

ВІДГУК

офіційного опонента

професора кафедри обладнання харчових технологій
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
доктора технічних наук, професора **СТАДНИКА Ігоря Ярославовича**
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 дисертації. Сучасний розвиток харчової промисловості супроводжується зростанням вимог до якості, безпечності та функціональної цінності харчових продуктів, а також необхідністю впровадження енергоощадних і ресурсоефективних технологій. Особливої актуальності набуває перероблення рослинної пектиновмісної сировини для виробництва пастоподібних продуктів функціонального призначення, що характеризується складними процесами структуроутворення та підвищеною в'язкістю технологічних систем.

Виробництво пектиновмісних паст потребує ефективного змішування багатокомпонентних середовищ, від якого залежать структурно-механічні, фізико-хімічні та органолептичні властивості готової продукції. Водночас традиційні змішувальні системи не завжди забезпечують належну інтенсивність масообмінних процесів, однорідність продукту та характеризуються значними енерговитратами. У зв'язку з цим актуальним є пошук нових конструктивно-технологічних рішень, спрямованих на інтенсифікацію процесів змішування та підвищення ефективності виробництва.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначених завдань є використання віброгідрравлічних змішувачів, які поєднують механічний, гідродинамічний і вібраційний вплив на технологічне середовище. Однак питання наукового обґрунтування конструктивних параметрів такого обладнання та вибору раціональних режимів його роботи залишаються недостатньо дослідженими. Тому дисертація Н. М. Муштрук, присвячена обґрунтуванню конструктивно-технологічної схеми та режимних параметрів віброгідрравлічного змішувача інгредієнтів для виробництва пектиновмісних паст, є своєчасною, актуальною та має важливе наукове і практичне значення для розвитку харчових технологій і обладнання харчових виробництв.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертація пов'язана з програмою науково-дослідних робіт кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів Національного університету біоресурсів і природокористування України та виконувалася у межах наукової теми «Наукове обґрунтування та розроблення новітніх

агроінженерних рішень моделювання сировини заданого нутрієнтного складу для військово-службовців» (номер державної реєстрації 0124U001737). Крім того, дослідження відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2030 року, а саме: «Рациональне природокористування» та «Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації Н. М. Муштрук є достатньо обґрунтованими та базуються на комплексному поєднанні теоретичних, експериментальних і аналітичних досліджень. Мета роботи, поставлені завдання, об'єкт і предмет дослідження логічно взаємопов'язані та повністю відповідають обраній тематиці.

Для досягнення поставленої мети авторкою використано сучасні методи фізико-математичного моделювання, експериментально-аналітичних досліджень, математичної статистики, структурно-механічного аналізу та багатофакторного оцінювання якості продукції. Такий комплексний підхід забезпечив всебічне дослідження процесу віброгідрравлічного змішування, дозволив встановити закономірності впливу конструктивних і режимних параметрів змішувача на ефективність технологічного процесу та обґрунтувати раціональні параметри його функціонування.

Обґрунтованість отриманих результатів підтверджується достатнім обсягом експериментальних досліджень, застосуванням сучасних методів оброблення даних, узгодженістю теоретичних положень з експериментальними результатами, а також виробничою апробацією розроблених технічних рішень. Сформульовані висновки повною мірою випливають із результатів проведених досліджень, є логічними, послідовними та підтверджують досягнення поставленої мети дисертації.

Наукова новизна, сформульована у дисертації. Наукова новизна дисертації полягає у вирішенні актуального науково-прикладного завдання щодо підвищення ефективності виробництва пектиновмісних паст шляхом удосконалення конструктивно-технологічних рішень і режимів роботи віброгідрравлічного змішувача.

У роботі вперше розроблено систему комплексної вібромеханічної та гідродинамічної дії для інтенсифікації процесів перемішування та розчинення інгредієнтів пектиновмісних паст з урахуванням їхніх реологічних властивостей і механізмів структуроутворення. Складено математичну модель та рівняння руху виконавчих органів віброгідрравлічної системи із застосуванням методів Лагранжа та Коші, що дало змогу встановити закономірності її функціонування.

