

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША**

ДИПЛОМНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«Дослідження комбінованих процесів сушіння зернових продуктів
та обґрунтування енергоощадних технологічних параметрів зерна»**

Виконав:

здобувач освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми
«Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

МЕЛЬНИК Олександр Ігорович

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Семенов О.М.

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

«___» _____ 2023р.

Допускається до захисту:

«___» _____ 2023 р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
(канд. техн. наук, доцент)

_____ **ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

м. Кам'янець-Подільський, 2023

ЗМІСТ

Завдання на виконання дипломної роботи	4
Анотація	6
Реферат	7
Перелік умовних скорочень, термінів, символів, позначень	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	
СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ ПРОДУКТІВ	11
1.1 Аналіз стану зерносушіння зернових продуктів	11
1.2 Класифікація і конструкції зерносушарок	14
1.3 Переваги і недоліки конструкцій конвективних зерносушарок	18
Висновки до першого розділу	22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ МАС	23
2.1 Дослідження способу сушіння зернових мас в апаратах з ротаційним термосифоном	23
2.2 Дослідження способу сушіння зернових мас	25
2.3 Дослідження процесу тепломасообміну в продукті	26
2.4 Дослідження процесу тепломасообміну в сушарці	30
2.5 Дослідження процесу тепломасообміну в комбінованих сушарках	31
Висновки до другого розділу	33
3 ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ КОМБІНОВАНОГО СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ МАС	35
3.1 Обґрунтування сушіння зернових мас надвисокочастотним способом	35
3.2 Обґрунтування сушіння зернових мас ротаційним способом	37
3.3 Обґрунтування сушіння зернових мас комбінованими способами	39
Висновки до третього розділу	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ СУШІННІ ЗЕРНОВИХ МАС	42

4.1 Вимоги безпеки під час здійснення технологічних процесів	42
4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт у силосах і бункерах	43
4.3 Вимоги безпечної експлуатації виробничого устаткування	49
Висновки до четвертого розділу	53
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ	
СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ МАС	54
Висновки до п'ятого розділу	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТОК А Матеріали комп'ютерної презентації .	68
ДОДАТОК Б Матеріали апробації дипломної роботи	84

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

1. Тема дипломної роботи магістра
2. Мета та задачі дипломної роботи
3. Класифікація конвективних зерносушарок
4. Класифікація комбінованих способів сушіння зернових мас
5. Питомі енерговитрати різних способів сушіння
6. Основні конструкції зерносушарок
7. Схема сушіння матеріалу у напільній сушарці
8. Схема технологічного процесу карусельної протитечійної сушарки
9. Структура сушіння зернових мас за допомогою надвисокочастотного способу
10. Технологічні схеми роторно-термосифонного способу сушіння зернових мас
11. Зміна температури зерна пшениці при сушінні в апараті з роторно-термосифоном
12. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях при сушінні зернових мас
13. Техніко-економічні показники процесу сушіння зернових мас
14. Загальні висновки по роботі
15. Матеріали апробації дипломної роботи

ВСТУП

Актуальність роботи. Для сучасних процесів сушіння зернових продуктів характерні дві проблеми: високі енерговитрати й забруднення зерна продуктами згоряння. Витрати енергії на сушіння зернових продуктів вище, ніж енерговитрати на всі транспортні потреби та польові роботи. Тому доцільно шукати резерви зниження енергетичних витрат у процесах сушіння.

Напрямок вдосконалення сушильних технологій є: зниження енергетичних витрат на видалення вологи, забезпечення якості продукту, що висушується, розробка високоефективних комбінованих сушильних ліній.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами досліджень.

Робота виконувалась у відповідності з Державною науковою програмою “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі” на 2020-2025 рр.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є зниження енерговитрат при сушінні зернових продуктів за різних технологічних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- дослідити та обґрунтувати сушіння дисперсних харчових продуктів комбінованими методами;
- встановити вплив режимних параметрів сушіння зернових продуктів в ротаційному апараті;
- встановити вплив режимних параметрів сушіння зернових продуктів у надвисокочастотній сушарці;
- визначити питомі енерговитрати запропонованих способів сушіння зернопродуктів.

Об'єкт дослідження – процес сушіння зернових продуктів.

Предмет дослідження – лінії для сушіння зернових мас, що використовують комбіновані способи сушіння.

Методи дослідження. В процесі виконання ДРМ використовувались теоретичні дослідження відповідно до існуючих методик і галузевих стандартів. Обробка та аналіз результатів проводились на персональному комп'ютері з

використанням прикладних програм.

Практичне значення одержаних результатів. В результаті виконання ДРМ обґрунтовано ефективність комбінованого способу сушіння зернових мас.

Апробація результатів роботи. Результати дипломної роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2023» 14 квітня 2023 року.

Публікації. **Перші наукові кроки – 2023:** збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (14 квітня 2023 р., м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2023. – 190 с.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Запропоновано конструкцію та методи розрахунку ротаційної сушарки з та конструкцію установки з використанням комбінації надвисокочастотної сушарки на основі досліджень і результатів. Сушарки забезпечують екологічно чисте сушіння зернових продуктів при підвищеній енергетичній ефективності установки.

2. Встановлено процес сушіння дисперсних харчових продуктів в установці з використанням комбінації надвисокочастотного сушіння та в ротаційній сушарці.

3. Визначено вплив режимних параметрів на процес сушіння зернових продуктів.

