

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Державного біотехнологічного університету
доктору технічних наук, професору
Антощенкову Роману Вікторовичу

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Зеленського Андрія Петровича**
на тему **«Розробка та обґрунтування параметрів індивідуального
вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки»**, яку
представлено на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань
13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування

На основі аналізу дисертаційної роботи **Зеленського А.П.** на тему **«Розробка та обґрунтування параметрів індивідуального вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки»** встановлено і, відповідно, підтверджено її наукову актуальність, обґрунтованість положень, новизну та достовірність отриманих результатів. Також встановлена практична цінність пропозицій рекомендованих за результатами дисертаційної роботи та зроблено загальний висновок про значущість проведеного дослідження.

Актуальність теми дисертаційної роботи

Розглядаючи умови підвищення ефективності рослинництва можна стверджувати, що розвиток технологій сівки є одним із найважливіших питань. Посів, як технологічний процес повинен забезпечувати: висів заданої кількості насіння на одиницю площі, рівномірне розміщення його по полю та заробку на задану глибину. В значній мірі, якість посіву залежить від стану підготовки поля, сівалки та її агрегатів, а саме висівних апаратів пневматичної системи та сошників. Стабільна робота пневматичних висівних апаратів залежить від якісної роботи пневматичної системи сівалки. Добірну роботу пневматичної системи забезпечують трубопроводи та відцентровий радіальний вентилятор, який створює вакуум в пневматичній системі сівалки, потрібний для роботи висівних апаратів. Через різні режими роботи пневматичної системи, використання посівних дисків різної конструкції із різним діаметром і кількістю отворів виникають проблеми налаштування пневматичної системи, зокрема режимів роботи вентилятора. Отже вибір та

стійка робота вентилятора в пневматичній системі за різних граничних умов є важливим завданням.

З поширенням сумісних посівів насіння різних культур в рамках нової систем землеробства MixCropp виникають нові завдання щодо створення сучасних конструкцій посівних машин, які б задовольняли мінливим умовам землеробства. Таким чином, здобувачем, в рамках даної дисертаційної роботи, запропоновано концепцію нової архітектури сівалки точного висіву. Запропоновано кожен висівний апарат облаштувати індивідуальною пневмосистемою, у тому числі встановити індивідуальний відцентровий вентилятор. Вирішення цього завдання сприятиме більш стабільній роботі висівного апарату, широкому діапазону регулювання, зменшенню втрат, майже відсутності в результаті зменшення довжини трубопроводів, спрощенню налаштування під різні культури та незалежність регулювання інтенсивності повітряного потоку в рамках використання під час сумісних посівів просапних культур. Тому дисертаційна робота, яка присвячена дослідженню характеристик роботи пневматичної системи та розробці і обґрунтуванню параметрів нової концепції, яка ґрунтується на використанні індивідуального вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки є безсумнівно **актуальною задачею**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження, проведені в рамках дисертаційної роботи, виконувались у Державному біотехнологічному університеті в рамках науково-дослідних робіт кафедри оптимізації технологічних систем: «Розробка та автоматизація механізованих і технологічних систем рослинництва», 0118U003319, 2018 - 2022 рр.; «Наукове обґрунтування, проектування, оптимізація технічних і технологічних систем та процесів агропромислового виробництва», 0113U008229, 2023-2027 рр.

Оцінка змісту, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка розкриває головні ідеї та здобутки здобувача, структура є логічною та типовою для такого характеру робіт. Отже, дана робота Зеленського А.П. написана українською мовою з використанням термінології притаманній даній області наукових досліджень та відповідає загальному стилю.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури зі 167 найменувань, 2 додатків. Основний зміст роботи викладено на 200 сторінках машинописного тексту, включаючи 69 рисунків, 20 таблиць. Загальний об'єм дисертаційної роботи відповідає вимогам.

Вступ відображає наведену загальну характеристику даної роботи, обґрунтування обраної теми, визначена актуальність дослідження, розкритий зв'язок з науково-дослідницькими програмами кафедри оптимізації технологічних систем, сформульована мета, методи, завдання, визначено об'єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, визначено особистий внесок та представлені дані апробації здобутків.

