

## РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК  
Національного університету біоресурсів і природокористування України,  
кандидата технічних наук, доцента **ГУДЗЕНКА Максима Миколайовича**  
на дисертацію **МУШТРУК Наталії Михайлівни**  
на тему: **«Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів  
віброгідрравлічного 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.** В умовах сучасного розвитку харчової промисловості особливої актуальності набуває створення енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій виробництва харчових продуктів із високими показниками якості та функціональної цінності. Одним із перспективних напрямів є розроблення технологій перероблення рослинної сировини, багатої на пектинові речовини, які широко використовуються у виробництві пастоподібних продуктів функціонального призначення. Пектиновмісні пасту характеризуються значною в'язкістю та складністю структурування, що зумовлює підвищені вимоги до процесів змішування й гідродинамічної обробки сировини.

Ефективність виробництва таких продуктів значною мірою залежить від конструктивних особливостей змішувального обладнання та режимних параметрів його роботи. Традиційні змішувальні системи часто не забезпечують достатньої однорідності багатокомпонентних середовищ, потребують значних енерговитрат і характеризуються тривалим технологічним процесом. У зв'язку з цим перспективним напрямом є використання віброгідрравлічних змішувачів, у яких поєднання механічного, гідродинамічного та вібраційного впливу дає змогу інтенсифікувати масообмінні процеси, покращити рівномірність розподілу компонентів і підвищити якість готової продукції.

Науковий і практичний інтерес полягає в обґрунтуванні конструктивно-технологічної схеми віброгідрравлічного змішувача, визначенні закономірностей руху технологічного середовища та встановленні оптимальних режимних параметрів роботи обладнання. Дослідження процесів віброгідрравлічного змішування пектиновмісних систем є важливим з огляду на необхідність забезпечення стабільних структурно-механічних властивостей паст, збереження біологічно активних компонентів сировини та зниження питомих енерговитрат у виробництві.

Розроблення та вдосконалення віброгідрравлічних змішувачів відповідають сучасним тенденціям розвитку харчових технологій, спрямованих на інтенсифікацію технологічних процесів, підвищення енергоефективності обладнання, ресурсозбереження та впровадження інноваційних технічних рішень у виробництво харчових продуктів функціонального призначення.

Таким чином, тема дисертації Н. М. Муштрук є актуальною, має важливе наукове та практичне значення, відповідає сучасним напрямкам розвитку харчових технологій і спрямована на вирішення актуальних завдань удосконалення процесів виробництва пастоподібних харчових систем.

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

У роботі використано сучасні експериментально-аналітичні, фізико-математичні, структурно-механічні та математичні методи досліджень, що забезпечили комплексну оцінку процесу віброгідрравлічного змішування інгредієнтів пектиновмісних паст, визначення

закономірностей руху технологічного середовища, а також обґрунтування конструктивно-технологічних і режимних параметрів роботи змішувача.

Наукова новизна роботи полягає в теоретичному та експериментальному обґрунтуванні конструктивно-технологічної схеми віброгідравлічного змішувача інгредієнтів для виробництва пектиновмісних паст із розробленням системи комплексної вібромеханічної та гідродинамічної дії, що забезпечує інтенсифікацію процесів перемішування і розчинення в неоднорідних рідких системах з урахуванням їх реологічних властивостей та механізмів структуроутворення.

Складено рівняння руху виконавчих органів досліджуваної вібраційної гідродинамічної системи методами Лагранжа та Коші, обґрунтовано закономірності впливу комбінованої дії вібраційних і гідравлічних факторів на формування структури пектиновмісних паст, а також вперше проведено оцінку якісного стану готового продукту методом факторних площ із використанням математичного моделювання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні та впровадженні конструктивно-технологічної схеми віброгідравлічного змішувача для виробництва пектиновмісних паст, що забезпечує високу ефективність процесу змішування та зниження питомих енерговитрат, а також у створенні інженерної методики розрахунку основних параметрів обладнання та рекомендацій щодо вибору раціональних режимів його роботи залежно від рецептурного складу продукції. Обґрунтовано раціональні конструктивні параметри віброгідравлічного змішувача, розроблено технічну документацію на дослідно-промисловий зразок, який пройшов виробничі випробування на підприємстві, а результати досліджень рекомендовано для використання під час проєктування та модернізації обладнання харчових виробництв.

**Достовірність наукових досліджень.** Достовірність результатів наукових досліджень, викладених у дисертації, забезпечується коректною постановкою експериментів, що здійснювалися відповідно до мети та завдань дослідження, а також чітким дотриманням загальноприйнятих методик і нормативних вимог, чинних у галузі харчових технологій. Усі експериментальні дослідження проведено з урахуванням необхідної кількості повторів, що дозволило мінімізувати випадкові похибки та підвищити надійність отриманих результатів.

