

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **ПЕТРОВОЇ Жанни Олександрівни**

на дисертацію **ЗОЗУЛЯК Оксани Володимирівни** на тему:

**«Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів
віброцентрового електроосматичного зневоложення
високоволової сировини переробних і харчових виробництв»,**

поданої на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 181 «Харчові технології»

галузі знань 18 «Виробництво та технології»

На розгляд подано дисертацію, що складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Загальний обсяг дисертації становить 240 сторінки, у тому числі 6 додатків на 38 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 201 сторінку, містить 91 рисунок, 15 таблиць. Список використаних джерел нараховує 164 найменувань.

1. Актуальність теми дисертації

Процес сушіння дисперсних матеріалів застосовується у різних галузях промисловості, зокрема, у харчовій, хімічній, фармацевтичній та інших переробних виробництвах. Зокрема, однією з проблем первинної переробки сільськогосподарської продукції є технологічні та конструктивні труднощі при зневоложенні високоволової продукції, зокрема, насіння баштанних та овочевих культур. Специфічні властивості насіння не дозволяють ефективно реалізовувати процес зневоложення існуючими способами і обладнанням, так як дані матеріали мають високу початкову вологість (близько 60 %), схильність до утворення кірки, можливість утворення міцних когезійно-адгезійних зв'язків, термолабільність (не допускають нагріву вище +50 °С, що може спричинити втрату посівних та харчових якостей через незворотні зміни, а саме, клейстеризацію крохмалю та денатурацію наявних білків. Це унеможлиблює інтенсифікацію процесу шляхом підвищення температури сушильного агенту, робить процес невиправдано тривалим та вартісним. Використання вібраційних, відцентрових, електроосмотичних чинників підвищення рушійної сили досліджуваного процесу дає можливість значно інтенсифікувати процес при забезпеченні основних вимог до посівних та харчових якостей насіння, що зумовлює актуальність даних досліджень.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана відповідно з «Державною цільовою програмою «Розвиток українського села до 2015 р.»; пов'язана з тематичним планом НДДКР Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» на 2012–2016 рр. за темою «Інтенсифікація процесів харчових, фармацевтичних та мікробіологічних виробництв шляхом механічної та теплофізичної технологічної дії» (державний реєстраційний номер 0112U006704), держбюджетної НДР «Розроблення промислових моделей та обґрунтування робочих режимів тепломасообмінного обладнання з вібраційним інтенсифікатором процесів сушіння та екстрагування» на 2016–2017 рр. (ID:47373 15.09.2015. (00020-1).

3. Загальна характеристика роботи

Хочу відзначити наявність у дисертації глибокого та ґрунтового експериментального аналізу досліджуваних процесів зневоложення та обладнання для його реалізації.

У **вступі** обґрунтовується актуальність обраної теми, сформульовано мету дослідження. Також у вступі представлено загальну характеристику дисертації, її структуру, сформульовано наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів, представлено дані про їх апробацію та впровадження.

Перший розділ роботи містить дослідження конструктивних схем машин відцентрової дії, що дозволило довести ефективність вібраційних барабанних зволожувачів, які дозволяють забезпечити інтенсивність обробки при можливості автоматизації процесу та зменшення енерговитрат. Розроблена класифікація відцентрових та фізико-механічних машин, що дозволяє відзначити основні тенденції розвитку конструктивних та технологічних схем досліджуваного обладнання для зволоження. Наведений аналітичний огляд існуючого обладнання дозволив виявити основні напрями подальшого їхнього вдосконалення, серед яких можна відзначити електроосмотичне зневоднення матеріалів, застосування вібровідцентрового поля для відтискування вологи, створення віборозрідженого шару продукції у процесі конвективного сушіння.

У **другому розділі** традиційно представлено експериментально-вимірювальну базу досліджень, дано характеристику об'єкта та предмета досліджень, показано основні методологічні аспекти оцінки головних факторів досліджуваних процесів зневоложення; представлено методи обробки результатів досліджень, планування наукових досліджень та методологічні аспекти їх реалізації.

