

РЕЦЕНЗІЯ

професора кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктора технічних наук, професора **БЕРНИК Ірини Миколаївни** на дисертацію **МУШТРУК Наталії Михайлівни** на тему: «**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів віброгідравлічного змішувача інгредієнтів для виробництва пектиновмісних паст**», подану на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології»

Актуальність теми. Сучасний розвиток харчової промисловості потребує впровадження енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій виробництва харчових продуктів функціонального призначення. Особливу увагу привертає перероблення рослинної пектиновмісної сировини, яка використовується у виробництві пастоподібних систем із підвищеними вимогами до процесів змішування та структуроутворення.

Ефективність виробництва таких продуктів значною мірою визначається конструкцією змішувального обладнання та режимами його роботи. Традиційні системи змішування не завжди забезпечують належну однорідність високов'язких багатокомпонентних середовищ і характеризуються підвищеними енерговитратами. У зв'язку з цим перспективним є використання віброгідравлічних змішувачів, які поєднують механічний, гідродинамічний і вібраційний вплив та забезпечують інтенсифікацію процесу змішування.

Науковий і практичний інтерес роботи полягає в обґрунтуванні конструктивно-технологічної схеми віброгідравлічного змішувача, встановленні закономірностей руху технологічного середовища та визначенні раціональних режимних параметрів його роботи. Це має важливе значення для підвищення якості пектиновмісних паст, збереження біологічно активних компонентів сировини та зниження питомих енерговитрат у виробництві.

Таким чином, дисертація Н. М. Муштрук є актуальною, має наукове й практичне значення та відповідає сучасним тенденціям розвитку харчових технологій.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна та практичне значення. Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені у дисертації Н. М. Муштрук є належним чином обґрунтованими та базуються на комплексі теоретичних, експериментальних і аналітичних досліджень. Об'єкт, предмет, мета та завдання дослідження сформульовані чітко, логічно взаємопов'язані й повністю відповідають тематиці роботи, спрямованій на обґрунтування конструктивно-технологічної схеми та режимних параметрів віброгідравлічного змішувача інгредієнтів для виробництва пектиновмісних паст.

Для досягнення поставленої мети авторкою застосовано комплекс сучасних експериментально-аналітичних, фізико-математичних і структурно-механічних методів дослідження, що забезпечило комплексне вивчення процесу віброгідравлічного змішування високов'язких багатокомпонентних систем. Проведені дослідження дозволили встановити закономірності руху технологічного середовища, визначити вплив конструктивних і режимних параметрів на ефективність змішування та визначити раціональні режими роботи обладнання.

Наукова новизна роботи полягає в теоретичному та експериментальному обґрунтуванні конструктивно-технологічної схеми віброгідравлічного змішувача із системою комплексної вібромеханічної та гідродинамічної дії, що забезпечує інтенсифікацію процесів перемішування та структуроутворення в неоднорідних високов'язких середовищах з урахуванням їхніх реологічних властивостей. У дисертації розроблено математичну модель руху виконавчих органів досліджуваної системи із застосуванням методів Лагранжа та Коші,

встановлено закономірності впливу комбінованої дії вібраційних і гідродинамічних факторів на формування структури пектиновмісних паст, а також удосконалено підхід до оцінювання якості готового продукту методом факторних просторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні та впровадженні конструктивно-технологічної схеми віброгідравлічного змішувача для виробництва пектиновмісних паст, що забезпечує підвищення інтенсивності процесу змішування, покращення однорідності системи та зниження питомих енерговитрат. Авторкою розроблено інженерну методику розрахунку основних параметрів обладнання та рекомендації щодо вибору раціональних режимів його роботи залежно від рецептурного складу продукції. Обґрунтовано конструктивні параметри змішувача, розроблено технічну документацію на дослідно-промисловий зразок, який пройшов виробничі випробування та рекомендований до використання під час проєктування і модернізації обладнання харчових виробництв.

Достовірність наукових досліджень. Достовірність результатів, наведених у дисертації, забезпечується коректною постановкою експериментальних досліджень, їх відповідністю меті та завданням роботи, а також застосуванням сучасних методів експериментально-аналітичного, фізико-математичного та статистичного аналізу. Дослідження виконано з дотриманням чинних нормативних вимог і загальноприйнятих методик, що використовуються у галузі харчових технологій.

Експериментальні дослідження проведено з достатньою кількістю повторностей, що дозволило мінімізувати випадкові похибки та забезпечити належний рівень точності й відтворюваності результатів. Обробку експериментальних даних здійснено із застосуванням методів математичної статистики, що підтверджує об'єктивність отриманих залежностей і достовірність сформульованих висновків.

Достовірність одержаних результатів також підтверджується узгодженістю теоретичних положень із результатами експериментальних досліджень, логічністю наукових висновків та практичною апробацією розроблених конструктивно-технологічних рішень у виробничих умовах. Отримані результати характеризуються науковою обґрунтованістю, практичною значущістю та можуть бути використані під час проєктування, модернізації й удосконалення обладнання для виробництва пектиновмісних харчових систем.

Повнота викладення матеріалів досліджень в опублікованих працях. Основні положення дисертації викладено у 16 публікаціях здобувачки, з яких 4 статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 2 статті у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, 10 тез наукових доповідей.

Аналіз структури і змісту роботи. Оформлення дисертації відповідає наказу Міністерства науки та освіти України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами).

Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, опису матеріалів і методів дослідження, результатів досліджень, аналізу та узагальнення результатів досліджень, висновків, пропозицій для виробництва, списку використаних джерел і додатків.

У дисертації Н. М. Муштрук теоретично та експериментально обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри віброгідравлічного змішувача для інтенсифікації виробництва пектиновмісних паст. Доведено закономірності впливу конструктивних і режимних параметрів на ефективність змішування високов'язких харчових систем та питомі енерговитрати процесу.

