу, але основний вплив має суха речовина її хімічна характеристика і особливості структури матеріалу.

Ще один вид гідротермічної обробки зерна – гаряче кондиціонування. При реалізації цього виду обробки зерно зволожують до 18–30%, а потім нагрівають в спеціальному апараті-кондиціонері при температурі 85–95°C на протязі 10–20 хвилин. В результаті цього

впливу зростає ступінь набухання зерна. Всі процеси в ньому інтенсифікуються, що призводить до деякої модифікації біохімічних і харчових властивостей зерна.

Цей спосіб завдяки високій вологості готової продукції отримав розповсюдження на тваринницьких комплексах, коли оброблювальний матеріал подається безпосередньо в годівниці тваринам.

Пропарювання зерна з наступним плющенням може відбуватися при тиску, близькому до атмосферного, або ж при підвищеному тиску. В першому випадку сухе зерно зволожується насиченим паром до вологості 18–20% і нагрівається до температури 85–95°C. Більш висока вологість небажана, тому що погіршується процес плющення і збільшується затрати на реалізацію процесу.

Пропарювання при підвищеному тиску 0,1–0,3 МПа викликає більш суттєву зміну фізичних і поживних властивостей зерна. Після пропарювання зерно піддається плющення. Додатково перевагою цього способу є його короткочасність – достатньо пропарювати зерно на протязі 1–2 хвилин, замість 15–20 хвилин при атмосферному тиску пари.

Така обробка зерна помітно покращує його поживні властивості. Відмічено, що засвоюваність кормів, які були оброблені таким чином, збільшилася на 6–9%.

Розглянуті способи термічної обробки зерна реалізуються на відповідному обладнанні при раціональних параметрах які забезпечують необхідну якість готового продукту та можливий рівень енергозатрат. Всі вони мають одну позитивну рису – підвищення якості продукції після відповідної обробки. Але, звичайно, кожен з них має і свої відмінності, які в основному, полягають у рівні енергозатрати на реалізацію відповідного способу. З цієї точки зору значну перевагу має спосіб термообробки зерна інфрачервоним або мікрохвильовим випромінюванням. Адже використання цього способу дозволяє підводити енергію безпосередньо до матеріалу, не нагріваючи проміжний теплоносій, паро- та повітропроводи, інше масивне обладнання.

Саме завдяки цьому це скорочує непродуктивні витрати енергії майже на 40% [8, 14]. Даний спосіб термообробки зерна найбільш підходить для харчових виробництв ще й тому, що матеріал не має безпосереднього контакту із забрудненими поверхнями елементів теплових апаратів, а також з теплоносієм, який може містити залишки продуктів згорання палива.

Висновки:

1. Термічні способи обробки зерна суттєво підвищують його поживні і смакові



якості, дозволяють диверсифікувати сферу вжитку обробленого продукту.

2. Обробка зернового матеріалу інфрачервоним випромінюванням дозволяє майже на 40% скоротити непродуктивні витрати енергії, ізолювати готовий продукт від чинників, що сприяють його забрудненню.

3. Завдяки вказаним перевагам спосіб мікронізація можна вважати найбільш перспективним для термічної обробки зерна в харчовій галузі.

Список використаних джерел

1. Цуркан О. В. Передумови для побудови математичної моделі процесу фільтраційного сушіння насіння гарбуза техніка. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 136–141.

2. Бурдо О. Г. Еволюція сушильних установок: Монографія. Одеса: «Поліграф», 2010. 368 с.

3. Цуркан О. В. Обґрунтування раціонального способу та обладнання для сушіння високовологого насіння баштанних культур. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2022. № 1(305). С. 240–246.

4. Зиков О., Орлова С., Овсяникова Л. Енергоефективні методи термічної обробки зерна. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2019. № 2 (94). С.176–182.

5. Калініченко Р. А., Солоня О. В., Твердохліб І. В. Дослідження радіаційно-конвективної термообробки зерна у віброкиплячому шарі. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 2 (85). С. 95–98.

6. Котов Б. І., Калініченко Р. А., Кіфяк В. В. Математичне моделювання динамічних режимів мікронізація зерна при змінній потужності випромінювачів за координатою. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Технічні науки*. 2014. Вип. 148. С. 388–394.

7. Котов Б. І., Кіфяк В. В., Калініченко Р. А. Математична модель динамічних режимів електродинамічної установки для обробки зерно матеріалів імпульсивними потоками інфрачервоного випромінювання. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Технічні науки*. 2014. Вип. № 2. С. 181–191.

8. Калініченко Р. А., Войтюк В. Д. Математичне моделювання тепломасообмінних процесів високотемпературної термообробки

зернових матеріалів. *Техніка та енергетика*. 2017. № 275. С. 59–65.

9. Kotov B., Kalinichenko R., Spirin A. Mathematical modeling of heat and mass transfer process under heat treatment of grain materials in dense layer. *ТЕКА*. Lublin. 2016. Vol. 16, № 4. P. 35–42.

