

Голові разової спеціалізованої разової вченої
ради PhD15042 Тернопільського
національного технічного університету
імені Івана Пулюя
доктору технічних наук, професору,
заслуженому діячу науки і техніки України
Рогатинському Роману Михайловичу

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора **Стадника Ігора Ярославовича**
на дисертаційну роботу

Коваля Сергія Олександровича

«Обґрунтування параметрів шнекових змішувачів з регульованою подачею»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 13 «Механічна інженерія»

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими напрямками, темами

Сучасний розвиток агропромислового комплексу, харчової, хімічної, будівельної та інших галузей промисловості характеризується постійним зростанням вимог до ефективності технологічних процесів, енергоощадності обладнання та якості готової продукції. Однією з ключових операцій у багатьох виробництвах є змішування сипких матеріалів, від якого безпосередньо залежать однорідність суміші, стабільність технологічного процесу, продуктивність обладнання та економічні показники виробництва.

Серед широкого спектра змішувального обладнання шнекові змішувачі набули значного поширення завдяки простоті конструкції, компактності, можливості одночасного транспортування і перемішування матеріалу, а також високій надійності в експлуатації. Разом із тим традиційні конструкції шнекових змішувачів не завжди забезпечують необхідний рівень однорідності сумішей за змінних режимів роботи, різних фізико-механічних властивостей компонентів та нерівномірної подачі матеріалу. Це призводить до зниження якості продукції, збільшення енерговитрат і продуктивних втрат.

Одним із перспективних напрямів удосконалення змішувального обладнання є застосування шнекових змішувачів з регульованою подачею

матеріалу. Керування інтенсивністю подачі дозволяє адаптувати процес змішування до характеристик компонентів, забезпечити раціональне співвідношення між продуктивністю, енергоспоживанням та якістю суміші. Однак ефективне використання таких змішувачів потребує науково обґрунтованого вибору їх конструктивних, кінематичних та режимних параметрів, що визначають закономірності руху матеріалу, інтенсивність перемішування та рівномірність розподілу компонентів.

Актуальним є подальший розвиток математичних моделей процесу змішування, методи оцінювання впливу конструктивних і режимних параметрів на якість змішування, а також експериментальне підтвердження отриманих теоретичних залежностей. Важливим є встановлення взаємозв'язку між швидкістю подачі матеріалу, геометричними параметрами шнекових робочих органів, режимами їх роботи та показниками ефективності процесу змішування.

Розв'язання зазначених науково-практичних завдань дозволяє підвищити ефективність функціонування шнекових змішувачів, забезпечити стабільно високу якість готових сумішей, знизити питомі енерговитрати, підвищити продуктивність обладнання та розширити можливості його використання в різних галузях промисловості. Результати досліджень можуть бути використані під час проєктування нових і модернізації існуючих конструкцій шнекових змішувачів, а також при розробленні сучасних технологічних процесів змішування сипких матеріалів.

Таким чином, актуальність дисертаційної роботи зумовлена необхідністю наукового обґрунтування параметрів шнекових змішувачів з регульованою подачею, що забезпечують підвищення ефективності процесу змішування, покращення якості готових сумішей та зниження енергоємності технологічного процесу, що має важливе наукове та практичне значення для розвитку сучасного машинобудування і технологій переробки сипких матеріалів.

Роботу виконано відповідно до напрямку 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).

2. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

У дисертації Ковалю С.О. отримано такі основні наукові результати:

- 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.

3. Практична цінність одержаних результатів

У результаті проведеного структурного синтезу гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовими кожухами, реалізованого із застосуванням методу морфологічного аналізу, сформовано нові конструктивні рішення гвинтових робочих органів змішувачів і конвеєрів-змішувачів з обертовими кожухами. На основі синтезованих конструктивних схем спроектовано, виготовлено та експериментально досліджено дослідний зразок гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом, що забезпечило можливість обґрунтування його раціональних конструктивних і технологічних параметрів. За результатами порівняльного аналізу експлуатаційних та техніко-економічних показників розробленої конструкції з гвинтовим жорстким транспортером-змішувачем і гвинтовим змішувачем з пересипом підтверджено її переваги та встановлено доцільність практичного впровадження завдяки підвищенню техніко-економічної ефективності.

