Відгук

офіційного опонента,

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри аграрної інженерії Луцького національного технічного університету Дідуха Володимира Федоровича на дисертаційну роботу Гудя Віктора Зіновійовича «Механіко-технологічні основи розробки багатофункціональних секційних шнеків для зернового матеріалу»,

що представлена до спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

1. Актуальність теми дослідження

Становлення співвідношення галузей рослинництва та тваринництва як 70:30 і надання галуззі рослинництва переваг у виробництві сільськогосподарських культур зернової групи, використання при цьому високопродуктивної збиральної техніки, вимагає розв'язання проблеми із створення технічних засобів при виконанні технологічних операцій з перевантаження великих об'ємів зернового матеріалу.

Подані до захисту результати дисертаційного дослідження спрямовані на вирішення наукової проблеми розробки високоефективних багатофункціональних гвинтових систем. Для цього необхідні нові методологій їх проектування та конструктивного і технологічного удосконалення на базі розвитку механіко-технологічних основ шнекових механізмів. У багатьох сільськогосподарських машинах та обладнанні основними завантажувально-розвантажувальними, змішуючими та сепаруючими робочими органами є гвинтові механізми, які забезпечують переміщення, змішування та сепарацію сільськогосподарських матеріалів. Вони є конструктивно нескладними та надійними в експлуатації, можуть агрегатуватись з іншим обладнанням, конвеєрами. Проте основним недоліком цих механізмів є порівняно низька продуктивність і обмежені технологічні можливості. Збільшення продуктивності викликає ризик появи резонансу та виходу з ладу обладнання.

Тому, підвищувати ефективність гвинтових механізмів у сільськогосподарському виробництві треба у напрямі створення та використання багатофункціональних секційних шнеків і надання їх функцій технологічного перетворення через мобільну зміну траєкторії перевантаження матеріалів. Це можна реалізувати за рахунок розширення технологічних можливостей шнеків та передбачити у їх конструкції принцип роботи телескопа. З іншої сторони, не повністю дослідженні можливості виконання шнеками процесів сепарування та змішування.

Дисертаційна робота Гудя В.З. спрямована на вирішення важливої науково-прикладної проблеми – розроблення наукових основ розробки багатофункціональних гвинтових систем, які включають секційні шнеки, що дозволяють поєднувати технологічні операції та розширюють їх технологічні можливості за рахунок зміни довжини та траєкторії траси і, відповідно, розширенням сфери обслуговування у сільськогосподарському виробництві.

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
Вхідний № 1128-493
«08» 04 2021 р.
Підпис

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх вірогідність та повнота викладу в опублікованих працях

Наукові положення, висновки і рекомендації, які викладені в науковому дисертаційному дослідженні, є достатніми та належним чином обґрунтованими. Для їх узагальнення автором проведено необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, розроблено відповідні методики, опубліковано отримані результати, та одержано патенти на винаходи. У роботі чітко сформульована проблема і запропоновано шляхи її вирішення.

Теоретичні дослідження проведені з використанням методів і принципів механіки, теорії машин і механізмів, конструювання деталей машин, основних ідей методів Бубнова-Гальоркіна та Ван-дер-Поля, адаптування хвильової теорії руху та асимптотичних методів нелінійної механіки. У сукупності вказане дозволило встановити закономірності зміни основних динамічних параметрів багатофункціональних секційних шнеків. Експериментальні дослідження виконано із застосуванням загальновідомих методик з використанням математичних методів раціонального планування багатофакторного експерименту. Такі експерименти проведені на спеціально спроектованому і виготовленому обладнанні та устаткуванні. Оброблення отриманих даних експериментальних масивів здійснено статистичними методами з використанням пакетів прикладних програм аналізу даних.

Висновки до дисертаційної роботи є достовірними і підтверджуються результатами досліджень. Зокрема дані наведені в пунктах 3 - 6 підтверджені результатами теоретичних досліджень, у пунктах 2, 7 і 8 підтверджені результатами теоретичних та експериментальних досліджень, у пунктах 9 - 12 отримано на основі експериментальних досліджень і підтверджено деклараційними патентами України на винаходи.

