

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

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора кафедри сільськогосподарського машинобудування Сало Василя Михайловича на дисертаційну роботу **Зеленського Андрія Петровича «Розробка та обґрунтування параметрів індивідуального вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки»**, яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

Актуальність теми дисертаційної роботи. З точки зору розвитку технологій рільництва висів сільськогосподарських культур, є одним з найважливіших елементів процесу. Для висіву просапних культур найбільше поширення набули пневматичні сівалки. В їх конструкції створення вакууму необхідного для роботи висівних апаратів забезпечує робота відцентрового радіального вентилятора.

Через різні режими роботи пневматичної системи, використання посівних дисків з різним діаметром і кількістю отворів, різної конструкції пневматичної системи тощо, виникають питання в роботі вентилятора та системи. Вибір та стійка робота вентилятора в пневматичній системі за різних граничних умов є важливим завданням.

У сівалках для висіву насіння просапних культур використовують пневматичні висівні апарати, які зарекомендували себе, як агрегати що забезпечують високу точність висіву, стійке дозування насіння і високу швидкість сівби. Ці переваги сприяють тривалий час провідними виробниками посівної техніки віддавати перевагу пневматиці.

У межах даної дисертаційної роботи, здобувачем запропоновано відійти від класичної схеми пневматичної сівалки та розглянути концепцію створення нової архітектури з використанням пневматичної системи блочного типу. Суть ідеї полягає в оснащенні кожного висівного апарата індивідуальною пневмо-системою з окремим відцентровим вентилятором, що дасть суттєве зниження втрат, зменшення магістралей та спростить переналаштування під різні технології рослинництва.

Роботи, що стосуються розробки посівних машин у яких передбачено облаштування кожного висівного апарату індивідуальною пневматичною системою на сьогодні невідомі, а отже дисертаційна робота є своєчасною, актуальною та її результати дають не тільки новий напрямок розвитку посівних машин, а й суттєвий вклад в модернізацію існуючих систем висіву та розвитку наукових досліджень в цій сфері.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на базі Державного біотехнологічного університету 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.

Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки. Наукову новизну отриманих результатів досліджень становлять:

- проведено обґрунтування раціональної конструкції ІВРВ, вперше встановлено функціональні взаємозв'язки між геометричними, газодинамічними та кінематичними параметрами ІВРВ і створюваним повним тиском у робочій камері висівного апарату сівалки, одержано рівняння регресії що пов'язують перелічені фактори;

- проведено обґрунтування алгоритму керування процесом висіву, вперше 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;

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

В науковій новизні роботи акумульовано значний вклад в розвиток теорії функціонування пневматичних висівних систем.

Практичне значення результатів, що отримані дисертантом полягає у підтвердженні перспективності розвитку запропонованої архітектури модульної висівної системи просапної сівалки, яка включає пневматичний висівний апарат та індивідуальну пневматичну підсистему до складу якої входить індивідуальний вентилятор і перепускний клапан. Така висівна система є електропривідною та автоматизованою, а від так, повністю автономною. Її використання в конструкції посівної машини забезпечує велику свободу компонування. Спираючись на проектні показники запропонованої модульної пневматичної висівної системи розроблено рекомендації щодо вдосконалення сучасних сівалок просапних культур. Відповідно, розроблені інженерно-технологічні рішення рекомендовані до впровадження у виробництво серійних просапних сівалок АТ «Ельворті» (м. Кропивницький, вул. Євгена Чикаленка, 1. Акт ДБТУ, АТ «Ельворті», 2024 р.). Окремі інженерно-технологічні рішення використано при модернізації центрального вентилятора пневмосистеми сівалки VEGA 8 PROFІ виробництва АТ «Ельворті». На підставі проведених на полях ТОВ «Дельта» (м. Харків, вул. Пащенківська, 11) в 2023-2024 роках спільних експериментально-виробничих випробувань експериментального відцентрового радіального вентилятора пневматичної системи сівалки VEGA 8 PROFІ виробництва АТ «Ельворті» встановлено, що застосування модернізованого вентилятора дозволило підвищити стабільність показників якості висіву насіння сої та кукурудзи (Акт ДБТУ, ТОВ «Дельта», 2024 р.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Представлена дисертаційна робота

здобувача є комплексним та завершеним науковим дослідженням, у якому викладені ключові ідеї та отримані результати, сформульовані висновки та рекомендації є достовірними та достатньо обґрунтованими.

