

Голові спеціалізованої разової вченої
ради PhD15042 Тернопільського
національного технічного
університету ім. І. Пулюя
доктору технічних наук, професору,
заслуженому діячу науки і техніки
України Роману РОГАТИНСЬКОМУ

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата технічних наук, доцента Клендія Миколи Богдановича
на дисертаційну роботу Ковалю Сергія Олександровича на тему «Обґрунтування
параметрів шнекових змішувачів з регульованою подачею» подану на здобуття
наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве
машинобудування

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими планами і програмами

У сучасному виробництві реалізація транспортно-технологічних операцій значною мірою базується на використанні шнекових механізмів. Гвинтові робочі органи мають широку сферу застосування у сільському господарстві, машинобудуванні, будівельній галузі, фармацевтичній індустрії та інших. Функціональний діапазон сучасних гвинтових засобів не обмежується лише переміщенням вантажів; вони ефективно інтегруються у процеси калібрування, сепарації, екструзії, очищення, сортування, подрібнення та змішування полідисперсних матеріалів. Висока затребуваність зазначеного обладнання зумовлена низкою конструктивних та експлуатаційних переваг.

Найбільшого поширення у якості технологічних засобів шнекові засоби набули як пристрої для змішування сипких та дисперсних матеріалів. Суміщення логістичних функцій транспортування із процесами змішування компонентів дозволяє суттєво оптимізувати виробничий цикл та знизити енергоємність виробництва. Незважаючи на високу ефективність суміщення операцій, базові конструкції гвинтових конвеєрів характеризуються недостатньою інтенсивністю масообміну, що зумовлює потребу у збільшенні кількості циклів переорієнтації компонентів середовища і, як наслідок, призводить до зростання габаритних розмірів (довжини) шнекового тракту. Забезпечення необхідної інтенсивності зсувних деформацій у шарі матеріалу можливе шляхом керування силою тертя на межі контакту робочого середовища з витками гвинта та внутрішньою поверхнею кожуха. З огляду на це, розроблення, моделювання та комплексне дослідження конструкцій шнекових змішувачів з обертовим кожухом і системою регулювання подачі є актуальним

та перспективним науково-прикладним завданням, спрямованим на підвищення ефективності змішувального обладнання.

Роботу виконано відповідно до пріоритетних напрямів наукових досліджень Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в межах науково-дослідної держбюджетної теми ВК 72-24 «Розроблення енергоефективних конструкцій та ресурсозберігаючих технологій виробництва робочих органів гвинтових транспортно-технологічних машин» (номер державної реєстрації 0124U002485). Зазначена науково-дослідна тема реалізується на виконання Постанови Кабінету Міністрів України «Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентоспроможною технікою».

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Ковалю С.О. за результатами теоретичних та експериментальних досліджень є достатньо високою.

Вона базується на аналізі наукових та науково-технічних джерел за даною проблемою, коректній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, критичному аналізі отриманих результатів та порівнянні їх з результатами інших дослідників, узагальнюючому формулюванні висновків. Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення та запропоновані технічні рішення характеризуються науковою новизною, є теоретично обґрунтованими й забезпечують вирішення поставлених у дослідженні завдань у повному обсязі.

Достовірність наукових висновків дисертаційної роботи підтверджується послідовним впровадженням методології досліджень та належним збігом отриманих результатів.

3. Достовірність і наукова новизна результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується використанням теоретичних та експериментальних методів і концепцій.

Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, основах конструювання деталей машин, а також на методах математичного моделювання із застосуванням апарату диференціального та інтегрального числення.

Експериментальні дослідження виконано з використанням теорії планування експерименту на спеціалізованому лабораторно-стендовому устаткуванні за стандартними та розробленими авторськими методиками; обробку та статистичний аналіз масивів експериментальних даних реалізовано за допомогою сучасних засобів обчислювальної техніки та профільного прикладного програмного забезпечення.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- вперше побудована модель руху частинок суміші по поверхні обертового кожуха гвинтового конвеєра-змішувача залежно від кутового їх

розміщення в потоці в умовах перехідного режиму транспортування;

- вперше розроблено модель руху динамічного тіла волочіння суміші у вигляді взаємодії двох його елементів, відповідно, із висхідним та нисхідним напрямками дії на них зовнішніх сил відносно обертового кожуха;

- уточнено залежності для визначення кінематичних та силових параметрів похилих конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом для випадку його роботи в перехідному режимі транспортування-змішування;

- уточнено поточно-коміркову модель змішування суміші для випадку гвинтових конвеєрів-змішувачів із обертовим кожухом із розбиттям комірок за кількістю циклів перелопачування та виведено відповідну функцію розподілу ключового компоненту по довжині конвеєра-змішувача.