Основні положення та результати дисертації опубліковано в 2-х монографіях, 25 наукових статтях у фахових виданнях (6 з яких включено до наукометричних баз Scopus, Web of Science та Index Copernicus, 2 з них – одноосібні), 23 матеріалах і тезах наукових конференцій (5 одноосібних), 24 деклараційних патентах України на винаходи (2 одноосібних).

3. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Набуло подальшого розвитку генерування альтернатив багатофункціональних секційних шнеків з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів за окремими типами виконання операцій при використанні структурно-схемного синтезу ієрархічних груп.

2. Вперше розроблено математичні моделі динаміки системи «телескопічний шнек – сипке середовище» і досліджено динамічні процеси, які відбуваються в роботі телескопічних гвинтових транспортерів сільськогосподарських сипких матеріалів за наявності нерезонансних та резонансних коливань.

3. Вперше розроблено математичні моделі динаміки системи «гвинт шнекового транспортера – зернова суміш» з процесом сепарації і проведено

дослідження процесу одночасного транспортування та сепарації зернової суміші гвинтовим конвеєром із встановленням впливу різних значень параметрів даної системи на цей процес.

4. Вперше розроблено математичні моделі динаміки згинальних коливань шнека крутонахиленої вітки гвинтового завантажувача-змішувача зі встановленням впливу різних значень параметрів даної системи на амплітудно-частотну характеристику.

5. Набули подальшого розвитку моделі процесу змішування сільськогосподарських сипких матеріалів гвинтовим завантажувачем-змішувачем із встановленням впливу конструктивно-технологічних та експлуатаційних параметрів на цей процес.

4. Практичне значення одержаних результатів

На базі розроблених математичних моделей обґрунтовано засади визначення конструктивно-кінематичних і силових параметрів багатофункціональних секційних шнеків та їх елементів.

На основі проведених структурно-схемних синтезів розроблено нові типи гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни довжини та траєкторії транспортування матеріалів за окремими типами виконання операцій (для повздовжнього переміщення сільськогосподарських вантажів, їх змішування, дозування, калібрування чи сепарування, пресування чи вичавлювання, подрібнення, зміни довжини траси перевантаження, зміни кута нахилу перевантаження, одночасного забору з різних місць чи одночасної подачі у різні місця вантажів), згенеровано конструкції телескопічних гвинтових конвеєрів та змішувачів з гвинтовими робочими органами (транспортерів-змішувачів і змішувачів з циклічним принципом роботи), гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами, пружно-запобіжних муфт гвинтових конвеєрів. Розроблено та проведено випробовування нових типів багатофункціональних секційних шнеків із встановленням їх конструктивно-технологічних параметрів, в результаті чого підтверджено ефективність їх застосування при транспортуванні та перетворенні сільськогосподарських сипких матеріалів.

Технічна новизна розробок багатофункціональних секційних шнеків захищена 24 деклараційними патентами України на корисні моделі. Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації: впроваджено у ТДВ «Булат» (при виготовленні пристрою для навивання гвинтових спіралей обертовою втулкою), СФНВГ «Коваль» (при виготовленні і використанні гвинтового мобільного транспортера; телескопічного гвинтового завантажувача; телескопічного гвинтового транспортера; гвинтового преса), ФОП «Рудан А.М.» (при випробуванні гвинтового пересувного змішувача), ФОП «Ковальчук Л.М.» (при випробуванні гвинтового розходоміра), ТОВ «Портовик-С» (при випробуванні гвинтового конвеєра для одночасного роздільного транспортування різних сипких матеріалів), ТОВ «СУГП ІМТРЕКС» (при випробуванні гвинтового конвеєра зі змінним діаметром кожуха); використовуються в навчальному процесі при вивченні дисциплін: «Деталі машин і ПТО», «Наукові дослідження і теорія експерименту» у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя.

5. Оцінка змісту роботи в цілому

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації – 410 стор., у тому числі 112 рисунків, 30 таблиць, список використаних літературних джерел з 514 найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету роботи та сформовано задачі досліджень. Представлено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, а також дані про апробацію результатів роботи та публікації, що відображають основний зміст дисертації.