Крім того, достовірність отриманих результатів підтверджується відтворюваністю експериментів, логічною узгодженістю висновків з фактичними даними досліджень, а також позитивними результатами апробації удосконаленої технології в умовах виробництва. Сукупність наведених чинників дає підстави вважати результати дисертації науково обґрунтованими, достовірними та такими, що мають практичну цінність.

**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-технологічну схему і режимні параметри віброгідравлічного змішувача для інтенсифікації процесу виробництва пектиновмісних паст та підвищення ефективності змішування високов'язких харчових систем.

Здобувачкою розроблено математичну модель інтенсифікації процесу виготовлення пектинових паст із застосуванням віброгідравлічного змішування технологічного середовища, яка дозволила отримати аналітичні та графічні залежності для вибору ефективних параметрів робочого режиму за енергетичними показниками досліджуваного процесу.

Обґрунтовано вибір рослинної сировини для виробництва пектиновмісних паст. Доведено закономірності формування фізико-хімічних, функціонально-технологічних і структурно-механічних характеристик гарбузової сировини різних сортових груп.

Удосконалено підхід до оцінювання функціонально-технологічних і реологічних властивостей гарбузової м'якоті та пектиновмісних паст. Доведено, що оптимальний вміст цукру (550 г/кг) забезпечує формування відповідних фізико-хімічних властивостей.

Обґрунтовано раціональні параметри робочих режимів вібролопатевого змішування. Встановлено, що найбільш енергоефективним є режим з величиною проекції твірної  $L_g=2$  мм та частотами 60–75 рад/с, за якого питомі витрати енергії становлять 100–250 Вт/кг.

Застосування фізико-математичного моделювання методом факторних просторів дало змогу встановити раціональні режимні параметри віброгідрравлічного змішування, за яких забезпечуються найвищі показники однорідності та структурно-механічних властивостей пектиновмісних паст, що підтверджує ефективність запропонованих конструктивно-технологічних рішень.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність запропонованих конструктивно-технологічних рішень, оскільки застосування віброгідрравлічного змішувача забезпечує інтенсифікацію процесу виробництва пектиновмісних паст, зниження енерговитрат і підвищення ефективності технологічного процесу без погіршення якісних показників готової продукції.

**Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.** Дисертація є самостійно написаною кваліфікаційною науковою працею з науково обґрунтованими висновками та рекомендаціями, поданими 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 тексті дисертації в окремих випадках термінологічний апарат потребує певної уніфікації, зокрема щодо формулювань, пов'язаних із конструктивно-технологічними рішеннями та процесами віброгідрравлічного змішування.

2. У другому розділі окремі методики експериментальних досліджень доцільно було б доповнити більш чіткими посиланнями на чинні нормативні документи та стандартизовані методи випробувань, що сприяло б підвищенню відтворюваності отриманих результатів.

3. У роботі доцільно більш повно охарактеризувати фізико-механічні та реологічні властивості пектиновмісної сировини, зокрема її структурний стан і вологість перед проведенням процесу віброгідрравлічного змішування.

4. У четвертому розділі таблиці, що характеризують рецептурний склад і співвідношення компонентів пектиновмісних паст, доцільно було б доповнити більш чітким представленням балансу компонентів дослідних систем, що полегшило б аналіз отриманих результатів.

5. Під час аналізу структурно-механічних і технологічних показників дослідних зразків у четвертому розділі доцільно було б навести критерії статистичної перевірки, рівні значущості та довірчі інтервали для оцінювання відмінностей між контрольними й експериментальними варіантами.

6. У четвертому розділі, присвяченому експериментально-аналітичній оцінці процесу змішування, бажано більш детально обґрунтувати вибір режимних параметрів і часових інтервалів проведення досліджень.

7. Під час опису органолептичної оцінки готової продукції у підрозділі 5.1 доцільно було б детальніше охарактеризувати склад дегустаційної комісії, умови проведення дегустації та критерії оцінювання органолептичних показників.

8. У підрозділі 5.2, присвяченому фізико-математичному моделюванню, доцільно більш чітко обґрунтувати вибір показників якості, включених до факторного простору,

а також їхню відносну вагомість під час формування інтегральної оцінки досліджуваних систем.

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 науковою новизною, теоретичним і практичним значенням, є достатньо обґрунтованими та мають наукову і практичну цінність. 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 доцент кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидат технічних наук, доцент Максим ГУДЗЕНКО**