

ВІДГУК

офіційного опонента, професора кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, доктора технічних наук, професора Стадника Ігоря Ярославовича на дисертаційну роботу Волинця Євгенія Олександровича на тему «Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів вібраційного змішувача», яку подано до спеціалізованої вченої ради у Вінницькому національному аграрному університеті на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань

13 Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

1. Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами

Ефективне змішування сипких кормових сумішей в умовах сучасного розвитку аграрного виробництва має стратегічне значення для підвищення продуктивності та економічної ефективності галузі. Аналіз цієї проблеми вирішується через подальше вдосконалення технологічних процесів, орієнтованих на створення обладнання, здатного забезпечити високу якість змішування при мінімальних енергетичних витратах, що особливо актуально для малих і середніх виробництв.

Подана дисертаційна робота є своєчасною, а отримані наукові результати спрямовані на підвищення ефективності процесу змішування сипких матеріалів шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів вібраційного змішувача з урахуванням особливостей дії вібраційних і механічних навантажень.

Отже встановлення режимів роботи на якість готової суміші є актуальною науково-прикладною задачею, яка має важливе практичне значення для забезпечення високої ефективності приготування комбікормів.

Дисертаційна робота виконувалася в межах виконання ініціативних науково-дослідних робіт Вінницького національного аграрного університету «Інтенсифікація процесів механічної обробки сільськогосподарської сировини за вібраційного впливу», № 0117U004700, «Розробка високоефективного обладнання для масо- та теплообмінних процесів у харчовій і переробній промисловості», № 0122U002098 та «Розробка науково-технологічного забезпечення підвищення родючості ґрунтів та раціонального використання потенціалу біоресурсів», № 0124U000444, що виконується за рахунок коштів державного бюджету.

2. Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені у дисертаційній роботі є належним чином обґрунтованими та достовірними. Достовірність результатів забезпечується комплексом виконаних теоретичних, чисельних і експериментальних досліджень, застосуванням сучасних методів математичного моделювання, чисельного аналізу, а також коректним використанням методів математичної статистики для перевірки адекватності отриманих моделей.

Мета дослідження була послідовно реалізована шляхом вирішення шести поставлених завдань, що знайшло підтвердження в загальних висновках роботи.

У першому загальному висновку автор обґрунтував необхідність створення нової конструкції вібраційного змішувача, яка забезпечує поєднання вібраційних впливів, обертання контейнера та лопатевого валу. Встановлено доцільність такої конструкції для забезпечення високої якості змішування при мінімальних енергетичних витратах, що повністю відповідає першому завданню дисертаційного дослідження.

Другий загальний висновок ґрунтується на результатах аналітичних досліджень геометричних параметрів лопаті, які підтверджені чисельним моделюванням у середовищі SolidWorks Simulation. Встановлено раціональні розміри та конструктивні особливості лопатевого валу з урахуванням деформаційних характеристик, що відповідає другому завданню дослідження.

Третій загальний висновок стосується чисельного моделювання процесу змішування та підтвердження отриманої регресійної залежності часу досягнення необхідної однорідності. Отримана математична модель є статистично достовірною та адекватною, що підтверджено високими значеннями критеріїв Стюдента та Фішера. Цей висновок відповідає третьому завданню дослідження.

У четвертому загальному висновку викладено результати розробки та виготовлення дослідного зразка вібраційного змішувача, а також результати лабораторних і виробничих випробувань, які підтвердили ефективність роботи змішувача за оптимальних режимних параметрів. Встановлені значення продуктивності, потужності, питомих витрат енергії та часу досягнення необхідної якості суміші повністю підтверджують досягнення поставленої мети та відповідають четвертому завданню дослідження.

П'ятий загальний висновок обґрунтовує відповідність теоретичних і експериментальних результатів. Порівняння результатів чисельного моделювання з експериментальними даними засвідчило високу ступінь узгодженості (коефіцієнт кореляції 0,87), що підтверджує достовірність проведених досліджень і дозволяє використовувати розроблені теоретичні

залежності для інженерних розрахунків.

У шостому загальному висновку надано техніко-економічну оцінку запропонованого вібраційного змішувача. Розраховано економічний ефект і термін окупності, що підтверджує практичну доцільність впровадження розробленої конструкції у виробництво. Цей висновок відповідає п'ятому завданню дисертації.

Таким чином, усі загальні висновки послідовно розкривають виконання поставлених завдань і підтверджують досягнення мети дослідження. Результати роботи є достовірними, обґрунтованими та мають практичну значущість для розвитку обладнання приготування кормових сумішей

3. Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки та виробництва

Наукова новизна одержаних результатів у загальному випадку полягає в тому, що здобувачем розроблено конструкцію вібраційного змішувача сипких матеріалів та обґрунтовано раціональні конструктивно-режимні параметри його роботи для забезпечення якісного змішування з мінімальними енергетичними витратами.