Перший розділ показує аналіз відомих науково-інженерних рішень, розвитку висіву сільськогосподарських рослин, а саме просапних культур. Проаналізовані якісні показники насіння просапних культур. Визначені основні напрямки дослідження параметрів повітряних потоків в висівному апараті та їх вплив на процес транспортування й дозування висівного матеріалу. Визначено задачі по стабілізації й можливості керування повітряним потоком для підвищення контролю й регулюванню процесами відбору і транспортуванню висівного матеріалу пневматичною системою. На основі проведеного аналізу розроблено напрямок подальшого дослідження з огляду на вищезазначене та сформульовано мету та задачі для подальшого вирішення. Здобувачем запропоновано провести повну автономізацію пневматичної системи в контексті кожного висівного апарату, відмовитись від центральної ВРВ з його довгими пневматичними магістралями та перейти до застосування індивідуальної, незалежної пневматичної системами зі своїм ВРВ. Та перейти до створення комплексного методу розрахунку основних елементів пневматичної системи на основі оптимізаційних алгоритмів та методів обчислювальної гідродинаміки.

Другий розділ присвячений розгляду математичного моделювання робочого процесу пневматичної підсистеми висівного апарату. Приділена увага розгляду впливу повітряного потоку на елементи пневматичної системи побудованої за новою архітектурою. Висвітлена характеристика мережі пневматичної системи та визначена робоча ділянка ВРВ, що лежить в діапазоні об'ємної витрати повітря $G_v = 0,016 \dots 0,048 \text{ м}^3/\text{с}$. Розглянуто методи регулювання режимів роботи ВРВ та їх вплив на оптимальну, робочу точку, відповідно до напірної-характеристики. Визначені втрати пневматичної системи сівалки та методи їх зниження. Приділено увагу поведінці повітряного потоку в міжлопатковому просторі робочого колеса(РК). Запропоновано розрахункову схему проточної частини нової архітектури пневматичної системи побудованої за блочним типом. Визначені попередні геометричні та кінематичні параметри індивідуального відцентрового радіального вентилятора(ІВРВ). Представлений метод

мінімізації втрат у зоні максимального ККД, та окреслено вид конструкції ІВРВ з ККД вентилятора, що становить 64 %.

Третій розділ присвячений теоретичному обґрунтуванню обчислювального експерименту. Визначені основні аналізовані фактори та рівні, а також передбачуваний результат проведених досліджень. В результаті, проведених експериментів та зробленого аналізу, отримано рівняння регресії у вигляді полінома другого ступеня, що дало можливість отримати оптимальні параметри ІВРВ. Встановлено, що частота обертання РК (n) – 1470 рад/с, вхідний кут РК (β_1) – 64° , вихідний кут РК (β_2) – 125° та кількість лопаток РК ($z_{РК}$) – 21 шт, а масова витрата повітря (G_m) в діапазоні від 0,029 до 0,045 кг/с. В подальшому, здобувач, на основі отриманих даних, провів тривимірне моделювання процесів перебігу повітряного потоку у проточній частині використовуючи програмному комплекс ANSYS. Показавши володіння чисельними методами обчислювальної гідродинаміки з обґрунтуванням вибору математичної моделі та вибору моделі турбулентності, завдання граничних умов. Чисельні розрахунки у середині проточної частини дали можливість перейти до встановлення зав'язків параметрів ВА та ІВРВ та перейти до розгляду компоновки майбутньої ПССБТ. В рамках цього розділу представлено концепцію дослідницького стенду в контексті ВА та ІВРВ. Проведено планування факторного експерименту математичної моделі пневматичної системи сівалки блочного типу (ПССБТ) із різними кінематичними, геометричними та газодинамічними параметрами. Отримане рівняння регресії у вигляді полінома другого ступеня дало розуміння процесу створення статичного тиску p_{sv} в діапазоні масової витрати повітря (G_m) від 0,031 до 0,037 кг/с. Аналіз рівняння та поверхонь відгуку та визначення координат екстремальних точок показали оптимальні параметри ПССБТ і дало можливість здійснити попереднє проектування моделі. Оптимальні параметри для ПССБТ є такими: n – частота обертання РК ІВРВ, становить 1470 рад/с; $d_{отв}$ – діаметр отворів висівного диску, становить 5,5 мм; $z_{кл}$ – кількість працюючих отворів перепускного клапану, становить 3 шт; $z_{диска}$ – кількість працюючих отворів на висівному диску, становить 11 шт; G_m – масова витрата повітря ІВРВ становить 0,034 кг/с. Представлена методологія є важливою ланкою для подальшого практичного застосування.