Здобувачкою виконано комплексне теоретичне та експериментальне обґрунтування технології виробництва пектиновмісних паст із використанням віброгідравлічного

змішування технологічного середовища. На основі аналізу сучасних технологій перероблення рослинної сировини обґрунтовано доцільність використання гарбузової сировини як джерела пектинових речовин і функціональних інгредієнтів для виробництва пастоподібних продуктів.

Розроблено математичну модель процесу віброгідравлічного змішування. Отримані залежності дозволили встановити закономірності руху технологічного середовища та визначити вплив конструктивних і режимних параметрів на енергоефективність процесу. Вперше отримано аналітичні залежності, що характеризують взаємозв'язок між параметрами виконавчих органів змішувача, амплітудою коливань і питомими енерговитратами системи.

Визначено раціональні параметри роботи віброгідравлічного змішувача. Доведено, що найбільш енергоефективним є режим із величиною проекції твірної $L_g=2$ мм та частотами 60–75 рад/с, за якого питомі енерговитрати становлять 100–250 Вт/кг. Показано, що збільшення проекції твірної до $L_g=5$ мм призводить до зростання енерговитрат до 500–1700 Вт/кг унаслідок підвищення коливної маси системи.

Визначено закономірності формування фізико-хімічних, функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей гарбузової сировини різних сортових груп. Удосконалено підхід до оцінювання реологічних характеристик пектиновмісних паст та визначено вплив концентрації цукру на формування структури продукту. Визначено, що оптимальний вміст цукру на рівні 550 г/кг забезпечує стабільну структуру паст із високими показниками пружності та структурної міцності.

Методом факторних просторів проведено фізико-математичне моделювання процесу віброгідравлічного змішування та визначено раціональні режимні параметри, за яких досягаються найвищі показники однорідності, структурної стабільності й якості готової продукції. Підтверджено адекватність математичної моделі високим рівнем збігу теоретичних і експериментальних результатів.

Проведені мікробіологічні дослідження підтвердили стабільність показників безпечності та якості пектиновмісних паст упродовж терміну зберігання. Економічними розрахунками доведено доцільність впровадження розроблених конструктивно-технологічних рішень, оскільки застосування віброгідравлічного змішувача забезпечує інтенсифікацію технологічного процесу, зниження питомих енерговитрат і підвищення ефективності виробництва без погіршення якісних характеристик готової продукції.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. Дисертація є самостійно написаною кваліфікаційною науковою працею із науково обґрунтованими висновками та рекомендаціями, які подано авторкою для публічного захисту. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів супроводжується належними посиланнями на відповідні джерела. У роботі відсутнє привласнення чужих ідей, результатів або слів без належного цитування. Таким чином, у дисертаційному дослідженні не виявлено порушень академічної доброчесності.

Зауваження та питання для дискусійного обговорення. Позитивно оцінюючи рівень розроблення наукових положень, обґрунтованість наукових висновків та пропозицій, слід зазначити окремі дискусійні положення:

1. У першому розділі було б доцільно більш детально обґрунтувати переваги застосування саме віброгідравлічного способу змішування порівняно з іншими сучасними методами інтенсифікації процесів оброблення високов'язких харчових систем.

2. У третьому розділі доцільно детальніше розкрити фізичний зміст окремих коефіцієнтів і параметрів, використаних у математичній моделі та рівняннях руху виконавчих органів змішувача.

3. У третьому розділі під час аналізу енергетичних характеристик процесу змішування доцільно було б навести порівняльну оцінку енергоефективності запропонованої конструкції віброгідравлічного змішувача відносно традиційних змішувальних пристроїв аналогічного призначення.

4. У четвертому розділі доцільно більш детально обґрунтувати вибір досліджуваних режимних параметрів процесу, зокрема, діапазонів кутових швидкостей та амплітуд коливань виконавчих органів.

5. У четвертому розділі результати експериментальних досліджень доцільно було б доповнити більш розгорнутим представленням статистичної обробки даних із зазначенням критеріїв оцінювання достовірності та адекватності отриманих залежностей.

6. У четвертому розділі, присвяченому дослідженню реологічних властивостей пектиновмісних паст, бажано більш повно висвітлити вплив температурного чинника на процеси структуроутворення та формування реологічних характеристик продукту.

7. У п'ятому розділі (підрозділ 5.1) під час оцінювання якості готової продукції доцільно було б ширше охарактеризувати органолептичні показники та умови проведення дегустаційної оцінки, що сприяло б більш повному обґрунтуванню отриманих результатів.

8. У роботі недостатньо повно висвітлено питання масштабування запропонованої технології та особливості її практичної реалізації в умовах промислового виробництва, що становлять значний науковий і практичний інтерес. Доцільно було б більш детально розглянути ці аспекти у п'ятому розділі, присвяченому практичному впровадженню результатів досліджень.

Водночас наведені зауваження не зменшують наукової цінності, практичного значення та загальної позитивної оцінки дисертації.

Загальний висновок. Дисертація на тему: «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів віброгідравлічного змішувача інгредієнтів для виробництва пектиновмісних паст» є завершеною науковою роботою, виконаною самостійно. Наукові положення, висновки і рекомендації характеризуються теоретичним і практичним значенням, а отримані результати мають наукову новизну та практичну цінність для харчової промисловості. Зміст дисертації відповідає меті та поставленим завданням і повністю розкриває тему, згідно з якою виконано роботу.

За змістом і оформленням дисертація відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) і 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 (зі змінами), а її авторка Муштрук Наталія Михайлівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології».

Рецензент професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктор технічних наук, професор Ірина БЕРНИК