4. Значимість отриманих результатів для практичного використання полягає у тому, що шляхом морфологічного аналізу здійснено структурно-схематичний синтез гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовими кожухами, що дало змогу сформувати класифікаційну матрицю та визначити нові конструктивні рішення їхніх робочих органів. Удосконалено методiku визначення раціональних конструктивних та режимно-технологічних параметрів змішувальних агрегатів зазначеного типу, що, на відміну від існуючих підходів, базується на результатах експериментальних досліджень створеного дослідно-промислового зразка та враховує кінематичні особливості обертового кожуха. Результати порівняльного аналізу розробленого агрегату з традиційними жорсткими гвинтовими транспортерами-змішувачами та змішувачами гравітаційного типу (з пересипанням матеріалу) підтвердили підвищення техніко-економічної ефективності процесу гомогенізації сипких сумішей.

Побудовані рівняння регресії, поверхні відгуку та двомірні перерізи часу дають можливість прогнозувати потужність приводу обертання шнека, потужність приводу обертання кожуха, продуктивність шнекового змішувача та коефіцієнта неоднорідності змішування при комбінації різних сипких матеріалів від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека, частоти обертання кожуха та кута нахилу шнекового змішувача.

Новизну та практичну цінність розроблених конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовими кожухами, шнекових робочих органів і способів їх виготовлення захищено 9 патентами України на корисні моделі. Результати дисертаційної роботи пройшли успішно-промислові випробування та впроваджені у виробничу діяльність низки підприємств агропромислового комплексу. Технічні рішення за патентами № 154380 та № 154547 (транспортувально-змішувальні агрегати) інтегровані у технологічні процеси ТОВ «Сієфджі Трейдинг» компанії «Контінентал Фармерз Груп» (м. Тернопіль), а також фермерського господарства (ФГ) «КРОК ВПЕРЕД 2019» (Тернопільська обл.). Експлуатація обладнання підтвердила високу ефективність його функціонування. Технічні рішення за патентами № 153687 та № 153774 (шнекові робочі органи з механічним кріпленням елементів) впроваджені у процеси виробництва змішувального обладнання на підприємствах ФГ «ДАРИ ДОЛИНИ» та приватного підприємства (ПП) «Хлопівецьке». Сумарний

економічний ефект від реалізації та впровадження результатів дослідження у виробництво становить 534 000 грн.

5. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені у 24 наукових працях, із них – 7 статей у фахових виданнях України, 9 патентів України на корисні моделі та 8 тез міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Коваля Сергія Олександровича складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, 7 додатків. Основні результати роботи викладено на 187 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 245 сторінок. Робота містить 71 рисунок та 12 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та завдання наукових досліджень, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, вказана наукова новизна, практичне значення та реалізація результатів дисертаційного дослідження, наведено дані щодо апробації роботи, публікацій та впровадження її результатів.

У першому розділі здійснено системний аналіз конструктивно-технологічних особливостей шнекових змішувачів та їхніх робочих органів, а також визначено сфери їх ефективного застосування. Висвітлено та критично оцінено результати попередніх досліджень гвинтових транспортно-технологічних механізмів суміщеної дії (з функцією гомогенізації середовища).

Розглянуто специфіку проєктування шнекових змішувальних агрегатів із використанням сучасних методів математичного моделювання та структурно-схематичного синтезу. На основі проведеного аналітичного огляду літературних джерел та патентної документації сформульовано висновки до розділу, визначено невирішені аспекти проблеми та окреслено конкретні завдання дослідження.

У другому розділі викладено результати теоретичних досліджень робочих процесів горизонтальних гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом. Розроблено математичну модель функціонування та проведено аналітичне моделювання процесу гомогенізації сипких матеріалів у похилих транспортувально-змішувальних агрегатах зазначеного типу. У цьому розділі викладено побудову моделі руху частинок суміші по поверхні обертового кожуха гвинтового конвеєра-змішувача залежно від кутового їх розміщення в потоці в умовах перехідного режиму транспортування. Також представлено розроблену модель руху динамічного тіла волочіння суміші у вигляді взаємодії двох його елементів, відповідно, із висхідним та нисхідним напрямками дії на них зовнішніх сил відносно обертового кожуха. Уточнено залежності для визначення кінематичних та силових параметрів похилих конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом для випадку його роботи в перехідному режимі транспортування-змішування. Представлено уточнену поточно-коміркову модель змішування суміші для випадку гвинтових конвеєрів-змішувачів із

обертотим кожухом із розбиттям комірок за кількістю циклів перелопачування та виведено відповідну функцію розподілу ключового компоненту по довжині конвеєра-змішувача.

Третій розділ включає розроблену програму і методику експериментальних досліджень шнекового змішувача з регульованою подачею. У ньому наведено конструктивні та технічні характеристики розробленої лабораторно-стендової установки, призначеної для реалізації запланованого обсягу досліджень. Представлено методики проведення експериментальних досліджень для визначення потужностей приводів обертання шнека та кожуха, продуктивності шнекового змішувача та коефіцієнта неоднорідності змішування сипких матеріалів.