Здобувач провів ґрунтовний аналіз наукової літератури, технічних джерел та публікацій, які в цілому присвячені проблематиці пневматичних систем сівалок. У роботі детально представлено методології досліджень та розрахунки робочих процесів та конструктивних параметрів пневматичної системи нової архітектури. Здобувач продемонстрував обізнаність у володінні вимірювальними приладами. Використання графічного матеріалу, таблиць та описів у повній мірі розкриває суть роботи. Варто відзначити, ґрунтовну математичну та технічну обізнаність у володінні цифровими методами проектування, моделювання та розрахунку технічних систем за допомогою програмних пакетів: ANSYS, SolidWorks, MathCAD, та інші.

Отримані, в ході дисертаційних досліджень, результати систематично викладені у висновках після кожного розділу, та у восьми загальних висновках.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих роботах.

Результати дисертаційної роботи підтверджуються опублікованими в 23 наукових працях: в 7 наукових статтях у вітчизняних та зарубіжних фахових журналах, рекомендованому ВАК Міністерства освіти та науки України (де 3 з них у Scopus); у 16 тезах доповідей. Результати досліджень представлені на наукових конференціях в якості доповідей та обговорень на робочих секціях та отримали позитивні відгуки. В ході обговорень, велика увага приділялась обґрунтуванню нової архітектури пневматичної системи блочного типу, функціонування та регулюванню роботи ІВРВ, аналізу запропонованих математичних моделей на адекватність з реальним процесам, що відбуваються у ПССБТ, та ефективність запропонованих інженерно-технологічних рішень стосовно проектування нової так і класичної моделі ВРВ. В рамках дисертаційної роботи одержані результати та зроблені висновки опубліковані у співавторстві, не мають повторювань, дублювань та конфліктів з іншими співавторами.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, що складаються зі 167 найменувань, 2 додатків. Основний зміст роботи викладено на 200 сторінках машинописного тексту, включаючи 69 рисунків та 20 таблиць.

У **вступі** проведено обґрунтування обраної теми, визначена актуальність дисертаційної роботи, наведено зв'язок роботи з науково-дослідницькими програмами та планами кафедри оптимізації технологічних систем. Визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету та методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Приведено інформацію стосовно апробації отриманих результатів, що було представлено в публікаціях та обговорено на міжнародних науково-технічних конференціях, приведена загальна характеристика роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз відомих інженерно-технологічних рішень, стосовно висіву насіння просапних культур. Встановлено, що задача стабілізації та керування параметрами повітряних потоків в роботі висівних апаратів є перспективним напрямком для подальшого підвищення якісних показників висіву насіння. Встановлено необхідність повної автономізації кожного висівного апарату, шляхом застосування індивідуальної пневмосистеми, як підсистеми та відмова від застосування центрального генератора вакууму й фрагментація пневмосистеми сівалки на множину незалежних контурів, по одному на кожний висівний апарат. Робота пневматичної системи є складним режимом, що супроводжується періодичними зривами повітряного потоку, а це в свою чергу призводить до порушення нормальної течії процесу висіву культур. Процес встановлення стабільної роботи пневматичної системи в цілому супроводжується шляхом застосування перепускного клапану, який дає можливість забезпечити нормовану подачу повітря в робочий простір ВРВ, та уникнути прояву такого явища, як зрив потоку.

У **другому розділі** здобувач приділив увагу розгляду математичного моделювання робочого процесу пневматичної підсистеми висівного апарату.