Розроблені конструктивні рішення гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовими кожухами, шнекових робочих органів для змішування та технологій їх виготовлення захищені дев'ятьма патентами України на корисні моделі. Практичну ефективність застосування розроблених гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовими кожухами, створених на основі патентів України № 154380 та № 154547, підтверджено результатами їх експлуатації у ТОВ «Сієфджі Трейдинг» Компанії «Контінентал Фармерз Груп» (м. Тернопіль) і ФГ «КРОК ВПЕРЕД 2019» (Тернопільська обл., с. Трибухівці), де забезпечено підвищення ефективності реалізації технологічного процесу змішування сипких сумішей. Конструкції шнеків для змішування з механічним кріпленням робочих елементів, виготовлені відповідно до технічних рішень, захищених патентами України № 153687 та № 153774, впроваджено у виробництво змішувального обладнання у ФГ «ДАРИ ДОЛИНИ» (Тернопільська обл., смт. Гусятин) та ПП «Хлопівецьке» (Тернопільська обл., м. Копичинці), що підтверджує їх практичну придатність і виробничу ефективність.

4. Повнота викладення результатів дослідження у наукових публікаціях, дотримання вимог академічної доброчесності

Наукові результати дисертаційного дослідження Ковалю С.О. опубліковано у 24 наукових працях, з яких 7 - статті у фахових виданнях України категорії Б, 9 патентів України на корисні моделі та 8 тез міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій.

Результати дисертаційного дослідження повною мірою висвітлено в опублікованих наукових працях автора. Обсяг, рівень і характер наукових публікацій повністю відповідають вимогам чинного «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Використання у дисертаційній роботі наукових результатів, ідей та положень, отриманих іншими авторами, здійснено з дотриманням принципів наукової етики та супроводжується коректними бібліографічними посиланнями на відповідні інформаційні джерела. Додатковим підтвердженням дотримання вимог академічної доброчесності є публікація основних результатів дослідження у фахових рецензованих наукових виданнях, матеріали яких проходять експертне рецензування та перевірку на наявність неправомірних запозичень. Порушень принципів академічної доброчесності, зокрема фактів академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації наукових результатів, у дисертаційній роботі не встановлено.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірність сформульованих в дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, логічно взаємопов'язаними та підтвердженими результатами виконаних теоретичних і експериментальних досліджень. З метою їх обґрунтування та верифікації автором розроблено відповідні методики досліджень, виконано комплекс теоретичних і експериментальних робіт, а основні результати своєчасно оприлюднено у наукових публікаціях.

Теоретичну частину дослідження виконано із застосуванням положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, теорії проектування деталей машин, а також сучасних методів математичного моделювання та аналізу технічних систем. Експериментальні дослідження проведено з використанням методів математичного планування експерименту, сучасних засобів комп'ютерної обробки експериментальних даних, прикладного програмного забезпечення та стандартизованих методик випробувань із застосуванням спеціально розробленої й виготовленої лабораторної установки.

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується коректним застосуванням математичного апарату, належним обґрунтуванням прийнятих теоретичних припущень, задовільною збіжністю результатів теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень, а також практичним впровадженням розроблених технічних рішень у процеси проектування шнекових транспортерів-змішувачів.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, що складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та

додатків. Структура роботи є логічною та відповідає поставленим у дослідженні завданням. Результати проведених здобувачем досліджень відповідають темі дисертації. Здобувач у достатній мірі володіє методологією наукової діяльності.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено мету і основні завдання, представлено наукову новизну та практичне значення роботи, подано її загальну характеристику і наведено дані щодо її апробації та публікацій.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел з тематики наукового дослідження. Виконано комплексний аналіз конструктивних рішень і технологічних особливостей шнекових змішувачів та їх робочих органів, а також досліджено сфери їх практичного застосування. Узагальнено та критично проаналізовано результати наукових досліджень, присвячених гвинтовим транспортно-технологічним системам, що реалізують функцію транспортування та змішування сипких матеріалів. Розглянуто сучасні підходи до проєктування шнекових змішувачів і конструктивного синтезу їх робочих органів із застосуванням методів математичного моделювання, структурного синтезу та комп'ютерного проєктування. За результатами проведеного аналізу сформульовано основні висновки, визначено невирішені науково-технічні проблеми та обґрунтовано мету і завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі виконано теоретичне дослідження процесів функціонування горизонтальних і похилих гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом. Розроблено математичну модель руху динамічного тіла волочіння сипкої суміші, локалізованого в межах дуги її піднімання, яке здійснює осьове переміщення вздовж транспортного каналу конвеєра одночасно з обертальним рухом відносно його осі. Крім того, сформовано математичну модель робочого процесу похилого гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом.

На основі розв'язання системи диференціальних рівнянь руху динамічного тіла волочіння, що складається з висхідної та низхідної складових зі спільним центром мас, визначено основні кінематичні та силові параметри процесу транспортування суміші. Зокрема, встановлено закономірності зміни осьової та колової складових швидкості потоку матеріалу, визначено продуктивність гвинтового конвеєра-змішувача, необхідну потужність приводу, а також крутні моменти, що діють на робочі органи машини.