У першому розділі проаналізовано стан досліджень гвинтових конвеєрів для виконання транспортно-технологічних операцій в сільськогосподарському виробництві. Проведений аналіз гвинтових механізмів з можливостями мобільної зміни траєкторії перевантаження сільськогосподарських матеріалів показав, що сучасні гвинтові механізми володіють низькою мобільністю при зміні напрямку та довжини перевантаження, а також вимагають значних витрат часу на перекомплектацію за потреби забезпечення цих змін. У результаті проведеного аналізу досліджень використання гвинтових робочих органів в сільськогосподарському виробництві визначено шляхи підвищення ефективності їх функціонування шляхом створення і дослідження телескопічних та інших мобільних конструкцій БСШ(багатофункціональних секційних шнеків) з розширеною зоною подачі матеріалу.

В актуальності теми варто було б сформулювати наукову гіпотезу.

У другому розділі проведено структурно-схемні синтези секційних шнеків для виконання транспортно-технологічних операцій з можливістю мобільної зміни довжини і траєкторії переміщення сільськогосподарських матеріалів, що дозволило згенерувати конструкцій шнекових механізмів з конкретним функціональним призначенням чи їх поєднанням. На базі розроблених принципів методології синтезу гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів згенеровано їх конструкції, зокрема телескопічних секційних шнеків, гвинтових змішувачів різних типів, гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами.

На рисунку 2.2 (стр.102) можна виділити чотири підрисунки, що сприяло б можливості їх збільшення, відтак і сприйняття.

У третьому розділі «Динамічні процеси в секційних гвинтових транспортерах-сепараторах сільськогосподарських сипких матеріалів» проведено дослідження динамічних явищ у системі «телескопічний гвинт - сипке середовище» в робочому режимі телескопічного гвинтового транспортера-сепаратора і побудовано математичну модель динаміки системи «гвинт шнекового транспортера – зернова суміш та процес сепарації».

Зокрема побудовано математичну модель динаміки системи «телескопічний шнек – сипке середовище», в результаті використання якої отримано умови існування у телескопічному шнеку резонансних і нерезонансних коливань та аналітично описано закономірності зміни вказаних коливань. Для різних кутових швидкостей обертання шнека досліджено закономірності зміни в часі амплітуди затухаючих коливань. Досліджено резонансні коливання, які зумовлені

зовнішніми періодичними силами та малими крутильними коливаннями телескопічного гвинта. Математично описано динаміку вказаної системи «гвинт шнекового транспортера – зернова суміш» з процесом сепарації. Аналізом отриманих співвідношень встановлено, що: поздовжній рух зернової суміші вздовж гвинта шнека зменшує його власну частоту коливань; процес переміщення зернової суміші із її сепарацією збільшує частоту власних коливань, причому для більшої інтенсивності процесу сепарації ріст власної частоти є більшим; цей процес супроводжується зростанням амплітуди проходження через резонанс, а відтак - інтенсифікує сепарацію.

Не зрозуміло, у математичній моделі динаміки системи «гвинт шнекового транспортера – зернова суміш» з процесом сепарації як враховано вплив розмірів сита на збурення коливань. Чи є обов'язковим застосування телескопічного шнекового транспортера при виконанні процесу сепарації?

Четвертий розділ «Теоретичні дослідження процесів транспортування та змішування сипких сільськогосподарських матеріалів гвинтовим завантажувачем-змішувачем» присвячено побудові математичних моделей коливань шнека крутонахиленої вітки гвинтового завантажувача-змішувача та моделюванню змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами.

Побудовано математичну модель згинальних коливань шнека крутонахиленої вітки гвинтового завантажувача-змішувача й встановлено, що власна частота згинальних коливань крутонахиленої вітки шнека значною мірою залежить від кутової швидкості його обертання, погонної маси сипкого середовища та її довжини.

У розділі представлено розроблену модель процесу неперервного змішування сипких компонентів дозволила зменшити кількість варіантів пошуку раціональних конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів при їх структурно-параметричному синтезі, що, у свою чергу, дозволило запропонувати нову конструкцію ГКЗ із перфорованою зовнішньою крайкою гвинтової стрічки. Ця конструкція ГКЗ дозволяє в 1,5 раз зменшити коефіцієнт неоднорідності суміші порівняно із суцільним гвинтом, забезпечує високу згладжуючу здатність при на коротких ГКЗ (в 1,5-2 рази меншої довжини) та мінімізує тим самим їх енерго - та металоємність.

Варто було б дати означення «крутонахиленої вітки». Напевно, тут важливим є кут нахилу її до горизонталі та вплив його на якість змішування?