10. Котов Б. І., Калініченко Р. А., Кіфяк В. В. Моделювання нагріву та охолодження зернопродуктів в режимі пневмотранспортера. *Інженерія природокористування*, 2015, № 1(3). С. 40–43.

11. Бурдейний В. С., Докуніхін В. В. Обґрунтування роботи сушарок для сушіння пивоварного ячменю та інших сільськогосподарських культур із змінним режимом сушіння агента при різних температурах. *Вісник ДААУ*. 2011. № 1. С. 89–94.

12. Подпрятков Г. І., Рожко В. І., Скалецька Л. Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва. Підручник. Київ: Аграрна освіта. 2014. 393 с.

13. Соколенко А. І. Фізико-хімічні методи оброблення харчових продуктів у процесі пакування. К.: УДУХТ, 1999. 212 с.

14. Полевода Ю. А. Перспективи застосування вібраційних ефектів в рідких технологічних системах харчових і переробних виробництв. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2015. №1 (89) Том 1. С. 124–130.

15. Tsurkan O. V., Gerasimov O. O., Polyevoda Y. A., Tverdokhlib I. V., Rimar T. I., Stanislavchuk O. V. Kinetic features of vibrating and filtration dewatering of fresh-peeled pumpkin seeds. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 52, No. 2, P. 69–76.

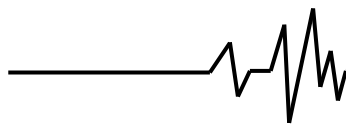
16. Полевода Ю. А., Волинець Є. О. Дослідження віброреологічних моделей шару сипкого середовища. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 1 (112). С. 1–10.

References

1. Tsurkan, O. V. (2022). Peredumovy dlia pobudovy matematychnoi modeli protsesu filtratsiinoho sushinnia nasinnia harbuza tekhnika. [Prerequisites for building a mathematical model of the process of filtration drying of pumpkin seeds technique]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 1 (116). S. 136–141. [in Ukrainian].



2. Burdo O. H. (2010). Evoliutsiia sushylnykh ustanovok. [Evolution of dryers]. Monohrafiia. *Polihraf*, 368 s. Odesa [in Ukrainian].
3. Tsurkan, O. V. (2022). Obgruntuvannia ratsionalnogo sposobu ta obladnannia dlia sushinnia vysokovolohoho nasinnia bashtannykh kultur. [Substantiation of a rational method and equipment for drying high-moisture seeds of melons]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky*. № 1 (305). S. 240–246. [in Ukrainian].
4. Zykov, O., Orlova, S., Ovsianykh, L. (2019). Enerhoefektyvni metody termichnoi obrobky zerna. [Energy efficient methods of heat treatment of grain]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomia*. № 2 (94). S.176–182. [in Ukrainian].
5. Kalinichenko, R. A., Solona, O. V., Tverlokhlib, I. V. (2017). Doslidzhennia radiatsiino-konvektyvnoi termoobrobky zerna u vibrokyplyachomu shari. [Investigation of radiation-convective heat treatment of grain in vibro-boiling layer]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. № 2 (85). S. 95–98. [in Ukrainian].
6. Kotov, B. I., Kalinichenko, R. A., Kifiak, V. V. (2014). Matematychno modeliuвання dynamichnykh rezhymiv mikronizatsiia zerna pry zminni potuzhnosti vyprominiuvachiv za koordynatoi. [Mathematical modeling of dynamic modes of grain micronization when changing the power of radiators by coordinate]. *Visnyk KhNTUSH imeni Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky*. 148. S. 388–394. [in Ukrainian].
7. Kotov, B. I., Kifiak, V. V., Kalinichenko, R. A. (2014). Matematychna model dynamichnykh rezhymiv elektrodynamichnoi ustanovky dlia obrobky zerno materialiv impulsyvnyimi potokamy infrachervonoho vyprominiuvannia. [Mathematical model of dynamic modes of electrodynamic installation for processing grain materials by pulsed infrared fluxes]. *Visnyk KhNTUSH imeni Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky*. № 2. S. 181–191. [in Ukrainian].
8. Kalinichenko, R. A., Voitiuk, V. D. (2017). Matematychno modeliuвання teplomasoobminnykh protsesiv vysokotemperaturnoi termoobrobky zernovykh materialiv. [Mathematical modeling of heat and mass transfer processes of high-temperature heat treatment of grain materials]. *Tekhnika ta enerhetyka*. № 275. S. 59–65. [in Ukrainian].
9. Kotov, B., Kalinichenko, R., Spirin, A. (2016). Mathematical modeling of heat and mass transfer process under heat treatment of grain materials in dense layer. *TEKA*. Vol. 16, № 4. S. 35–42. [in English].
10. Kotov, B. I., Kalinichenko, R. A., Kifiak, V. V. (2015). Modeliuвання nahrivu ta okholodzhennia zernoproduktiv v rezhymiv pnevmotransportera. [Modeling of heating and cooling of grain products in the pneumatic conveyor mode]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*, № 1(3). S. 40–43. [in Ukrainian].
11. Burdeinyi, V. S., Dokunikhin, V. V. (2011). Obgruntuvannia roboty susharok dlia sushinnia pyvovarnoho yachmeniu ta inshykh silskohospodarskykh kultur iz zminnym rezhymom sushinnia ahenta pry riznykh temperaturakh. [Rationale for the operation of dryers for drying malting barley and other crops with variable drying mode of the agent at different temperatures]. *Visnyk DAAU*. № 1. S. 89–94. [in Ukrainian].
12. Podpriatov, H. I., Rozhko, V. I., Skaletska, L. F. (2014). Tekhnolohiia zberihannia ta pererobky produktsii roslynnytstva. [Technology of storage and processing of crop products]. *Pidruchnyk. Ahrarna osvita*. 393 s. Kyiv [in Ukrainian].
13. Sokolenko, A. I. (1999). Fyzyko-khimichni metody obroblennia kharchovykh produktiv u protsesi pakuvannia. [Physico-chemical methods of food processing in the packaging process]. *UDUKhT*, 212 s. [in Ukrainian].
14. Polievoda, Yu. A. (2015). Perspektyvy zastosuvannia vibratsiynykh efektiv v ridkykh tekhnolohichnykh systemakh kharchovykh i pererobnykh vyrobnytstv. [Prospects for the application of vibration effects in liquid technological systems of food and processing industries]. *Zbirnyk naukovykh prats' Vinnytskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu. [Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University]*, 1, S. 124–130. [in Ukrainian].
15. Tsurkan, O. V., Gerasimov, O. O., Polyevoda, Y. A., Tverdokhlib, I. V., Rimar, T. I., Stanislavchuk, O. V. (2017). Kinetic features of vibrating and filtration dewatering of fresh-peeled pumpkin seeds. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Vol. 52, No. 2, P. 69–76. [in English].
16. Polievoda, Yu. A., Volynets, Ye. O. (2021). Doslidzhennia vibroreolohichnykh modelei sharu sypkoho seredovyshcha. [Investigation of vibroreological models of the bulk layer]. *Tekhnika*,