У **третьому розділі** здобувачкою було проаналізовано конструктивно-технологічні схеми реалізації досліджуваних процесів, на основі яких спроектовано схему вібровідцентрового електроосмотичного зневоложувача та складено математичну модель. При математичному моделюванні досліджуваного процесу зневоложення продукції було проаналізовано основні фактори впливу, на основі яких було складено загальний вигляд критеріального рівняння процесу масообміну при використанні теорії аналізу розмірностей. На основі розробленої розрахункової схеми вібровідцентрового електроосмотичного зневоложувача було складено диференційні рівняння руху, використовуючи метод Лагранжа.

На основі розробленої математичної моделі процесу вібровідцентрового електроосмотичного зневоложення було отримано аналітичні та графічні залежності основних кінематичних, силових та енергетичних параметрів руху виконавчих органів досліджуваної технологічної системи та встановлено межі ефективних робочих режимів розробленого процесу: амплітуди коливань контейнера, кутової швидкості приводного валу, при споживаній потужності 800...900 Вт, резонансні значення амплітуди становлять 11 мм за кутової швидкості 18...20 рад/с.

Також здобувачкою було проведено теоретичні дослідження електроосмотичної дифузії рідини за допомогою розробленої схеми зневоложувача, що дозволили отримати залежності для електрокінетичних, гідродинамічних та силових параметрів процесу, приріст рушійної сили за рахунок електроосмотичного ефекту становив в середньому 120 Н.

У **четвертому розділі** здобувачкою представлено експериментальні дослідження, що дозволили обґрунтувати режими обробки при здійсненні операцій вібровідцентрового електроосмотичного зневоложування пектиномісткої сировини та харчового насіння баштанних культур, а також оцінити основні параметри коливальної системи.

Реалізація електроосмотичного ефекту в умовах розробленої машини дала можливість визначити характеристики силового поля: залежність швидкості зневоложення від асиметрії

напівперіодів змінного струму, залежність зневоложення від густини струму, залежність швидкості зневоложення від частоти змінного струму, залежність швидкості волого-видалення від асиметрії напівперіодів струму при різній формі струму, залежність швидкості зневоложення від віброприскорення.

Зозуляк О. В. проведено порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень, при якому було отримано основні параметри процесу вібровідцентрового електроосмотичного зневоложення харчового насіння баштанних та пектиномісткої сировини, що дозволило обґрунтувати робочі режими їх здійснення та перевірити адекватність математичної моделі для даного діапазону.

Здобувачкою було представлено результати експериментальних досліджень параметрів зневоложення та встановлено раціональні технологічні параметри обробки харчового насіння баштанних культур та пектиномісткої сировини: коефіцієнт завантаження робочого контейнера 0,5–0,75, температура теплоносія 60 °С, час технологічного впливу 40–45 хв.

При використанні теорії розмінностей, II теореми Федермана-Букінгема та результатів експериментального аналізу було виведено критеріальне рівняння, що враховує особливості вібромеханічного та електроосмотичного впливу на сировину, дозволяє обґрунтувати алгоритм розрахунку досліджуваних тепломасообмінних процесів та обладнання.

У **п'ятому розділі** О. В. Зозуляк представила оцінку проєктованої вібромашини на основі техніко-економічного та функціонально-вартісного аналізу, параметрів конкурентоспроможності машин у порівнянні з існуючими апаратами для зневоложення та сушіння.

Проведені здобувачкою дослідження дали можливість розробити робочу документацію для виготовлення вібровідцентрового електроосмотичного зневоложувача, схему адаптивного регулювання робочих параметрів процесу, що дозволяє оперативно реагувати на зміну характеристик силового впливу та зміну властивостей оброблюваної сировини при мінімізації енерговитрат на процес.

Розроблений вібровідцентровий електроосмотичний зневоложувач пройшов виробничу апробацію в умовах ТОВ «Компанія «Технопром-Продукт», м. Вінниця.

Висновки до дисертації містять узагальнені наукові та практичні результати, отримані авторкою у процесі виконання дисертації. Усі поставлені завдання чітко прослідковуються в основних висновках, як кількісно, так і якісно.