Розглянуто вплив на елементи ПССБТ процесу переміщення повітряного потоку, проведено аналіз та практичні розрахунки. Визначено втрати в роботі ВРВ та пневматичній системі для досягнення якісної роботи. Представлена робоча характеристика та виявлено зв'язок параметрів, що характеризують стійку роботу пневматичної системи. Вивчені та розглянуті класичні методи регулювання роботи ВРВ для зменшення втрат. Встановлено зв'язок параметрів видаваних ІВРВ у пневматичну систему сівалки від геометричних розмірів. Проведено аналіз поведінки характеристики вентилятора – в залежності від значення вихідного кута нахилу лопатки вентилятора. Здобувачем запропоновано алгоритм розрахунку основних геометричних параметрів ПССБТ, спираючись на режими роботи пристрою. Такий підхід дозволяє знайти компромісне рішення, на основі якого проводиться розрахунок ІВРВ для пневматичних систем сівалок.

У **третьому розділі** наведено результати обчислювального експерименту, метою якого є обґрунтування параметрів ІВРВ. Представлена математична модель ІВРВ. Визначено граничні умови процесу роботи вентилятора. Представлено рівняння регресії для створюваного повного тиску p^* ІВРВ пневматичної системи. Отримано математичний опис області оптимуму у вигляді полінома другого ступеня та проведено уточнення положення точки екстремуму. Для аналізу роботи вентилятора, здобувач провів розрахунок та дослідження газодинамічної структури повітряного потоку у проточній частині ІВРВ, а також в міжлопаткових каналах РК використовуючи програмний комплекс ANSYS. Запропоновано математичну модель ПССБТ з початковими та граничними умовами процесу роботи пневматичної системи. Отримали рівняння регресії другого ступеня для створюваного статичного тиску p_{sv} в пневматичній системі. Проведено аналіз рівняння регресії, та переведено в рівняння канонічного виду. З проведеного аналізу обрали оптимальні геометричні параметри елементів ПССБТ, які мають такі значення: n – частота обертання РК ІВРВ, становить 1470 рад/с; $d_{\text{отв}}$ – діаметр отворів висівного диску, становить 5,5 мм; $z_{\text{кл}}$ – кількість

працюючих отворів перепускного клапану, становить 3 шт; $z_{\text{диска}}$ – кількість працюючих отворів на висівному диску, становить 11 шт; G_m – масова витрата повітря ІВРВ становить 0,034 кг/с.

У **четвертому розділі** викладено результати досліджень перебігу повітряного потоку в проточній частині ПССБТ. Представлено програму лабораторних досліджень та вивчено процес переміщення й вплив повітряного потоку на елементи ВРВ. Проаналізовано процес перетікання повітряного потоку у проточній частині ВРВ на основі класичних рівнянь, що характеризують стан повітряного потоку в системі. Проведено аналіз статичного тиску ПССБТ за допомогою програмного комплексу CFX ANSYS для створеної математичної моделі, що з максимальною точністю імітує внутрішній обсяг проточної частини досліджуваної системи. Порівняно одержані рівняння регресії 1 – го і 2 – го ступеня, а також здобутого в програмному комплексі CFX ANSYS, рівняння розподілу статичного тиску для різних значень масової витрати повітря. Розроблена математична модель із встановленими в проточній частині патрубку на вході в ІВРВ спрямляючих лопаток, такий підхід дав можливість стабілізації та збільшенню швидкості повітряного потоку в отворах диска, що висіває, до значень від 37,61 до 56,77 м/с та визначено, що статичний тиск в отворах присмоктування висівного матеріалу дорівнює 96149,60 Па.