Здобувач уперше розробив комп'ютерну модель напружено-деформованого стану лопаті вібраційного змішувача, що враховує конструктивні параметри та дозволяє визначити оптимальні геометричні розміри для забезпечення міцності, жорсткості й мінімальної маси конструкції.

Уперше створено комп'ютерну модель процесу змішування сипких матеріалів у запропонованій конструкції вібраційного змішувача з поєднанням вібраційних коливань, обертання контейнера та обертання лопатевого валу. Встановлено регресійні залежності часу досягнення заданої однорідності суміші від частоти обертання лопатевого валу, частоти обертання контейнера, частоти коливань віброзбуджувача та амплітуди коливань контейнера.

Розвинено динамічну модель вібраційного змішувача з лопатевим валом, що дозволяє визначати амплітуду коливань контейнера й енергоспоживання залежно від частоти віброзбуджувача. Удосконалено методологію чисельного моделювання змішування сипких матеріалів, що підвищує точність розрахунків та сприяє оптимізації конструкції на етапі проектування.

Значущість результатів досліджень для науки в тому, що проведені аналітичні, чисельні та експериментальні дослідження забезпечили подальший розвиток теоретичних положень у галузі механіки технологічних процесів та уточнення методичних підходів до обґрунтування раціональних конструктивно-режимних параметрів вібраційного змішувача. Запропоновані наукові

положення можуть бути використані як вихідна база для вдосконалення методів розрахунку, оптимізації та проектування змішувачів сипких матеріалів з комбінованим типом руху, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню ефективності технологічних процесів підготовки комбікормів у сільськогосподарському виробництві.

Значущість результатів дослідження для виробництва полягає в обґрунтуванні принципової схеми та визначенні раціональних конструктивно-режимних параметрів роботи вібраційного змішувача для сипких матеріалів. Впровадження розробленого змішувача у виробничі умови забезпечує підвищення якості змішування, зниження енергоспоживання, скорочення тривалості технологічного процесу та покращення показників економічної ефективності. Запропоновано практичні рекомендації щодо вибору оптимальних конструктивно-режимних параметрів функціонування вібраційного змішувача відповідно до встановлених вимог до якості готової суміші.

Теоретичні та експериментальні результати наукових досліджень прийняті спеціалістами підприємства ТОВ «Агромаш-Калина» (м. Калинівка, Вінницька область) для виготовлення дослідного зразка вібраційного змішувача та проведення виробничих випробувань.

Розроблений вібраційний змішувач проходив виробничу перевірку на базі фермерського господарства «Літагор» (с. Миколаївка, Хмельницький район, Вінницька область).

Результати досліджень підтвердили технологічну ефективність і економічну доцільність використання розробленого вібраційного змішувача у виробничих умовах для приготування комбікормів.

Будова, принцип роботи, технічні характеристики, структура та алгоритми роботи вібраційного змішувача використовуються у навчальному процесі Вінницького національного аграрного університету при викладанні навчальної дисципліни «Машини, обладнання та їх використання для переробки сільськогосподарської продукції».

4. Повнота викладення основних результатів у наукових фахових виданнях і дотримання вимог академічної доброчесності

Результати досліджень у достатньому обсязі та на необхідному рівні викладені у наукових публікаціях та апробовані на міжнародних науково-практичних конференціях. При цьому автором дисертації загалом опубліковано 10 наукових праць, із них: 4 статі, які опубліковано у фахових виданнях України категорії Б; 1 свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір; 5

одноосібних тез Міжнародних наукових конференцій.

Зміст наведених наукових публікацій ідентичний результатам основного змісту дисертаційної роботи здобувача. Наведені дані апробації та опублікування результатів наукових досліджень в періодичних рецензованих виданнях відповідають вимогам пунктів 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМ України від 12.01.2022 р. за № 44.

Обсяг і структура роботи та повнота викладення матеріалу дисертації відповідає вимогам МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Зміст анотації ідентичний структурі та змісту дисертації і в достатній мірі характеризує основні результати роботи.

Використання чужих наукових результатів без посилань на авторів у дисертаційній роботі не виявлено, тобто автором дотримані вимоги академічної доброчесності.

5. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та загальна характеристика роботи

Дисертація складається зі анотації, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 190 найменувань і 10 додатків на 30 сторінках. Основний зміст дисертації викладено на 149 сторінках. Вона включає 49 рисунків і 18 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 199 сторінок.