Мова дисертації українська, стиль викладення логічний, послідовний, з використанням загальноприйнятої науково-технічної термінології.

Дисертація оформлена відповідно до вимог МОН України.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових досліджень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації

Дисертація є логічною і аргументованою науковою працею, яка виконана з урахуванням сучасного рівня технологій зневоложення продукції харчового виробництва при застосуванні вібровідцентрового електроосмотичного зневоложення, розробленої відповідної техніки для їх реалізації.

Мета роботи та завдання для її досягнення повністю відповідають представленим результатам досліджень. Висновки і рекомендації, що сформульовані здобувачкою, підтверджуються матеріалами експериментальних досліджень, патентами на корисні моделі, публікаціями у наукових виданнях, у тому числі й закордонних. На підставі

вищевикладеного обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які містяться в дисертації, не викликає сумнівів.

6. Достовірність та новизна наукових положень, отриманих у дисертації

Достовірність і обґрунтованість результатів досліджень та отриманих висновків забезпечена використанням розроблених експериментальних установок для зневоложення, що відповідають сучасним тенденціям розвитку досліджуваних процесів і обладнання; зокрема, вібровідцентровим, електроосмотичним, з конвективним теплообміном в умовах вібророзрідженого шару продукції; використання сучасних методик дослідження параметрів тепломасообміну; методів математичного моделювання при застосуванні теорії подібності та рівнянь Лагранжа другого роду; методів статистичної обробки експериментальних даних з використанням функціонально-вартісного аналізу, сучасних комп'ютерних програм; апробацією отриманих результатів на наукових конференціях різних рівнів, в умовах сучасних виробництв.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- визначено основні кінематичні, силові та енергетичні параметри вібровідцентрового приводного механізму зневоложувача на основі розробленої математичної моделі руху виконавчих органів установки при обробці високовологої сипкої маси;

- визначено основні електротехнічні параметри та рушійну силу при використанні електроосмотичного ефекту зневоложувача на основі розробленої математичної моделі процесу електроосмотичного зневоложення сипкої технологічної маси за комбінованої вібромеханічної силової дії;

- розроблено критеріальну залежність, що враховує параметри фільтруючого центрифугування, вібраційної дії, тепломасообміну та процесу електроосмотичного зневоложення;

- визначено силові, енергетичні й амплітудно-частотні характеристики розробленої коливальної системи при зневоложенні сипкої сировини за комбінованого вібромеханічного та електроосмотичного впливу.

7. Практичне значення результатів дисертації

Розроблення та обґрунтування режимних параметрів зневоложення високовологої сировини, що дозволило зменшити енерговитрати та тривалість обробки. Розроблено адаптивну схему керування параметрами досліджуваного процесу зневоложення у коливній системі з керованим синхронним дебалансним вібророзбуджувачем.

При реалізації електроосмотичного зневоднення матеріалів обґрунтовано робочі параметри, що забезпечують мінімізацію впливу поляризації електродів, отримання асиметричної форми та оптимальної частоти струму електродів; забезпечення інтенсивного руху часток матеріалу в міжелектродному просторі змінює положення молекул води, що активує їх взаємодію із зовнішнім електричним полем.

Запропоновано двоетапне зволоження продукції, що забезпечує значну інтенсифікацію процесу обробки при можливості зменшення енерговитрат, зниження термічного потенціалу в робочій зоні та відповідно максимального збереження вихідних якостей сировини.

Розроблено технічну документацію, виготовлено та впроваджено у виробництво експериментально-промислової моделі вібровідцентрового електроосмотичного зневоложувача на базі ТОВ «Компанія «Технопром-Продукт», м. Вінниця.

8. Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях

За матеріалами дисертації О. В. Зозуляк опубліковано 29 наукових праць, з яких стаття у науковому виданні, включеному до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, 13 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, стаття у науковому виданні іншої держави, 3 патенти України на корисну модель, 10 тез наукових доповідей.

Вважаю, що вказані публікації повністю відображають дисертацію та відповідають її змісту.