Визначено рушійні сили процесу змішування та закономірності впливу комбінованої дії вібраційних і гідрравлічних факторів на формування структури пектиновмісних паст.

Вперше проведено оцінювання якісного стану дослідних зразків методом факторних площ, що дозволило обґрунтувати раціональні параметри роботи віброгідравлічного змішувача та забезпечити підвищення якості готової продукції.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні конструктивно-технологічної схеми віброгідравлічного змішувача для виробництва пектиновмісних паст, що забезпечує інтенсифікацію процесу змішування та зниження питомих енерговитрат. Розроблено інженерну методику розрахунку основних параметрів віброгідравлічного змішувача, яка дозволяє здійснювати проектування обладнання з урахуванням виробничих умов і вимог до якості готової продукції.

На основі проведених досліджень обґрунтовано раціональні конструктивні параметри та режими роботи змішувача залежно від рецептурного складу пектиновмісних паст, що забезпечують оптимальні умови перебігу технологічного процесу. За результатами роботи розроблено технічну документацію на дослідно-промисловий зразок віброгідравлічного змішувача, який пройшов виробничі випробування на підприємстві ТОВ «УКРСТАР ТУР».

Практичну цінність роботи підтверджено впровадженням результатів досліджень у виробничий процес ТОВ «УКРСТАР ТУР» та у навчальний процес Національного університету біоресурсів і природокористування України під час викладання дисциплін, пов'язаних із процесами і апаратами харчових та біотехнологічних виробництв, технологічним обладнанням галузі, а також інформаційними технологіями та математичним моделюванням систем управління якістю.

Структура роботи, обґрунтованість і достовірність результатів досліджень та висновків здобувачки. Дисертація Н. М. Муштрук написана українською мовою та відповідає чинним вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 209 сторінок.

Наукова робота містить 30 таблиць і 57 рисунків. Список використаних джерел становить 167 найменувань.

У **вступі** (С. 22–28) визначено актуальність теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, чітко окреслено мету й завдання дослідження, представлено об'єкт і предмет роботи, висвітлено її наукову новизну та практичну цінність. Також зазначено особистий внесок здобувачки та форми апробації отриманих результатів.

У **першому розділі** (С. 29–56) «Аналіз стану питання та шляхи інтенсифікації технологічного процесу виробництва пектиновмісних паст» проведено аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових джерел щодо технологій виробництва пектиновмісних продуктів

та способів інтенсифікації відповідних технологічних процесів. Узагальнено сучасний стан розвитку технологій перероблення рослинної сировини, проаналізовано асортимент пектиновмісних паст та обґрунтовано доцільність використання гарбузової сировини як перспективного джерела пектинових речовин.

Систематизовано сучасні методи інтенсифікації виробництва пектиновмісних паст та оцінено їхній вплив на якість продукції й енергоефективність процесу, що стало підґрунтям для розроблення ресурсозберігаючих технологічних рішень.

У **другому розділі** (С. 57–75) «Розробка методики досліджень основних параметрів досліджуваних процесів та обладнання» розроблено та науково обґрунтовано методику експериментальних досліджень процесу виробництва пектиновмісних паст, яка включає програму проведення експериментів, опис дослідної установки та комплексу вимірювального обладнання для визначення енергетичних, силових і вібраційних характеристик процесу. Визначено методичні підходи до вимірювання параметрів вібраційного впливу та оцінювання фізико-хімічних показників готового продукту.

Запропонована методика забезпечує належний рівень достовірності, відтворюваності та об'єктивності експериментальних результатів, що дає змогу здійснювати комплексну оцінку ефективності досліджуваних технологічних і конструктивних рішень.

