

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету **Борисюка Дмитра Вікторовича** на дисертацію **Замрія Михайла Анатолійовича** на тему **«Обґрунтування параметрів та режимів роботи обладнання для сушіння насінневої маси люцерни»**, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (галузь знань 13 Механічна інженерія)

1. Актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами

Актуальність дисертаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення технологічної та економічної ефективності виробництва насіння люцерни в умовах сучасного розвитку агропромислового комплексу України. Люцерна є однією з провідних багаторічних бобових культур кормового призначення, що формує основу білкової складової раціонів у тваринництві. Забезпечення стабільного насінництва цієї культури є стратегічно важливим чинником розвитку кормової бази та підвищення конкурентоспроможності аграрного виробництва.

Аналіз стану питання, наведений у дисертаційній роботі, свідчить про наявність суттєвих технологічних втрат насіння люцерни на етапах збирання та післязбиральної обробки. Особливої проблемності набуває підвищена вологість насінневої маси в період збирання, що призводить до інтенсивного самонагрівання, погіршення посівних якостей і зниження виходу кондиційного насіння. Існуючі технології та технічні засоби сушіння здебільшого орієнтовані на обробку зернових культур і не враховують специфічні фізико-механічні та теплофізичні властивості насінневої маси люцерни без відокремлення листостеблової складової. Це зумовлює необхідність наукового обґрунтування параметрів і режимів роботи сушильного обладнання з урахуванням закономірностей тепло- і масообміну в багатошаровому просторі.

Наукова новизна та актуальність теми посилюються тим, що у роботі досліджено кінетику сушіння насінневої маси люцерни в нерухомому щільному шарі з урахуванням змін висоти шару, швидкості руху повітряного потоку, коефіцієнта пористості та сушильного потенціалу теплоносія. Розроблення детермінованих математичних моделей постійної та спадаючої швидкості сушіння, емпіричних залежностей зміни вологовмісту та втрати тиску повітря дозволяє перейти від емпіричного підбору режимів до науково обґрунтованого проектування сушильних установок. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до галузевого машинобудування, орієнтованого на енергоефективність, оптимізацію параметрів процесів і зниження експлуатаційних витрат.

Актуальність обраної теми також визначається її спрямованістю на підвищення ефективності масо- та теплообмінних процесів у

сільськогосподарському виробництві, що є одним із пріоритетних напрямів розвитку механічної інженерії. Отримані результати мають не лише прикладне, а й методологічне значення, оскільки формують теоретичні засади розрахунку сушильних установок для обробки складних багатокomпонентних рослинних матеріалів.

Дисертаційна робота виконана відповідно до наукового напрямку Вінницького національного аграрного університету та безпосередньо пов'язана з виконанням госпдогвірної та ініціативної науково-дослідних робіт: «Дослідження конструктивно-режимних параметрів енергоефективного обладнання для сушіння сільськогосподарських матеріалів» (№ РК 0122U201558) та «Високоєфективне обладнання для здійснення масо- та теплообмінних процесів у харчовій та переробній галузі» (№ РК 0122U002098). Тематика дисертації повністю відповідає завданням зазначених програм, зокрема щодо розроблення енергоефективних технічних рішень і встановлення раціональних конструктивно-режимних параметрів обладнання для обробки сільськогосподарських матеріалів.

Таким чином, обрана тема є науково обґрунтованою, актуальною з позицій сучасних потреб аграрного виробництва та галузевого машинобудування, має чіткий зв'язок із державними та університетськими науковими програмами й спрямована на вирішення важливого науково-прикладного завдання підвищення ефективності процесу сушіння насінневої маси люцерни.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертації, є достовірними і належним чином обґрунтованими. Автором проведено комплекс теоретичних і експериментальних досліджень із використанням розроблених та відомих методик, положень теорії тепло- і масопереносу, теоретичної пневматики, методів математичного моделювання та статистичної обробки експериментальних даних.

Висновки дисертації є достатньо обґрунтованими та підтверджені необхідним обсягом експериментальних досліджень, виконаних як у лабораторних, так і у виробничих умовах.

У першому пункті загальних висновків встановлено, що швидкість сушіння насінневої маси люцерни на першому етапі за результатами теоретичного аналізу змінюється в межах від 0,06 до 1,05 кг вол./кг абс. сух. реч./год) за зміни питомої витрати повітря $5,0 \cdot 10^{-2} \dots 25,0 \cdot 10^{-2}$ м³/с та сушильного потенціалу повітря $2,0 \cdot 10^{-3} \dots 10,0 \cdot 10^{-3}$ кг вол./кг абс. сух. пов., тоді як за результатами теоретично-експериментального аналізу вона становить 0,1...1,3 кг вол./кг абс. сух. реч./год) за зміни швидкості повітряного потоку 0,2...1,2 м/с і висоти шару 0,3...1,5 м, при цьому розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями не перевищує 5...15 %, що підтверджує адекватність розроблених моделей.