9. Основні загальні зауваження до змісту дисертації

1. В меті та завданні досліджень вказується, що видаляється тільки вільна волога, чому? При сушінні відбувається видалення як вільної (1 період сушіння), так і зв'язаної води (2 період сушіння).

Зауваження до 1 розділу

2. Під рис. 1.28, а також в тексті не вказані назви позицій.

3. Не дивлячись на великий обсяг 1 розділу (52 сторінки), бажано було б показати наукові результати досліджень із сушіння бурякового жому та насіння овочевих культур. Які заходи інтенсифікації при їх сушінні застосовували інші автори, з їх висновками та рекомендаціями щодо режимів сушіння та особливості роботи дослідних або промислових установок. І це потрібно було б вказати до висновків 1 розділу.

Зауваження до 2 розділу

4. На рис. 2.1 Експериментальна модель вібровідцентрового зневоложувача не вказано позиції, які бажано б було б вказати, для кращого розуміння конструкції установки. А також не наведені технічні характеристики представленої моделі сушильної установки із зазначення продуктивності, геометричних розмірів, енергоспоживання або питомих енерговитрат на процес сушіння та інших характеристик.

Зауваження до 4 розділу

5. На представлених графіках (рис. 4.5–4.18) є такі зауваження:

- на осі ординат вказані різні позначення вологості та їх значення, на рис. 4.5, 4.7, 4.9, 4.11, 4.13, 4.15, 4.17 побудовано графік залежності вологості матеріалу від часу, а на рис. 4.6, 4.8, 4.10, 4.12, 4.14, 4.16, 4.18 побудовано графік залежності вологовмісту від часу. Чому?

- не всі параметри вказані під графіками, зокрема не вказана температура теплоносія, при якій проводилося сушіння, не має також цієї інформації в тексті перед та після рисунків. (Також під рисунками не вказано частота обертання центрифуги, діаметр барабану центрифуги, вологовміст теплоносія, розміри об'єкту сушіння та ін.).

- який фізичний зміст терміну «шпаруватості імпульсів» і в чому воно вимірюється?

- рисунки з дослідженнями кінетики процесу сушіння насіння гарбуза та бурякового жому змішані, йдуть один за одним декілька разів, що ускладнює аналіз представлених результатів.

- не побудовані криві швидкості сушіння, що характеризують інтенсивність процесу під час сушіння в %/хв.

6. В пункті 4.5 представлені параметри оптимізації процесу сушіння, вибрано 4 параметра оптимізації, але потрібно вказати й інші сталі значення, при яких відбувається оптимізація, наприклад: температура, швидкість руху та вологовміст теплоносія (якщо їх не заносимо в параметри оптимізації), тобто, в якому режимі сушіння оптимізуємо процес.

7. Представлені результати оптимізації процесу зневоднення жому (отримано рівняння кінцевої вологості матеріалу 4.20 та поверхні відгуку рис. 4.26) не описано

та не представлено у загальних висновках роботи. Які оптимальні параметри повинні бути в яких діапазонах, не має аналізу.

10. Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертація О. В. Зозуляк на тему: «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів віброцентрового електроосматичного зневоложення високоволової сировини переробних і харчових виробництв» відповідає спеціальності 181 «Харчові технології».

Наведені у відгуку зауваження не зменшують загальне позитивне враження про виконану авторкою роботу, її наукову цінність та практичне значення.

Представлена дисертація О. В. Зозуляк є самостійною завершеною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати щодо підвищення енергоефективності процесу зневоложення досліджуваних пектиномісткої сировини та харчового насіння баштанних культур, збереження якісних характеристик даної продукції за вібро-відцентрового електроосмотичного відтискування, конвективного теплообміну псевдо-розрідженого шару, окремо та у комбінованому застосуванні.

За актуальністю обраної теми, обсягом та змістом виконаних досліджень, ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірністю і новизною, а також повнотою їх викладення в опублікованих наукових працях дисертація відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, а її авторка, Зозуляк Оксана Володимирівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології».

**Офіційний опонент головний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор
Жанна ПЕТРОВА**