У **третьому розділі** (С. 76–99) «Математичне моделювання інтенсифікації процесу виготовлення пектинових паст із застосуванням вібро-відцентрового змішування технологічного середовища» виконано математичне моделювання процесу віброгідравлічного змішування під час виробництва пектиновмісних паст, що дозволило встановити раціональні параметри роботи приводного механізму вібролопатевого перемішування. За результатами графоаналітичного аналізу визначено, що найбільш ефективна робота системи забезпечується при проекції твірної виконавчих органів 2–5 мм та кутовій швидкості 65–80 рад/с, за яких досягається стабільна амплітуда коливань 1,0–2,0 мм і реалізуються умови інтенсивного перемішування технологічного середовища.

Дослідження енергетичних характеристик показали, що збільшення проекції твірної понад 2 мм призводить до істотного зростання споживаної потужності та питомих енерговитрат. Встановлено, що застосування виконавчих органів із проекцією твірної 2 мм є найбільш енергоефективним і забезпечує раціональне співвідношення між інтенсивністю змішування та енергоспоживанням у технологічному процесі.

У **четвертому розділі** (С. 100–138) «Експериментально-аналітичне обґрунтування технологічних параметрів виробництва пектинових паст із використанням віброгідравлічного перемішування» проведено експериментально-аналітичне дослідження процесу виробництва пектиновмісних паст із гарбузової сировини із застосуванням віброгідравлічного змішування та обґрунтовано раціональну технологічну схему виробництва з урахуванням фізико-

хімічних, функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей сировини. Встановлено вплив сортових особливостей гарбуза, температурних режимів і концентрації цукру на формування структурно-механічних характеристик і якісних показників готового продукту.

Визначено закономірності зміни в'язкості та міцності структури пектинових паст, встановлено кореляційні залежності між вмістом пектинових речовин і функціонально-технологічними властивостями сировини, що дає змогу прогнозувати якість продукції. Досліджено мікробіологічні показники та терміни зберігання паст, а також підтверджено адекватність математичної моделі процесу віброгідравлічного змішування, яка може бути використана для оптимізації технологічних режимів виробництва.

У **п'ятому розділі** (С. 139–165) «Економічна ефективність технології виробництва пектиновмісних паст з гарбуза з урахуванням математичного моделювання якості» проведено математичне моделювання якості пектиновмісних паст методом факторних просторів та здійснено оцінку економічної ефективності їх виробництва з гарбузової сировини. За результатами моделювання встановлено, що всі дослідні зразки відповідають нормативним вимогам за сукупністю якісних показників і характеризуються стабільними властивостями в межах допустимих значень.

Визначено, що впровадження технології виробництва пектиновмісних паст є економічно доцільним, оскільки забезпечує раціональне використання сировини, зниження виробничих витрат і підвищення доданої вартості готової продукції. Встановлено, що рецептури з різним вмістом цукру мають специфічні технологічні та економічні переваги, що розширює можливості їх практичного застосування.

Висновки (С. 166–167). Аналіз змісту дисертації засвідчує високий рівень наукової підготовки авторки та її здатність проводити повноцінну науково-дослідну роботу. Теоретичні та експериментальні дослідження виконано на високому рівні, відзначаються науковою новизною, методичною чіткістю та практичною значущістю. Здобувачка грамотно інтерпретує отримані результати, здійснює їх всебічний аналіз у контексті сучасних наукових даних та ефективно структурує матеріал для подальшої наукової апробації. Висновки, наведені після кожного розділу, логічно обґрунтовані, узгоджені зі змістом досліджень і повністю відображають їхню сутність.

У цілому, стиль викладу, логічна послідовність дослідження та обґрунтованість теоретичних положень свідчать про сформованість у здобувачки професійних якостей, характерних для кваліфікованого науковця.

Список використаних джерел (С. 168–187) містить 169 найменувань. Представлена література є сучасною та відповідає напряму дослідження дисертації.

Додатки (С. 188–209). Дисертація містить 12 додатків, у яких наведено матеріали, що доповнюють і підтверджують результати дослідження. До них увійшли акти впровадження результатів роботи у виробничу діяльність та навчальний процес, розрахункові показники якості дослідних зразків, критерії їх оцінювання, результати лабораторних досліджень, а також перелік наукових праць здобувачки, опублікованих за тематикою дисертації.