У другому та третьому пунктах наведено результати розроблення

аналітичних математичних моделей процесу сушіння насінневої маси люцерни в багат шаровому просторі без відокремлення листостеблової маси, а також залежностей для визначення загального часу сушіння і питомої витрати повітря. Аналітично встановлено, що втрата тиску повітря, яке продувається через шар насінневої маси люцерни, змінюється в межах від 0,13 до 11,0 Па залежно від висоти шару 0,2...1,4 м та швидкості повітряного потоку 0,1...1,3 м/с. Зазначені результати відповідають аналітичному етапу досліджень та другому завданню роботи.

У четвертому пункті наведено результати експериментальних досліджень фізико-механічних характеристик і теплофізичних властивостей насінневої маси люцерни. Встановлено, що за зміни густини шару в межах 140...420 кг/м³ та вологовмісту 0,2...1,6 кг вол./кг абс. сух. реч. коефіцієнт пористості змінюється в межах 0,09...0,78. За зміни часу нагрівання бобів від 10 до 30 хв та початкової вологості 30...50 % гранично допустима температура нагрівання знаходиться в межах 49...57 °С, а щільність бобів – 940,1...1086,1 кг/м³.

У п'ятому пункті встановлено закономірності зміни температури нагрівання насіння та вологовмісту шару. Зокрема, за зміни висоти шару від 0,3 до 1,5 м та часу сушіння 2...12 год вологовміст насінневої маси змінюється в межах 0,15...2,39 кг вол./кг абс. сух. реч. Показано, що зі збільшенням висоти шару швидкість сушіння зменшується приблизно в 3,5...7 разів, а зі збільшенням швидкості повітря від 0,2 до 1,2 м/с зростає приблизно в 2...4 рази, при цьому розбіжність теоретичних і експериментальних значень становить 12...18 %.

У шостому пункті наведено результати порівняльних виробничих досліджень. Встановлено, що додатковий збір насіння з висушеної насінневої маси люцерни при застосуванні розробленої сушильної установки становить 0,48 ц/га, тоді як для базової – 0,23 ц/га, тобто валовий збір чистого насіння збільшується приблизно у 2,1 раза.

У сьомому пункті визначено економічну ефективність впровадження розробленої сушильної установки. Розрахований економічний ефект становить 2,46 грн на 1 кг висушеної насінневої маси, що підтверджує доцільність використання запропонованого обладнання у виробничих умовах.

Усі пункти загальних висновків логічно впливають із результатів досліджень, наведених у дисертації, узгоджені з поставленою метою та завданнями роботи і свідчать про достатній ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

3. Повнота викладу результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені в опублікованих наукових працях автора. За темою дослідження опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 2 статті у виданнях, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus, 2 статті у наукових фахових виданнях України (категорія «Б») за спеціальністю 133 «Галузеве

машинобудування», 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір та 3 тези доповідей у матеріалах міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій. Тематика зазначених публікацій відповідає напряму підготовки здобувача та повністю узгоджується з галуззю знань 13 «Механічна інженерія» і спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

4. Наукова новизна одержаних результатів та їх значення для науки та виробництва

У дисертаційній роботі вперше отримано аналітичні математичні залежності, що описують процес сушіння насінневої маси люцерни в багатощаровому просторі без відокремлення листостеблової складової, з урахуванням зміни швидкості повітряного потоку, висоти шару та сушильного потенціалу теплоносія. Розроблено математичні моделі постійної та спадаючої швидкості сушіння, які дозволяють визначати кінетику зміни вологовмісту матеріалу та розраховувати тривалість процесу. Вперше отримано аналітичні залежності втрат тиску повітря при продуванні шару насінневої маси люцерни з урахуванням коефіцієнта пористості, що створює теоретичні передумови для оптимізації параметрів вентиляційно-сушильних систем.

Удосконалено методику експериментального дослідження фізико-механічних і теплофізичних характеристик насінневої маси люцерни, що дозволило визначити закономірності зміни густини, пористості, температури нагрівання та вологовмісту залежно від режимних параметрів процесу сушіння. Уточнено допустимі температурні межі нагрівання насіння з урахуванням початкової вологості та тривалості теплового впливу, що має важливе значення для збереження його посівних якостей. Експериментально підтверджено адекватність розроблених моделей, при цьому розбіжність теоретичних і експериментальних результатів знаходиться в межах допустимих інженерних похибок.