У розділі також виконано математичне моделювання процесу змішування у похилих гвинтових конвеєрах-змішувачах з обертовим кожухом. Для опису процесу масообміну розроблено потокову коміркову модель, у якій за характерний розмір комірки прийнято шлях переміщення матеріалу за час одного циклу перелопачування.

Показано, що підвищення ефективності процесу змішування досягається за рахунок похилого розташування конвеєра та раціонального вибору кутових швидкостей обертання шнека і кожуха, які забезпечують реалізацію перехідного режиму транспортування матеріалу. При цьому інтенсивність змішування та

якість одержуваної суміші зростають пропорційно параметрам режиму роботи, що визначають згладжувальну здатність конвеєра-змішувача.

У третьому розділі представлено програму і методику проведення експериментальних досліджень шнекового змішувача з регульованою подачею матеріалу з наданим обертовим рухом кожуху в напрямку обертання шнека для одночасного змішування та транспортування матеріалів з метою визначення його параметрів. Описано конструкцію розробленого та виготовленого дослідного зразка шнекового змішувача із регульованою частотою обертання шнека, кожуха та кута нахилу шнекового змішувача. У розділі зазначено параметри шнекового змішувача для проведення експериментальних досліджень. Представлено методику проведення повнофакторних експериментів для визначення потужності приводу обертання шнека, потужності приводу обертання кожуха, продуктивності шнекового змішувача та коефіцієнта неоднорідності змішування комбінації різних сипких матеріалів: зерен кукурудзи, проса, гороху, пшениці, гречки.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений результатам експериментальних досліджень. Представлено результати експериментальних досліджень потужності приводу обертання шнека, потужності приводу обертання кожуха, продуктивності шнекового змішувача та коефіцієнта неоднорідності змішування комбінації різних сипких матеріалів: зерен кукурудзи, проса, гороху, пшениці, гречки. Виведено відповідні емпіричні рівняння регресії в результаті статистичного оброблення даних експериментів. За результатами дослідження рекомендовано раціональні значення основних параметрів шнекового змішувача.

У п'ятому розділі наведено результати конструктивного синтезу гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом та їх робочих органів. Запропоновано низку нових конструктивних рішень гвинтових робочих органів змішувачів, що забезпечують можливість регулювання величини міжлопатевого зазору з метою інтенсифікації процесу змішування сипких матеріалів різного гранулометричного складу. Розроблені технічні рішення захищені патентами України на корисні моделі.

Також представлено конструкції гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом, які реалізують різні режими функціонування: без примусового приводу обертання кожуха з можливістю його керованого пригальмовування та з примусовим обертанням кожуха, що забезпечує регулювання довжини траси транспортування і змішування матеріалу. Запропоновані конструктивні рішення також захищені патентами України.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику інженерного проєктування гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом і їх робочих органів.

У завершальній частині розділу виконано техніко-економічне обґрунтування ефективності застосування розроблених гвинтових конвеєрів-змішувачів, результати якого підтвердили доцільність їх використання у

технологічних процесах змішування та транспортування сипких матеріалів.

Висновки за результатами виконання дисертаційної роботи є достовірними і мають наукову та практичну спрямованість.

Список використаних джерел охоплює вітчизняні та закордонні публікації із 173 найменувань і свідчить про аналіз сучасних наукових джерел при виконанні наукового дослідження.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

7. Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, має логічну структуру та відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, зокрема, вимогам чинного Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії. Тематика, зміст та отримані результати дослідження відповідають спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

8. Зауваження до дисертації

1. У першому розділі, в межах аналітичного огляду існуючих конструкцій змішувачів, доцільно було б розширити номенклатуру досліджуваного обладнання для змішування матеріалів із різними фізико-механічними властивостями та виконати їх комплексний аналіз за критеріями функціональної ефективності, технічних параметрів та техніко-економічних показників.

2. В роботі доцільно було проаналізувати процес змішування також при взаємно протилежних обертаннях гвинтового робочого органу і кожуха та показати переваги представленої схеми порівняно із вказаною.

3. При побудові коміркової моделі не вказано, чи впливало розміщення частинки в попередній комірці на ймовірність її переходу в наступну.

4. При проведенні експериментальних досліджень доцільно було розширити номенклатуру матеріалів, що піддаються одночасному транспортуванню та змішуванню, в тому числі сільськогосподарських.

5. Доцільно також було б провести експериментальні дослідження параметрів шнекового конвеєра при обертанні кожуха не тільки у напрямку обертання шнека, але і проти напрямку обертання шнека.

6. У п. 5.1 «Синтез конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом та їх робочих органів» доцільно детальніше описати вибір кращих генерованих альтернатив гвинтових робочих органів змішувачів та конструкцій змішувального обладнання.

7. У дисертаційній роботі зустрічаються окремі не цілком коректні термінологічні звороти та граматичні помилки, відхилення від встановленої технічної термінології та поодинокі описки.