

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

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора кафедри агроінженерії, Державного біотехнологічного університету **Козаченка Олексія Васильовича** 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»

Актуальність теми дисертаційної роботи. Актуальність обумовлена ефективністю точного землеробства в контексті використання сучасних технологій висіву сільськогосподарських культур та отримання максимальної врожайності з одночасним збереженням потенціалу господарчих угідь. Аналіз технологічного процесу висіву просапних культур дає можливість виділити критерії, що визначають якість висіву: висів заданої кількості насіння на одиницю площі, рівномірне розміщення по полю та закладення насіння на задану глибину. Одним з важливих елементів, що сприяє підвищенню продуктивності висіву є сівалка та її агрегати: висівний апарат, сошник та пневматична система. Надійна робота пневматичних висівних апаратів, в першу чергу залежить від гарантованої роботи пневматичної системи сівалки. Бездоганна робота пневматичної системи

може бути забезпечена якісною роботою повітряних магістралей (трубопроводів) та ефективною роботою відцентрового радіального вентилятора, який створює вакуум для забезпечення стабільної роботи висівних апаратів. Різні режими роботи пневматичної системи, використання різних за конструкцією висівних дисків з різним діаметром, формою і відмінною кількістю отворів та інше, все це сприяє появі нестабільності в роботі вентилятора та системи в цілому. Тому вибір конструкції та стабільна робота відцентрового радіального вентилятора в сукупності з пневматичною системою за різних граничних умов є актуальним завданням.

Одночасний (сумісний) висів насіння різних культур в рамках майбутньої системи землеробства MixCropr сприяв виникненню ідеї створення пневматичної системи блочного типу. Обладнати кожний висівний апарат індивідуальним відцентровим радіальним вентилятором з власною пневмосистемою та приводом, що буде сприяти стабільному та якісному сумісному висіву просапних культур за рахунок керованого та точного способу налаштування.

Отже, автор дисертації зосередився на вивченні поведінки повітряного потоку в пневматичній системі нової конструкції, побудованої за блочною схемою, та приділив увагу розробці та обґрунтуванню параметрів елементів нової концепції, а саме індивідуальному відцентровому вентилятору, пневматичному висівному апарату, що є актуальним завданням в теперішньому часі розвитку сільськогосподарських машин.

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 має обсяг 200 сторінок машинописного тексту на українській мові з використанням науково-технічної термінології, включаючи 69 рисунків, 20 таблиць, а також анотацію викладену двома мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, змісту, додатків та списку використаних джерел, що налічує 167 найменувань, що відповідає вимогам.

У вступі викладено актуальність та обґрунтування теми, загальну характеристику роботи, зв'язок з науковими програмами. Дослідження 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.. Наведено мету та завдання дослідження, методи, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів і особистий внесок здобувача, а також апробацію результатів дисертації. За темою дисертації опубліковано 23 публікації, що є достатньою кількістю: 4 в наукових статтях фахових видань, 3 у закордонних виданнях, що включені до міжнародної бази даних Scopus, 16 тез та доповідей на науково-практичних конференціях.

У першому розділі наведено огляд відомих технологій висіву насіння просапних культур. Загальний огляд відомих конструкцій висівних систем та класифікація просапних сівалок з визначенням і класифікацією висівних апаратів. Приділено увагу пневматичним сівалкам точного висіву та безпосередньо технологічному процесу висіву насіння. Під час аналізу

пневматичної системи сівалки та її агрегатів розглянуто можливість переходу від загальної архітектури побудови пневматичних сівалок, до концепції побудови за модульним принципом. На підставі отриманих уявлень про процеси, що протікають в системах надлишкового тиску, для стабілізації й керування параметрами повітряних потоків автор визначив, як найбільш перспективний напрямок подальше удосконалення пневматичних систем висіву та сконцентруватись на робочому просторі ВРВ та робочій камері ВА.

У другому розділі, автор зосереджується на математичному моделюванні робочого процесу пневматичної підсистеми ВА. Розглядається характеристика пневматичної системи в сукупності ВРВ, трубопроводу, ВА, режими роботи ВРВ. Аналізується загальна характеристика перспективної моделі ІВРВ, класичні методи регулювання ВРВ та енергоефективність його роботи з урахуванням втрат енергії. Запропонована методологія визначення кінематичних та геометричних параметрів РК. Представлені трикутники швидкості поведінки повітряного потоку на вході та виході з РК. Схема алгоритму розрахунку проточної частини ІВРВ ПССБТ дає можливість провести визначення основних геометричних параметрів з урахуванням розрахунків та з використанням набутого досвіду науковцями. Зменшення безпосередньо втрат дало можливість отримати конструкцію вентилятора з ККД 64 %.