У **четвертому розділі** викладено результати експериментальних досліджень робочих процесів гвинтового змішувального агрегату з регульованою подачею під час обробки зернових матеріалів. Зокрема, наведено та проаналізовано емпіричні залежності таких визначальних показників, як: якості суміші (коефіцієнта неоднорідності змішування компонентів середовища); енергоємності процесу (потужності приводів обертання шнека та обертання кожуха в режимах суміщеного транспортування і змішування сировини); продуктивності транспортувально-змішувального процесу.

У **п'ятому розділі** на основі структурно-схематичного синтезу розроблено комплексну методику інженерного розрахунку та проектування зазначеного класу обладнання і його робочих органів. Окремим блоком представлено техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розроблених гвинтових змішувальних агрегатів у виробництво, що підтверджує їхню високу ефективність та експлуатаційну перевагу порівняно з існуючими аналогами.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел охоплює вітчизняні та закордонні публікації із 173 найменувань.

Зміст розширеної анотації у достатній повноті відображає зміст дисертації та розкриває основні наукові результати і практичну цінність роботи.

7. Відповідність академічній доброчесності.

Аналіз звіту про подібність, сформованого за результатами перевірки дисертаційного дослідження на наявність текстових збігів, дає підстави констатувати, що наукова праця Ковалю Сергія Олександровича на тему «Обґрунтування параметрів шнекових змішувачів з регульованою подачею» відповідає принципам академічної доброчесності. У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації чи компіляції; дисертація є результатом самостійного наукового дослідження здобувача.

8. До дисертаційної роботи необхідно зробити такі зауваження.

1. У п. 1.1 при аналізі конструкцій шнекових змішувачів та їх робочих органів було б доцільно більше уваги приділити змішувачам, які оснащені спареними шнеками та обертотими кожухами.

2. В розділі 2.1. досліджується спочатку горизонтальний гвинтовий змішувач з обертовим кожухом, а в розділі 2.2 - похилий змішувач, який досліджується за таким же підходом і має деякі повтори. Доцільніше було провести дослідження похилого змішувача, а горизонтальний розглядати як частковий випадок похилого.

3. Не цілком зрозуміло, яку форму має об'ємне тіло волочіння (стор.76) і як визначались його параметри.

4. На стор. 79 вказано, що графіки на рис. 2.14 побудовані для гвинтового змішувача з діаметром 0,1 м та кроком 0,8 м. Напевне там допущена помилка, оскільки експериментальні дослідження проводились із кроком на порядок менше.

5. Доцільно було б більш детально висвітлити методологію статистичної обробки експериментальних даних, зокрема зазначити методи апроксимації отриманих залежностей, критерії вибору типу регресійних моделей.

6. У роботі не наведено метрологічні характеристики контрольних та вимірювальних засобів, використаних під час проведення експериментальних досліджень.

7. У п'ятому розділі виконано синтез конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом та їх робочих органів і представлено різні гвинтові робочі органи змішувачів, та лише дві синтезовані конструкції конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом. Проте за результатами проведеного структурно-схемного синтезу їх кількість має бути значно більша і бажано було б їх також зобразити та проаналізувати.

8. В тексті дисертації зустрічаються деякі описки, невдалі звороти та неточності.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Коваля Сергія Олександровича на тему «Обґрунтування параметрів шнекових змішувачів з регульованою подачею» за своїм змістом відповідає спеціальності 133 – Галузеве машинобудування.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що полягає в інтенсифікації процесів змішування та підвищенні якісних показників гомогенізації сипких середовищ у горизонтальних і похилих гвинтових конвеєрах-змішувачах. Це досягнуто шляхом розроблення оригінальної конструкції транспортувально-змішувального агрегату з обертовим кожухом та системою регулювання подачі, а також обґрунтування його раціональних конструктивних і режимно-технологічних параметрів.

Виконані наукові дослідження за ступенем актуальності наукової теми, обґрунтованості наукових положень, їх новизни, повноти викладення результатів дослідження в наукових публікаціях, достатнього рівня апробації результатів дослідження на міжнародних конференціях, відсутності порушень академічної доброчесності, науковим рівнем та практичним значенням відповідають вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня

доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами), наказу МОН України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) і Порядку присудження ступеня доктора філософії та касування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор, Коваль Сергій Олександрович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри прикладної
механіки та технічного сервісу
Відокремленого підрозділу
Національного університету біоресурсів
і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»,
кандидат технічних наук, доцент

Микола КЛЕНДІЙ



Григоренко Микола Григорій

засвідчує

підписує

Г. Григоренко