Четвертий розділ повністю присвячений дослідженню перебігу повітряного потоку в проточній частині ПССБТ. Здобувачем представлена програма лабораторних досліджень, вивчено поведінку та вплив повітряного потоку на елементи пневматичної системи. Проаналізовано поведінку

повітряного потоку у проточній частині ВРВ на основі класичних рівнянь газодинаміки. Здійснено аналіз статичного тиску ПССБТ за допомогою програмного комплексу ANSYS. Для дослідження тривимірного перебігу повітряного потоку в проточній частині ПССБТ, здобувач показав володіння програмним комплексом Solidworks. Досліджено зміну значень ентропії повітряного потоку в елементах проточної частини, встановлено, що від виходу повітряного потоку з отворів висівного диска, перед входом повітряного потоку в РК, зміна значення ентропії повітряного потоку дорівнює приблизно $-2,77 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, а це показує поведінку системи, де вона бере частину енергії для переміщення повітряного потоку від РК. Для вирівнювання течії повітряного потоку в середині патрубку, перед входом у ВРВ, здобувачем запропоновано поставити спрямляючі лопатки. Проаналізовано вплив геометричних елементів РК на рівень вихрових втрат. Визначено, що істотно впливають як газодинамічні, так і геометричні параметри, що призводять до втрат економічності вентилятора в цілому. Зменшення таких втрат досягається оптимальним кутом атаки, «безударним» входом повітря, що здобувач продемонстрував в ході досліджень та рекомендацій по удосконаленню архітектури решітки РК за допомогою оптимального вибору вхідних та вихідних кутів, встановлення спрямляючих лопаток та кокіля. Такі зміни в конструкції дали можливість підвищити швидкість повітряного потоку в отворах висівного диска від 37,61 до 56,77 м/с, а статичний тиск у отворах 96149,60 Па.

П'ятий розділ присвячений аналізу ефективності застосуванню модульної пневматичної системи. Запропонований, здобувачем, варіант де висівний апарат(ВА) з індивідуальним електроприводом та обладнаний індивідуальною пневматичною системою на основі ІВРВ теж зі своїм електроприводом, індивідуальним перепускним клапаном і датчиками контролю, що знаходяться в єдиній системі контролю посівної машини, що дає суттєву перевагу під майбутню систему землеробства Міх-Сторр, яка передбачає домінування змішаних (сумісних) посівів, коли на одній площі одночасно вирощують декілька сільськогосподарських культур. В цьому розділі, здобувач, провів ретельне дослідження техніко-економічних показників роботи ІВРВ з клапаном регулювання витрати повітря та без нього, що показало, при мінімальному значенні витрати повітря G_m (в робочому діапазоні) значення тиску p_{sv} на 3,28% у вентиляторі нової конструкції менше, при оптимальному значенні витрати повітря G_m значення тиску p_{sv} на 5,39% у вентиляторі нової конструкції з перепускним клапаном більше. Впровадження змін в конструкції призведе до покращення якості

присмоктування насіння до отворів висівного диска і як наслідок – до росту якості висіву.

Висновки по роботі сформовані чітко як з теоретичної, так і з практичної точки зору й повністю пояснюють узагальнений результат здобутий в ході науково-дослідницької дисертаційної роботи та надають рекомендації виробництву, відповідають вимогам, що висуваються на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури показує плідну роботу здобувача та повною мірою охоплює предметну галузь.

Додатки до роботи містять акти впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво, що підтверджує значимість одержаних результатів.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукову новизну отриманих результатів досліджень становить:

- вибір оптимальної конструкції ІВРВ, встановлено функціональні взаємозв'язки між геометричними, газодинамічними та кінематичними параметрами ІВРВ та створюваним повним тиском у робочій камері висівного апарату сівалки;

- одержано рівняння регресії, що пов'язує такі фактори: масову витрату повітря ПССБТ, діаметр отворів висівного диску, кількості працюючих отворів висівного диску та отворів перепускного клапану, частоти обертання РК ІВРВ;

- встановлено функціональні взаємозв'язки між геометричними та раціональними значеннями режимних параметрів роботи облаштованого ІВРВ висівного апарату в залежності від якісних показників процесу присмоктування посівного матеріалу до поверхні висівного диску, обґрунтовано запропоновану нову конструкцію модульної висівної системи просапної сівалки;

- встановлено залежності стабілізації параметрів вакууму в робочій камері висівного апарату, що пов'язують їх із конструктивними та регульованими параметрами перепускного клапану.

Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність отриманих результатів та висновків забезпечується чіткою постановкою задачі з використанням основних законів, теорій, моделей та методів точного чи наближеного чисельного розв'язання проблем, а також порівняння результатів отриманих різними способами та методами. Обґрунтування та достовірність наукових результатів підтверджується використанням апробованих в газовій динаміці чисельних та аналітичних методів по розв'язанню задач, що описують рух повітряного

потоків, аналізом результатів моделювання з наявними експериментальними даними, а також з досвідом практичного впровадження.

Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Практичне значення результатів дисертаційної роботи є:

- обґрунтована та реалізована нова архітектура конструкції модульної висівної системи просапної сівалки ПССБТ, яка дала підтвердження застосування такого підходу до розширення можливості конструювання нових конструкцій посівних машин;

- розроблена модель ПССБТ, з індивідуальними приводами та системами контролю в рамках загальної автоматизованої системи посівної машини дає можливість більш широкому діапазоні компоновки сівалки під сучасні методи землеробства, що базуються на сумісних посівах декількох культур;

- отримані результати, в ході використання методів експериментальних досліджень, дали можливість висунути рекомендації щодо вдосконалення сучасних сівалок просапних культур, що були використано при модернізації центрального вентилятора пневмосистеми сівалки VEGA 8 PROFI виробництва АТ «Ельворті», а також всі здобутки дисертаційної роботи можна використовувати у навчальних курсах «Сільськогосподарські машини».

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Матеріали основних розділів дисертації викладено у логічній послідовності, що відповідає сформульованим завданням дослідження та дозволяє послідовно розкрити суть проведеної наукової роботи та обґрунтувати отримані результати

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Дисертація Зеленського А.П. базується на достатній кількості публікацій – 23 наукових працях: в 4 наукових статтях фахових видань; у 3 – закордонних виданнях, що включені до міжнародної бази даних Scopus; у 16 тезах доповідей. Результати та матеріали оприлюднені у наукових публікаціях не мають порушень принципів академічної доброчесності та плагіату. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

Недоліки, зауваження та побажання до дисертаційної роботи

До вступу не має зауважень.

1. На рисунку 1.3. не відображено особливості приводу сучасних висівних апаратів (механічний, електричний, груповий, індивідуальний і т.д.).

2. На рисунку 1.7. останній пункт стосується «скидання насіння в борозенку», а на справді тут мають бути варіанти: «в борозенку, в насіннєспровод, в механізм транспортування (SpeedTube – швидкісна висівна трубка) і т.д.»

3. Матеріал п. 2.3. значною мірою відомий, а тому його варто було б перенести в перший розділ.

4. На стор. 66 наведено «Рисунок 2.7 – Рисунок робочого колеса...». На стор. 68 наведено «Рисунок 2.8 – Рисунок швидкостей...». Не варто двічі повторювати слово «рисунок».

5. Автор постійно оперує рівняннями регресії в кодованому вигляді, а варто було б діяти навпаки, спочатку декодувати (вираз (3.56)) і вже потім аналізувати. Це суттєво утруднює розуміння процесів, які вивчає автор.

6. Другий пункт висновків до третього розділу не несе ніякої наукової і практичної інформації, яка може бути цікавою для інших дослідників.

7. При наборі математичних позначень та формул для функцій не прийнято використовувати курсив. Тобто замість «*max*» та «*min*» (стор. 22) треба друкувати «max» та «min». Замість «*const*» (стор. 71, 113, 116, 135, 137, 140) треба писати «const». Замість «*variables*» (стор. 113, 116) треба писати «variables».

8. На графіках 5.8; 5.9; 5.10; 5.11; розмірність кількості обертів робочого колеса позначена в (шт.), а згідно вимог – об/хв; об/с, або об·хв⁻¹; об·с⁻¹.

9. Загальним недоліком тексту дисертаційної роботи є недостатній аналіз наведених графічних матеріалів.

10. Третій загальний висновок пояснює, що досягнення якісної роботи пневматичної системи спонукає регулюванню роботи ІВРВ, що здійснюється безпосередньо впливаючи на систему, в якій він працює. Переміщення повітря залежить від виду втрат енергії при роботі індивідуального відцентрового радіального вентилятора у пневматичній системі сівалки. Висновок має характер констатації факту виконаної роботи.

11. Загальні висновки переобтяжені. Більшість із них варто було б, або розділити, або викласти в більш компактній і, відповідно, більш зрозумілій формі.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Зеленського Андрія Петровича на тему «Розробка та обґрунтування параметрів індивідуального вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки» є завершеним науковим дослідженням, що відзначається науковою новизною, важливими теоретичними та практичними значеннями. Дана робота виконана на високому науковому рівні та відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 та є завершеною науковою працею, а опубліковані наукові праці у повній мірі відображають її зміст. Дисертаційна робота повністю відповідає знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 133 – Галузеве машинобудування галузі.

Отже, вважаю, що дисертаційна робота здобувача Зеленського Андрія Петровича на тему «Розробка та обґрунтування параметрів індивідуального вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки» може бути допущена до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді, а здобувач заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування галузі знань 13 – Механічна інженерія.

Рецензент

професор кафедри агроінженерії
Державного біотехнологічного університету,
доктор технічних наук, професор

Микола АРТЬОМОВ