enerhetyka, transport APK. № 1 (112). S. 1–10. [in Ukrainian].

METHODS OF HEAT TREATMENT OF GRAIN

The primary task of grain producers is to bring it to conditioned humidity. For temporary and long-term storage, transportation and processing requires grain with a moisture content of 14%, for legumes – a little less, about 10%. This is achieved by heat treatment of grain. Thermal methods of grain processing significantly increase its nutritional and taste qualities, allow to diversify the scope of use of the processed product.

In order to carry out a high-quality and energy-saving process, it is necessary to study in detail the methods and means for its implementation.

The choice of methods and means for heat treatment of grain depends on several factors. This is the type of initial and final grain product, production volumes, available equipment, etc. The aim of the research is to minimize energy consumption and preserve the quality of finished products during heat treatment of grain by studying existing methods and choosing the optimal one, based on existing production conditions.

Widespread convective method is due to the fact that the coolant (hot air) simultaneously transfers heat to the grain and absorbs moisture

released during heating, as well as the relative simplicity of the design of heat treatment units. The method of processing grain by heating it, followed by flattening, deserves attention. The grain is fed into the chamber, where it is treated for about one minute with hot air at a temperature of 260-340°C. At the same time there is an instantaneous evaporation of moisture inside the grain. At the moment when the starch becomes plastic, and the pressure inside the grain - the maximum, it is sent to the roller, where it explodes and flattens. In practice, a combination of convective and conductive heating of grain is also used. An example of this is the various frying units used in the food industry. A significant advantage is the method of heat treatment of grain by infrared or microwave radiation. After all, the use of this method allows you to supply energy directly to the material without heating the intermediate coolant, steam and air ducts, other massive equipment. Treatment of grain material with infrared radiation can reduce unproductive energy costs by almost 40%, isolate the finished product from factors that contribute to its pollution. Due to its advantages, the method of micronization can be considered the most promising for heat treatment of grain in the food industry.

Key words: grain, heat, heat treatment, convective heating, conductive heating, micronization, energy efficiency.

Відомості про авторів

Полевода Юрій Алікович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: vinyura36@gmail.com).

Ревва Віктор Юрійович – аспірант Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: Viktorreva1@gmail.com).

Попов Іван Іванович – викладач Відокремленого структурного підрозділу «Ладижинський фаховий коледж Вінницького НАУ» м. Ладижин, вул. Петра Кравчика, 5, 24321, e-mail: tyutik10@gmail.com.

Polievoda Yurii – PhD, Associate Professor of the Department of technological processes and equipment for processing and food production, Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna st., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: vinyura36@gmail.com).

Revva Viktor – postgraduate student of the Department Technological processes and the possession of food processing and food production of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna st., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: Viktorreva1@gmail.com).

Popov Ivan – lecturer of the separate structural subdivision «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia NAU» (Petra Kravchika st., 5, Ladyzhyn, 24321, Ukraine, e-mail: tyutik10@gmail.com).