У п'ятому розділі роботи представлено програму, методику та устаткування для виконання експериментальних досліджень багатофункціональних секційних шнеків. Зокрема розроблено методики проведення випробувань з визначення продуктивності переміщення, величини крутного моменту та витрат потужності при перевантаженні сільськогосподарських матеріалів телескопічним гвинтовим конвеєром та гвинтовим завантажувачем з пересипом. Також розроблено методики проведення експериментальних досліджень процесів сепарування та змішування сільськогосподарських матеріалів багатофункціональними секційними шнеками.

З метою виконання експериментальних досліджень багатофункціональних секційних шнеків на основі аналізу наукових літературних джерел та проведеного синтезу було спроектовано і виготовлено експериментальне устаткування з

електроприводом керованим перетворювачем частоти, який забезпечував, у процесі проведення випробувань, відображення відповідних експериментальних даних на моніторі персонального комп'ютера у вигляді табличних даних та графічних залежностей.

При плануванні факторних експериментів відсутнє будь яке значення властивостей матеріалу, напр. щільність ρ, *кг/м*^{3} – результати у п. 6.2.- 6.4. А при плануванні експерименту з сепарації – вплив параметрів сепаруючого решета(результати 6.5) на визначення E.

У шостому розділі представлено результати проведення дослідження процесів видовження секційних телескопічних шнеків, які показали, що час викочування чи закочування секцій шнека залежить від частоти його обертання, а кут нахилу вітки при цьому має незначний вплив на даний процес.

Також виконано експериментальні дослідження секційних шнеків з використанням математичного планування експерименту за планом ПФЕ 3^3 і отримано ряд рівнянь регресії. Оброблення результатів багатофакторного експерименту показало, що: продуктивність перевантаження гвинтовим завантажувачем з пересипом зростає із збільшенням частоти обертання шнека, а збільшення кута нахилу транспортера призводить до її зниження; із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу секційних телескопічних шнеків величина крутного моменту на приводі шнека зростає, як і зростає величина витрат потужності.

Дослідження ефективності сепарування сільськогосподарських матеріалів багатофункціональним гвинтовим транспортером-сепаратором показало, що зі збільшенням кута нахилу робочого органа при сталому питомому навантаженні ефективність просівання зменшується. Енергоємність сепарації зернової маси залежить від кута нахилу, частоти обертання робочого органа при транспортуванні матеріалу та питомого навантаження.

Експериментально встановлено, що при змішуванні сільськогосподарських компонентів багатофункціональним гвинтовим транспортером-змішувачем з пересипом неоднорідність сумішей зростає у вигляді лінійних залежностей із збільшенням частоти обертання лопатевих шнеків від 198,8 до 482,8 об/хв.. Встановлено, що найвища неоднорідність буде при змішуванні суміші спіральним шнеком. Дещо знижується при зростанні кута відхилення лопатей у лопатевих шнеках. При використанні спіралей з різнонаправленим кутом відхилення лопатей вона є загалом найменшою. Таким чином, це вказує на доцільність використання шнеків з різнонаправленим кутом відхилення лопатей. Розходження між теоретичними даними та експериментальними результатами не перевищує 12 %.

У п. 6.1 важливо було б вказати величину викочування – закочування рухомої частинки секційного шнека. Не зрозуміло, чому значення крутного моменту при закочуванні більші, ніж при викочуванні, адже кут нахилу мав би сприяти його зменшенню.

Сьомий розділ присвячено розробці інженерної методики проектування багатофункціональних секційних шнеків та їх техніко-економічній оцінці. Зокрема, наголошено на специфіці проектування багатофункціональних секційних шнеків з врахуванням функціонального їх призначення. До таких

технологічних операцій здобувач відносить: переміщення, змішування, дозування, калібрування і сепарування, нагнітання і пресування, подрібнення; запропонована методика проектування шнеків із можливостями мобільної зміни довжини та траєкторії перевантаження; представлено і охарактеризовано розроблені та запатентовані перспективні конструкції багатофункціональних секційних шнеків; базові аспекти, пов'язані з їх технологічністю; розроблену інженерну методику розрахунку елементів захисту шнеків від перевантажень.