У третьому розділі, автор зосередився на теоретичному обґрунтуванню обчислювального експерименту. Представлено стенд дослідження роботи ІВРВ, що допомагає визначити режими роботи виробу та визначити вплив факторів: кінематичних, геометричних та газодинамічних на тиск створюваний ІВРВ. Автором запропоновано провести п'яти факторний експеримент, за результатом отримано рівняння регресії у вигляді полінома другого ступеня. Це дало можливість отримати оптимальні геометричні параметри ІВРВ та провести фізичні

експерименти по оптимізації геометричної форми та провести дослідження газодинамічної структури повітряного потоку в проточній частині з урахуванням тривимірного моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS. Для проведення чисельного дослідження автором обрано ММ турбулентного перебігу однофазного потоку повітря у постановці Ейлера. Рух повітряного потоку моделювався системою рівнянь руху та неперервності, середніх за часом (по Рейнольдсу) з використанням моделі турбулентності повітряного потоку $k - \omega - SST$. Автором запропоновано перейти до розгляду розподілу повітряного потоку та визначення статичний тиск p_{sv} створюване ІВРВ у новій, перспективній архітектурі ПССБТ з використанням перепускного клапану. Для такої системи було вибрано п'ять параметрів які значно впливають на створення статичного тиску. Проведено факторний експеримент, що містив п'ять факторів дослідження та три рівні натуральних значень. За результатами опрацювання ротатбельного дробового факторного експерименту отримано рівняння регресії у вигляді полінома другого ступеня, що описує процес творення статичного тиску в діапазоні масової витрати повітря (G_m) від 0,031 до 0,037 кг/с. За результатами проведеного аналізу одержані оптимальні геометричні параметри елементів ПССБТ: 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.

У четвертому розділі, автор зосередився на дослідженні перебігу повітряного потоку в проточній частині пневматичної системи побудованої за новою архітектурою, блочного типу. Запропоновано сему алгоритм лабораторних випробувань, вимірювання параметрів тиску та температури загальмованого повітряного потоку. Представлено алгоритм

аналізу статичного тиску p_{sv} за допомогою програмного комплексу ANSYS. Отримано характеристику зміни статичного тиску p_{sv} від масової витрати повітря G_m . Автором проаналізовано зміну значень ентропії повітряного потоку в елементах проточної частини, отримано результат, що від виходу повітряного потоку з отворів висівного диска, перед входом повітряного потоку в РК, зміна значення ентропії повітряного потоку становить $-2,77 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, це дало змогу визначити, що вона бере частину енергії для переміщення повітряного потоку від РК. Результатом аналізу поведінки повітряного потоку, запропоновано в середині патрубку, перед входом у ВРВ, поставити спрямляючі лопатки та елемент конусоїдальної форми (кокіль), зміна кутів входу та виходу потоку, що призвело до стабілізації потоку та зменшенню вихрових втрат. Такі зміни в геометрії сприяли отримання оптимального куту входу повітря в РК. Рекомендації, за результатами дисертаційних досліджень, по удосконаленню решітки РК, дали змогу підвищити швидкість повітряного потоку в отворах висівного диска, до значень від 37,61 до 56,77 м/с, а статичний тиск у отворах присмокування насіння становить 96149,60 Па.

У п'ятому розділі, приділено увагу аналізу ефективності застосуванню модульної конструкції пневматичної системи. Автором встановлено, що основною особливістю запропонованої пневматичної системи сівалки є те, що вона передбачає повну автономність кожного висівного апарату, а від так і кожної посівної секції, причому стає байдуже від кількості встановлених висівних апаратів. При такій компоновці, система включає ІВРВ з ВА з індивідуальними приводами та перепускним клапаном з компонентами регулювання процесами висіву просапних культур, що суттєво підходить до енергоефективних методів системи землеробства Mix-Cropp. Результат використання ІВРВ з ВА та клапаном регулювання витрати по-

вітря та в порівнянні з класичною пневматичною системою сівалки при мінімальних та максимальних значенні витрати повітря G_m значення тиску p_{sv} відповідно на 1,28% та 5,39% більше. Переваги запропонованої системи над класичною полягають в можливості регулювання частоти обертання РК, та зміни тиску, що створюється p_{sv} у потрібному напрямку та відповідно, в розширенні діапазону стабільної роботи висівних апаратів. Конструктивні досягнення запропоновані автором, стосовно удосконалення пневматичної системи сівалки, були реалізовані при виготовленні нової конструкції вентилятора та пневматичної системи на АТ «Ельворті» та основі проведених спільно експериментально-виробничих випробувань на полях ТОВ «Дельта» за отриманими результатами випробувань, прийнято рішення, щодо розгляду запропонованих удосконалень в подальше провадження в серійне виробництво.