Набули подальшого розвитку наукові положення щодо опису тепло- і масообмінних процесів у шарі сипкої рослинної сировини за умов вимушеної вентиляції, а також емпіричні залежності, що характеризують кінетику зміни вологовмісту та швидкість сушіння залежно від висоти шару і швидкості повітряного потоку. Отримані результати розширюють наукові уявлення про закономірності процесів сушіння багатокomпонентних рослинних матеріалів та можуть бути використані при проектуванні аналогічних сушильних установок.

Практичне значення роботи полягає у розробленні принципової схеми сушильної установки для сушіння насінневої маси люцерни та обґрунтуванні раціональних конструктивно-режимних параметрів її функціонування. Результати досліджень впроваджені у виробничий процес ФГ «Бухнівське», де підтверджено підвищення технологічної ефективності сушіння та збільшення валового збору чистого насіння у 2,1 раза порівняно з базовим варіантом. Розрахований економічний ефект становить 2,46 грн на 1 кг висушеної насінневої маси, що свідчить про економічну доцільність використання розробленого обладнання. Підприємство ТОВ «Агротех-Калина» (ЄДРПОУ

32320510, м. Калинівка, Вінницька область) отримало конструкторську та технологічну документацію для виготовлення дослідних зразків сушильного обладнання з метою проведення виробничих випробувань і подальшого серійного виробництва.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень процесу сушіння насінневої маси люцерни використовуються у навчальному процесі Вінницького національного аграрного університету при викладанні дисципліни «Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів», що підтверджує їх науково-методичну значущість і відповідність спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

5. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому

Дисертаційна робота є структурованою та логічно завершеною науковою працею. Вона складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 195 сторінок, основний текст викладено на 154 сторінках, робота містить 54 рисунки та 14 таблиць; список використаних джерел включає 122 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження, сформульовано наукову новизну й практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо апробації та впровадження результатів роботи.

У першому розділі «Стан питання та завдання дослідження» виконано аналіз технологій сушіння насінневої маси люцерни та існуючих конструкцій сушильного обладнання. Обґрунтовано проблемність сушіння насінневої маси без відокремлення листостеблової складової та сформульовано комплекс завдань, спрямованих на підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесу.

У другому розділі «Теоретичні дослідження процесів сушіння насінневої маси люцерни» наведено будову та принцип роботи сушильної установки і виконано аналітичне моделювання кінетики сушіння та аеродинаміки шару. Показано, що на першому етапі сушіння середня швидкість процесу змінюється у широкому діапазоні (зокрема, 0,06...1,05 кг вол./кг абс. сух. реч./год) за варіювання витрати повітря і сушильного потенціалу), а втрати тиску повітря при продуванні шару змінюються орієнтовно в межах 0,13...11,0 Па залежно від висоти шару та швидкості повітряного потоку. Отримані залежності мають практичну цінність для інженерного розрахунку режимів сушіння та вибору параметрів вентиляції.

У третьому розділі «Програма та методика проведення експериментальних досліджень» наведено програму досліджень, описано експериментальну установку та методики визначення фізико-механічних і теплофізичних характеристик насінневої маси люцерни, а також показників процесу сушіння (вологівміст, температура нагрівання, втрати тиску, швидкість сушіння) за різних режимів.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень»

наведено експериментально підтверджені закономірності зміни властивостей та параметрів процесу. Зокрема, для насінневої маси люцерни без відокремлення листостеблової складової встановлено зміну коефіцієнта пористості в межах 0,09...0,78 за зміни густини шару 140...420 кг/м³ та вологовмісту 0,2...1,6 кг вол./кг абс. сух. реч.; показано, що в межах досліджених режимів втрати тиску повітря становлять близько 0,8...12,1 Па, а розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями є прийнятною для інженерних розрахунків. Встановлено також, що зі збільшенням висоти шару швидкість сушіння зменшується у кілька разів, тоді як зі збільшенням швидкості повітря – зростає у кілька разів, що підтверджує визначальний вплив цих факторів на інтенсивність процесу.

У п'ятому розділі «Узагальнені результати ефективності процесу роботи сушильної установки» наведено результати виробничої перевірки та економічної оцінки. Порівняльні виробничі дослідження засвідчили, що додатковий збір насіння при застосуванні розробленої сушильної установки становить 0,48 ц/га проти 0,23 ц/га для базової, тобто валовий збір чистого насіння зростає приблизно у 2,1 раза. Розрахований економічний ефект від використання розробленої установки становить 2,46 грн/кг висушеної насінневої маси.