У **п'ятому розділі** проведено аналіз ефективності запропонованих інженерно-технологічних рішень застосування модульної пневматичної системи посівних машин під майбутню систему землеробства Міх-Сторп, що передбачає домінування змішаних (сумісних) посівів. Порівняно роботу ВРВ для ПССБТ та класичну пневматичну систему сівалки. При мінімальному значенні витрати повітря G_m значення тиску p_{sv} на 1,28% у вентиляторі для нової конструкції більше, а при максимальному значенні витрати повітря G_m значення тиску p_{sv} на 5,39% у вентиляторі нової конструкції більше. Встановлено

можливість регулювання частоти обертання РК, та зміна тиску, що створюється p_{sv} , а також застосування перепускного клапана.

Загальні висновки дисертаційної роботи дають можливість узагальнити отримані наукові та практичні результати.

Додатки, містять здобутки практичного впровадження наукових досліджень в рамках дисертаційної роботи.

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації. Зміст анотацій українською та англійською мовами відображає зміст дисертації та в цілому обсязі висвітлює її основні результати та висновки.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. На підставі ретельного аналізу тексту дисертаційної роботи, вивчення опублікованих наукових праць здобувача, а також розгляду звіту з перевірки рукопису за допомогою електронного антиплагіатного сервісу, не встановлено фактів порушення академічної доброчесності. Всі викладення автором в рамках дисертаційної роботи, ідеї, цитати, результати інших науковців супроводжуються відповідними бібліографічними посиланнями, що дозволяє зробити висновки про дотримання норм наукової етики.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації:

1. У першому розділі роботи на стор. 38 наведено список науковців, які займалися вивченням розподілу насіння та рослин в рядку, а посилання на їх роботи приведено в кінці списку. Варто було б деталізувати.
2. На рис. 1.2. наведено «По компанівці посівних секцій». Мабуть автор хотів написати «компоновці». Крім того в цій класифікації не знайшли місця сівалки надлишкового тиску, а також наявність новітніх механізмів для транспортування насіння до висівного апарату, або в борозенку (SpeedTube – швидкісна висівна трубка), механізми регулювання тиску на сошник (Delta Force – гідравлічний контроль глибини висіву) і багато інших.

3. Другий розділ розпочинається із пункту «2.1 Введення в карту розрахунку ентропії» якому не передуює ніяке пояснення. Це суттєво утруднює розуміння матеріалу.
4. Не зрозуміло, чому в п.2.1 на стор. 54 автор веде мову про рідину і без пояснення переходить до повітряного потоку.
5. В третьому розділі на стор. 81 в табл. 3.1. наведено отримані оптимальні параметри ІВРВ, то навіщо тоді подальший матеріал?
6. Пункти 3.11 та 3.12 переобтяжують текст їх значною мірою потрібно було винести в додатки.
7. Застосування перепускного клапану враховується протягом всієї роботи, починаючи із висновків до першого розділу, але конструкція клапана не розкрита.
8. Текст дисертації викладено не завжди зрозуміло. Небажано вживати минулий час дієслова від імені самого об'єкту, наприклад, значення нехтувались» (стор. 4), «дослідження проводилися» (стор. 4, 26), «дослідженню піддалися» (стор. 41), «сівалки вироблялись» (стор. 42), «пластини використовувалися» (стор. 98).

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.

Дисертаційна робота Зеленського Андрія Петровича на тему «Розробка та обґрунтування параметрів індивідуального вентилятора пневматичного висівного апарату просапної сівалки», подана до спеціалізованої вченої ради для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 «Механічна інженерія», за рівнем актуальності, наукової новизни, обґрунтованості положень, достовірності отриманих результатів, практичної значущості, а також за повнотою їх апробації та оприлюднення у фахових наукових виданнях, 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 (із змінами, внесеними постановою КМУ № 507 від 03 травня 2024 року). З огляду на викладене, вважаю, що Зеленський Андрій Петрович – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» з галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Офіційний опонент:

професор кафедри сільськогосподарського
машинобудування, Центральноукраїнського
національного технічного університету,
Міністерства освіти і науки України,
доктор технічних наук,
професор

Василь САЛО