У вступі (с. 15-22), відповідно до встановлених вимог обґрунтовано актуальність обраної теми, розкрито зміст і сучасний стан наукової проблеми, визначено її значення. Висвітлено зв'язок дослідження з науковими програмами, конкретизовано об'єкт і предмет дослідження, наведено застосовані методи дослідження, чітко сформульовано мету та основні завдання роботи. Визначено наукову новизну, практичну значущість одержаних результатів, а також окреслено особистий внесок автора у їх досягнення.

У першому розділі «Аналітичний огляд стану проблеми» (с. 23-48) здійснено аналіз стану наукового завдання, представлено огляд основних технологій змішування сипких матеріалів, конструкцій існуючих змішувачів та їх недоліків.

Встановлено, що сучасні змішувачі не забезпечують необхідної якості змішування на малих виробництвах, особливо на мікрорівні. Визначено переваги вібраційних змішувачів у порівнянні з іншими типами, зокрема щодо енергозбереження, швидкості змішування та досягнення високої однорідності суміші.

Окреслено основні напрямки вдосконалення конструкцій вібраційних змішувачів та обґрунтування їх конструктивно-режимних параметрів для підвищення ефективності процесу.

У другому розділі «Теоретичні дослідження процесу роботи вібраційного змішувача» (с. 49-94) розроблено вдосконалену конструкцію вібраційного змішувача з поєднанням вібраційного впливу, обертання лопатевого валу та обертання контейнера на 360° навколо горизонтальної осі. Визначено, що така конструкція дозволяє ефективно зменшити адгезійні сили між частинками матеріалу.

Виконано аналітичне обґрунтування геометричних параметрів лопаті, встановлено раціональні розміри. Проведено чисельне моделювання процесу роботи змішувача в програмному середовищі Simcenter Star-CCM+, визначено раціональну геометрію робочих органів та оптимальну кількість витків лопатевого валу.

Отримано залежності часу досягнення однорідності $t_{0,9}$ від частоти обертання лопатевого валу, контейнера, частоти коливань віброзбуджувача та амплітуди коливань. Встановлено, що найменший час досягнення однорідності $t_{0,9} = 81,2\text{с}$, який забезпечується при $n_{\text{л}} = 45,9 \text{ хв}^{-1}$, $n_{\text{к}} = 24,4 \text{ хв}^{-1}$, $n_{\text{в}} = 823,8 \text{ хв}^{-1}$ та амплітуді коливань 8,8 мм.

Розроблено динамічну модель вібраційного змішувача, яка дозволила отримати залежності амплітуди коливань контейнера та потужності привода від частоти коливань віброзбуджувача. Встановлено, що амплітуда швидко насичується при збільшенні частоти, тоді як енергоспоживання зростає пропорційно.

У третьому розділі «Програма і методика проведення експериментальних досліджень вібраційного змішувача» (с. 95-113) наведено конструкцію та основні технічні характеристики розробленого експериментального зразка вібраційного змішувача, описано обладнання та методику проведення досліджень.

Виконано експериментальні дослідження впливу частоти обертання лопатевого валу, частоти обертання контейнера, коефіцієнта режиму вібрації та тривалості змішування на якість суміші, продуктивність і питомі енерговитрати.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» (с. 114-132) представлено:

- результати експериментальних досліджень роботи вібраційного змішувача;
- рівняння регресії, які описують залежність тривалості змішування від частоти обертання лопатевого валу, контейнера, частоти та амплітуди коливань

віброзбуджувача;

- результати чисельної перевірки математичних моделей та їх узгодженість з експериментальними даними.

Встановлено, що найкращі показники змішування досягаються при частоті обертання лопатевого валу $n_{\text{л}} = 23,3 \text{ хв}^{-1}$, частоті обертання контейнера $n_{\text{к}} = 10,1 \text{ хв}^{-1}$ та коефіцієнті режиму вібрації $k = 2,69$. У цих умовах забезпечується потужність привода $P = 513 \text{ Вт}$, продуктивність $Q = 25,1 \text{ кг/хв}$, тривалість змішування $t_{0,9} = 95,7 \text{ с}$, питома енерговитрата $E = 1228 \text{ Дж/кг}$.

Встановлено, що залежності, отримані за експериментальними регресійними моделями, добре узгоджуються з теоретичними розрахунками. Для залежності тривалості змішування коефіцієнт кореляції становив 0,87, що відповідає високому рівню зв'язку за шкалою Чеддока.

У п'ятому розділі «Реалізація результатів досліджень» (с. 133-147) сформовано техніко-економічні показники розробленого вібраційного змішувача, проведено порівняння його експлуатаційних характеристик із серійними змішувачами, що підтверджує перевагу запропонованої конструкції за показниками енергоспоживання, продуктивності та тривалості змішування.