Апробація результатів досліджень, повнота їх викладу в опублікованих працях. Основні положення дисертації апробовано на таких міжнародних науково-практичних конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу: роль тваринництва, ветеринарної медицини та харчових технологій в умовах війни та вирішенні завдань плану відродження України» (м. Київ, 2023 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (м. Київ, 2024 р.); XIII Міжнародній науково-практичній конференції вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (м. Київ, 2025 р.).

За темою дисертації опубліковано 16 наукових праць, 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.

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, що відповідає поставленим меті та завданням. Вона містить нові науково обґрунтовані результати, отримані здобувачкою, які вирішують конкретні наукові завдання та мають значне значення для галузі знань 18 «Виробництво та технології». Робота виконана у чіткому, послідовному та зрозумілому науковому стилі.

У дисертації відсутні **порушення академічної доброчесності**. При використанні ідей, результатів і текстів інших авторів наведено посилання на відповідні джерела.

Зауваження і побажання до змісту і оформлення роботи:

1. Огляд літературних джерел є достатньо змістовним, проте значна частина використаних джерел присвячена загальним питанням отримання пектинових продуктів. Доцільно було б ширше висвітлити сучасні дослідження, пов'язані безпосередньо з вібраційними та віброгідравлічними способами перемішування високов'язких харчових систем.

2. У розділі 1, п. 1.1, наведено аналіз технологій отримання пектинів і пектиновмісних паст. Проте сучасні тенденції використання ферментативних і комбінованих методів

екстрагування пектину недостатньо висвітлено. Наскільки такі технології можуть бути конкурентними порівняно з традиційними способами?

3. У розділі 1, п. 1.4.1, наведено характеристику реологічних властивостей пектиновмісних систем. Водночас недостатньо розкрито вплив концентрації сухих речовин і вмісту пектину на параметри процесу перемішування.

4. У розділі 1, п. 1.5.4, запропоновано принципову схему віброгідрравлічного змішувача. Проте вибір окремих конструктивних елементів апарата та їхній вплив на реалізацію механізму інтенсифікації процесу перемішування не викладені достатньо аргументовано.

5. У розділі 4, п. 4.2, наведено результати дослідження фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей гарбуза. Чому для досліджень було обрано саме ці сорти (або зразки) гарбуза і наскільки отримані результати можна екстраполювати на інші сорти сировини?

6. У розділі 5, п. 5.1, наведено результати органолептичної оцінки пектинових паст. Однак, склад дегустаційної комісії та критерії відбору експертів описані недостатньо детально. Наскільки отримані результати можна вважати репрезентативними з точки зору споживчих переваг?

7. Під час побудови моделі якості враховано обмежену кількість показників. Чим обґрунтовується вибір саме цих параметрів і чи можуть додаткові показники (харчова цінність, антиоксидантна активність, стабільність під час зберігання) вплинути на результати моделювання?

8. Техніко-економічне обґрунтування доцільності виробництва виконано для конкретних виробничих умов. Наскільки зміняться розраховані показники ефективності під час масштабування технології для малих або великих підприємств харчової промисловості?

9. Розділ 5. В останні роки ціни на виробництво продукції та собівартість сировини поступово зростають, але в роботі не вказано джерело отримання цієї інформації та в якому році вказані ціни були актуальними.

10. У роботі є низка стилістичних та орфографічних помилок, які не змінюють наукового змісту дисертації.

Викладені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертації.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам. Зважаючи на актуальність теми, наукову новизну та практичну цінність, обґрунтованість і достовірність отриманих авторкою результатів, вважаю, що дисертація є завершеною науковою працею, яка містить наукові результати, що мають істотне значення в обраному напрямі досліджень. Дисертація на тему: «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів

віброгідрравлічного змішувача інгредієнтів для виробництва пектиновмісних паст» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» та 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 Муштрук Наталія Михайлівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології».

Офіційний опонент професор кафедри обладнання харчових технологій, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, доктор технічних наук, професор Ігор СТАДНИК