У висновках, автором представлені основні результати дослідницької роботи, структура та повнота викладення відповідає поставленим задачам. В додатках представлено акти впровадження закінченої науково-дослідницької роботи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Запропоновано 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.

2. Для обґрунтування алгоритму керування процесом висіву 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.

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

Вважаю, що наукові результати автора є суттєвим внеском у розвиток теоретичного обґрунтування та експериментального дослідження нової архітектури пневматичної системи сівалки блочного типу.

Достовірність отриманих результатів і висновків. Достовірність результатів гарантується правильною постановкою завдання, чітким формулюванням мети та завдань дисертаційного дослідження, які були послідовно та аргументовано вирішені. Наукові положення, висновки та рекомендації підтверджуються відповідністю обраної методології характеру науково-технічної проблеми, всебічним теоретичним та експериментальним аналізом об'єкта дослідження, а також використанням комплексу методів, що адекватні предмету дослідження.

Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання. Отримані результати, в ході використання методів експериментальних досліджень, дали можливість висунути рекомендації, щодо вдосконалення сучасних сівалок просапних культур, та були використані при модернізації центрального вентилятора пневмосистеми сівалки Vega 8 Profi виробництва АТ «Ельворті», а також всі ці здобутки можна використовувати у навчальних процесах кафедри агроінженерії в курсах «Сільськогосподарські машини».

Дотримання академічної доброчесності. При аналізі дисертації та зроблених публікацій автора спостерігається унікальність викладеного матеріалу за результатами досліджень та не дає підстав фіксувати порушення

академічної доброчесності, академічного плагіату, само плагіату, фабрикації та фальсифікації.

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.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. В першому висновку до першого розділу автор приводить, «... на сьогодні найбільше поширені є пневматичні висівні апарати, але поступово все більшу увагу привертають розробки та впровадження висівних апаратів надлишкового тиску...». Отже не зовсім зрозуміло, чому автор зосередився на удосконаленні саме пневматичних сівалок і в подальшому зовсім не веде мову про сівалки надлишкового тиску, адже запропоновані автором рішення, на мій погляд, можуть бути використаними і в сівалках надлишкового тиску.

2. У висновку №7 до першого розділу вперше введена ідея застосування перепускного клапану, а до цього про клапан мова не йшла.

3. На стор. 70 наведено «На підставі даної формули (2.24) ...». Це надлишкове посилення. Достатньо писати так; «На підставі (2.24)...». Подібні надлишкові посилення зустрічаються в роботі часто.

4. Перший пункт висновків до другого розділу майже не містить важливої інформації. Наприклад, «... Встановлено параметри, що точно характеризують реальне становище повітряного потоку ...». А про які параметри йде мова?

5. Невдалий підпис під рисунком 5.4.: «Графік залежності тиску, що видається, від витрати повітря». Як це розуміти? Мабуть треба було писати про «залежність тиску ІВРВ від величини витрати повітря».

6. Третій висновок до п'ятого розділу має декларативну форму. Щось зроблено, та не вказано для чого і з якими результатами.

Всі наведені недоліки аж ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертації. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

Загальні висновки. Дисертація Зеленського Андрія Петровича на тему «Розробка та обґрунтування параметрів індивідуального вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки» є цілісною, завершеною, самостійно виконаною науковою роботою та має вагому наукову новизну, що заслуговує на науковий та практичний інтерес. Зважаючи на актуальність вирішених у дисертації поставлених завдань, отриманих наукових результатів, висновків, теоретично та науково обґрунтованих та підтверджених практичною значимістю, а також послідовністю викладу матеріалу показує високий рівень проведених досліджень. Враховуючи викладене вище, можна вважати, що дисертація відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», та повністю відповідає спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» з галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Виходячи з цього, вважаю, що Зеленський Андрій Петрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» з галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Рецензент

професор кафедри агроінженерії
Державного біотехнологічного університету,
доктор технічних наук,

професор

Олексій КОЗАЧЕНКО