Подано апаратурно-технологічну схему приготування комбікорму з використанням вібраційного змішувача, який забезпечує рівномірне змішування сипких матеріалів завдяки поєднанню вібраційного і обертального рухів.

Розраховано економічний ефект впровадження, який становить 35 951 грн на рік, при строку окупності 1,17 року та зменшенні питомих експлуатаційних витрат на 15,6 грн/т.

6. Загальні зауваження та дискусійні положення щодо матеріалів дисертації

6.1. У роботі наведено конкретні розміри лопаті (довжина, висота, товщина, кут нахилу тощо), однак бракує чіткої методики їх оптимізації або порівняння із аналогами. Обмежено розкрито, чому саме ці параметри обрано як оптимальні.

6.2. У дослідженнях використано лише два види сировини (кукурудза та горох однакової фракції), без варіації вологості, насипної щільності чи гранулометричного складу. Це обмежує узагальнення результатів.

6.3. На сторінці 37 в одному з абзаців одна й та сама літера «Т» використовується для позначення різних фізичних величин – сили та періоду коливань, що створює складнощі для правильного тлумачення змісту та ускладнює сприйняття викладеного матеріалу. Для уникнення плутанини

доцільно застосовувати різні позначення для цих величин.

6.4. Незважаючи на побудову динамічної моделі, у тексті не вказано, як її результати співвідносяться з фактичними значеннями амплітуд і частот, отриманих на експериментальній установці, що викликає сумніви у достовірності моделі.

6.5. У розділі 5.1 згадано лише базову модель для порівняння. Не надано порівняльної таблиці техніко-економічних показників з іншими конструкціями (наприклад, шнековими, стрічковими або гравітаційними).

6.6. Межі варіювання частоти обертання валу, контейнера, а також параметрів вібрації вибрано без пояснення причин такого діапазону. Відсутнє попереднє аналітичне обґрунтування вибору цих інтервалів.

6.7. На сторінці 98 у таблиці 3.1 ступінь завантаження контейнера вказана лише як 75%. При цьому не зазначено, чи розглядалася можливість роботи змішувача при інших рівнях завантаження, зокрема менших або більших за 75%.

6.8. У роботі недостатньо обґрунтовано вибір оптимального кута нахилу лопаті (25°). Відсутні детальні пояснення щодо методики його визначення, порівняльного аналізу з іншими значеннями кута та впливу цього параметра на ефективність процесу змішування.

6.9. Товщина трапецієподібної пластини прийнята на рівні 2 мм. Однак у роботі не наведено обґрунтування цього вибору та не розглянуто можливість використання альтернативних варіантів, зокрема товщини 1,5 мм або 2,5 мм. Доцільно проаналізувати, як зміна товщини впливає на міцність, масу та експлуатаційні характеристики елемента, щоб підтвердити обґрунтованість прийнятого рішення.

6.10. Подекуди трапляються неправильні словосполучення, описки, відхилення від загальноприйнятої термінології.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Волинця Євгенія Олександровича на тему «Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів вібраційного змішувача», яку подано до спеціалізованої вченої ради на здобуття ступеня доктора філософії галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» є завершеною науковою працею, де отримано самостійні результати теоретичних та експериментальних досліджень, які забезпечують досягнення поставленої мети та сприяють підвищенню технологічної ефективності процесу змішування шляхом обґрунтування конструкції вібраційного змішувача та раціональних режимів роботи.

Результати, які отримано автором дисертації є новими, мають наукову і

практичну цінність та достатньо обґрунтованими, перевірені у виробничих умовах і підтверджені необхідними документами.

Матеріали всіх розділів логічно пов'язані і разом складають закінчену роботу, яка вирішує поставлені завдання. Зміст, форма подачі матеріалу та стиль викладання в достатній мірі задовольняють вимоги МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Анотація дисертації автентична та адекватна змісту та результатам дисертаційної роботи.

Відмічені недоліки до дисертаційної роботи не знижують її наукового та практичного рівня і не впливають на позитивну оцінку дисертації в цілому.

Виконані дослідження за науковим рівнем та практичним значенням, відсутності порушень академічної доброчесності відповідають вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор Волинець Євгеній Олександрович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент:

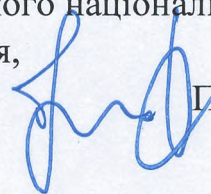
професор кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
доктор технічних наук, професор



Ігор СТАДНИК

Підпис Стадника І. Я. засвідчую:

проректор з наукової роботи Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
доктор технічних наук, професор



Павло МАРУЩАК