У цілому дисертаційна робота є завершеним дослідженням: поставлені завдання вирішено, мети досягнуто, результати викладено послідовно й аргументовано; наведені теоретичні положення підтверджені експериментально та апробовані у виробничих умовах, що свідчить про наукову та практичну значущість роботи для спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

6. Відсутність порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертації, публікацій автора та документів, що засвідчують перевірку щодо плагіату на основі відкритих інтернет-ресурсів, ознак академічного плагіату не виявлено. У тексті дисертації здобувачем застосовано посилання на наукові публікації як власні, та і на інших авторів. Елементів фальсифікації чи фабрикації тексту у роботі також не виявлено. Це дає можливість зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності у дисертації Михайла Замрія.

7. Основні зауваження до дисертації

7.1. У дисертаційній роботі обґрунтовано допустимі температурні межі нагрівання бобів і насіння люцерни як один із ключових критеріїв вибору режимів сушіння, проте експериментальне підтвердження впливу зазначених температурних режимів на інтегральні показники посівної якості (енергію проростання та лабораторну схожість) не наведено. З урахуванням насінневого призначення досліджуваного матеріалу, включення таких біологічних показників дозволило б більш комплексно обґрунтувати технологічну безпечність і доцільність запропонованих режимів сушіння.

7.2. У теоретичному описі процесу сушіння шар насінневої маси

люцерни репрезентовано як ефективне пористе середовище з усередненими параметрами, однак за умови відсутності відокремлення листостеблової складової така ідеалізація не повною мірою враховує структурну гетерогенність вороху, що потребує додаткового теоретичного обґрунтування її впливу на кінетику масообміну та аеродинамічний опір шару.

7.3. В описі експериментальної установки наведено її конструктивну схему, однак недостатньо деталізовано механізм підтримання стабільності параметрів сушильного агента (температури, вологості, витрати повітря) протягом усього циклу сушіння, що має принципове значення для інтерпретації отриманих кінетичних залежностей.

7.4. Отримані залежності втрат тиску повітря в шарі матеріалу наведені для значних висот шару (до 1,5 м). Разом з тим, у роботі відсутній аналіз можливих просторових нерівномірностей фільтрації повітря (каналювання, пристінні ефекти), що може впливати на достовірність узагальнення результатів для промислових масштабів.

7.5. Побудовані регресійні залежності та поверхні відгуку є інформативними, однак у тексті дисертації обмежено представлено статистичні критерії оцінки їх адекватності (коефіцієнти детермінації, перевірка значущості коефіцієнтів). Більш розширене подання статистичного аналізу підвищило б доказовість емпіричних моделей.

7.6. У роботі застосовано показник швидкості сушіння в питомих одиницях (кг вологи/кг абс. сухої речовини/год), що є коректним з наукової точки зору. Водночас для інженерного проектування доцільно було б подати результати також у вигляді узагальнених технологічних показників (тривалість стадій сушіння, продуктивність установки), що полегшило б їх використання у практиці.

7.7. Узагальнені рекомендації щодо вибору раціональних режимів сушіння сформульовані на основі отриманих експериментальних даних. Разом з тим, у роботі не запропоновано алгоритм або методику інженерного розрахунку режимів залежно від початкової вологості та заданої кінцевої кондиції матеріалу, що могло б підвищити прикладну завершеність дослідження.

ВИСНОВОК

Дисертація «Обґрунтування параметрів та режимів роботи обладнання для сушіння насінневої маси люцерни» є завершеною науково-дослідною працею, у якій розв'язано конкретну науково-прикладну задачу підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесу сушіння насінневої сировини шляхом теоретичного обґрунтування конструктивних параметрів сушильної установки, встановлення закономірностей тепло- та масообміну в шарі матеріалу та визначення раціональних режимів її функціонування, що має суттєве значення для галузі знань 13 «Механічна інженерія» та спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Зміст дисертаційної роботи свідчить про достатній рівень кваліфікації автора, який здатен самостійно формулювати та розв'язувати складні науково-

прикладні задачі. Представлена дисертаційна робота «Обґрунтування параметрів та режимів роботи обладнання для сушіння насінневої маси люцерни» за актуальністю теми, науковою новизною та практичною цінністю отриманих результатів досліджень відповідає вимогам пунктів 5-9 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 12.01.2022 р. № 44, а її автор Замрій Михайло Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
доцент, доцент кафедри автомобілів
та транспортного менеджменту
Вінницького національного
технічного університету



Дмитро БОРИСЮК

Підпис Борисюка Д.В. засвідчую
Вчений секретар Вінницького
національного технічного університету



Інна ВІШТАК