Виконано техніко-економічну оцінку багатофункціональних секційних шнеків та встановлено залежність їх вибору серед альтернативних варіантів. Наведено впровадження конструкцій багатофункціональних секційних шнеків у сільськогосподарському виробництві створених на базі запатентованих винаходів.

Чи вартує висвітлювати у висновках результати досліджень(п. 1 і 2), які не увійшли у розділ і вважаються як додаткові?

6. Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату у достатній мірі відображає основні положення та результати дисертаційної робот, висновки в дисертації та авторефераті повністю ідентичні.

7. Основні зауваження по роботі

1. На сторінці 135 $\varepsilon f(...)$ та $\varepsilon g(...)$ періодичні за γ функції(ф. 3.1), які описують нелінійні складові сил(відновлювальної, опору, інших). Яка природа вказаних функцій $\varepsilon f(...)$ та $\varepsilon g(...)$ не наголошено.

2. На сторінці 136 дисертаційної роботи представлено математичну модель складних коливань гвинта: згинальних та крутильних. Крутильні описуються наперед відомою функцією (залежність (3.4), сторінка 137). Залишається не зрозумілим, на основі яких міркувань отримано вказане співвідношення і за яких припущень.

3. Заслуговує на увагу математична модель процесу транспортування зернової суміші із одночасною сепарацією: (3.29), (3.30). Однак, залишається незрозумілим, чому розподіл погонної маси вздовж шнеку описується лінійною залежністю: сторінка 163. З яких міркувань вибрано саме такий закон, до того ж, система функцій, яка описує форму коливань цього ж шнека, містить цей же параметр k.

4. Залежність для визначення коефіцієнта неоднорідності суміші(ф. 4.45, с.205) додатково включає складову V_{Cw} від сегрегації суміші. Але, не розкрито, які фактори на неї впливають і як її визначити.

5. В авторефераті в залежності (23) не розкрито значення параметру. Окрім того, у дисертації, даний параметр означений як φ_T.

6. В дисертації процес змішування експериментально досліджувався на стенді гвинтового двосекційного завантажувача з пересипом, рис. 6.28. Проте із теоретичної моделі змішування не зрозуміло, як впливає пересип на процес змішування та яким чином враховується двосекційне виконання змішування.

7. В роботі при дослідженні телескопічних шнеків не встановлено, яка можлива максимальна довжина їх видовження. Також не пояснено, чому значення крутного моменту при закочуванні більші, ніж при викочуванні, адже кут нахилу

мав би сприяти його зменшенню/

8. У п. 10 висновків сказано, що ефективність процесу сепарації сільськогосподарської продукції багатофункціональним гвинтовим транспортером-сепаратором здійснюється при куті нахилу останнього до горизонту до 14 град. Проте не вказано, з яких міркувань вибиралась ця величина і для яких культур.

9. У роботі, навіть у одному підрозділі, зустрічаються позначення різних величин одними і тими ж символами: у залежності (3.4) амплітуда крутильних коливань позначена символом *h* і в той же час нижче у розшифруванні символів формули позначена *a*, крім цього у формулі (3.7), сторінка 138 *a* - амплітуда прямої та відбитої хвиль. Подібні недоречності зустрічаються і в інших місцях: у вступі в практичному значенні отриманих результатів відзначено, що технічна новизна розробок захищена 26 деклараційними патентами України на КМ, в особистому внеску здобувача зазначені 2 авторських свідоцтвах на винаходи, яких взагалі не існує, а в публікаціях зазначено цифру 24; розмірності на окремих рис. відсутні, повтор у літературі позицій 106 =114, тощо.

8. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Гудя Віктора Зіновійовича на тему: «Механіко-технологічні основи розробки багатофункціональних секційних шнеків для зернового матеріалу» є завершеним науковим дослідженням. Тема, зміст дисертації і автореферату відповідають паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

За актуальністю і науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень, практичних результатів, ступенем апробації результатів дослідження на конференціях і в фаховій літературі представлена дисертаційна робота повністю відповідає існуючим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук і п. 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 (зі змінами), та всім вимогам МОН України до докторських дисертацій, а її автор, Гудь Віктор Зіновійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент, доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри аграрної інженерії
Луцького національного
технічного університету В.Ф. Дідух

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНА код в ЄДРПОУ 05477296

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ:
Учений секретар
ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
доц. А.Земко