4. Встановлено вплив температури поверхні конденсатора на ступінь нагрівання зерна пшениці в апараті при постійній частоті обертання ротора, при збільшенні температури конденсатора в 1,5 разів температура зернової маси змінюється в 1,5 рази.

5. Визначено вплив режимних параметрів на процес сушіння зернових продуктів в надвисокочастотній сушарці, а саме вплив тривалості продування та нагрівання на швидкість сушіння. Для пшениці: збільшення тривалості продування в 2 рази призводить до збільшення швидкості сушіння в 1,2 рази.

6. Застосування ротаційного апарату в якості сушарок дає істотне зниження енерговитрат технологічної лінії - з 4,6 до 1МДж/кг продукції.

Термін окупності сушарки становить 4 сезони.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В. Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хіммеліорантів: автореф. дис. канд. техн. наук: 01.06.06. Нац. аграр. ун-т. К., 2006. 40 с
2. Абдуєв М. М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 ХНТУСГ. Харків, 2007. 21с.
3. Бакум М. В., Абдуєв М. М., Манчинський Ю. О. Розділення зернових сумішей у нахиленому повітряному каналі. Праці Таврійської державної аграрної академії. Мелітополь, 2005. Вип. 28. С. 14–22.
4. Бурдо О. Г., Безбах І. В., Донкоглов В. І. Кінетика сушіння пшениці в апаратах на базі термосифонів ОНАХТ : О, 2009. Вип. 36, Т. 1. С. 297-302.
5. Бурдо О. Г., Зиков В. І., Донкоглов В. І. Невтішний виходить моніторинг енергозатрат на зернопереробних підприємствах України. Зерно і хліб, 2006. № 3. С. 46-48.
6. Бурдо О. Г., Безбах І. В., Донкоглов В. І. Тенденції розвитку зерносушильної техніки. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. ХДУХТ : Х., 2007. Вип. 1 (5). С. 333-340.
7. Бурдо О. Г., Воскресенська О. В., Донкоглов В. І. Тенденції розвитку зерносушильної техніки. Зернові продукти і комбікорми, 2006. №2. С. 48-53.
8. Васильковський М. І., Гончарова С. Я., Лещенко С. М. Обґрунтування параметрів сепарації зерна в похилому повітряному потоці. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково - технічний збірник : Кіровоград, 2007. Вип. 37. 132-137с.
9. Васильковський О. М., Гончаров В. В., Петренко Д. І. Математична модель роботи відцентрово-пневматичного сепаратора зерна. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10. Т.8. 94-104с.

10. Гарькавий А. Д., Петриченко В. Ф., Спірін А. В. Конкурентоспроможність технологій і машин: Навчальний посібник. Вінниця : ВДАУ “Тірас”, 2003 68с.
11. Гулий І. С., Пушанко М. М., Мирончик Л. О. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Вінниця: Нова книга, 2001, 576с.
12. Дацишин О. В., Ткачук А. І., Чубов Д. С. Машини та обладнання переробних виробництв: Навч. посібник К.: Вища освіта, 2005. 159с.
13. Дідур В. А., Чебанов А. Б. Оптимізація параметрів пневмосепаратора для сепарації рушанки рицини. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2010. Вип.10, т.8.
14. Донкоглов В. І. Підвищення енергетичної ефективності зерносушіння. 73-я наук. конф. молодих учених, асп. і студ. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ ст.: прогр. і матеріали, Київ, 23- 24 квіт. 2007р.: у 2 ч. ч.ІІ. НУХТ : К., 2007. С. 150.
15. Єрмак В. П. Шляхи збільшення ефективності сепарування насінин у горизонтальному повітряному потоці. Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. Вип. 42 (54). Луганськ: ЛНАУ, 2004. С.66- 72.
16. Єрмак В. П. Результати досліджень розподілення швидкості повітряного потоку в межах основної сепараційної камери та відстані встановлення головної поділяючої заслінки сепаратора. Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія технічні науки. Луганськ, 2006. №68/97 С. 92-98.
17. Жидецький В. Ц., Джигерей В.С. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352с.
18. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 3, розділ 7. Очистка і сортування насіння. Х. : Око, 2006. 408 с.
19. Інтенсифікація процесу повітряної сепарації зерна / Васильковський М. І., Васильковський О. М., Лещенко С. М., [та ін.] Збірник наукових праць Таврійської державної агротехнічної академії. Сучасні проблеми землеробської механіки. Мелітополь, 2006. Вип. 39 С. 161-165.
20. Котов Б. І., Степаненко С. П., Швидя В. О. До теорії розділення зерна в повітряному потоці. Конструювання, виробництво та експлуатація

- сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград, 2009. Вип. 39. С 54 - 60.
21. Котов Б. І., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С 53-59.
22. Колодій О. С. Методика дослідження впливу геометричного положення насіння в просторі, при потраплянні у вертикальний аспіраційний канал сепаратору. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2013. Вип. 13. т3 С. 124-129.
23. Крекот М. М. Аналіз способів регулювання швидкості повітряного потоку в сепарувальних каналах насінноочисних машин. Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2012. Вип. 124, Т. 2. С. 366-373.
24. Крекот М. М. Обґрунтування параметрів процесу і розробка пневматичного сепаратора насіння овочевих культур: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. тех. Наук : спец 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» Харків, 2014. 20с.
25. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження раціональних розмірів вертикального аспіраційного каналу сепаратора насіння сільськогосподарських культур. Механізація сільськогосподарського виробництва. Харків : ХНТУСГ, 2014. Вип. 148. т.1. С. 56 – 63.
26. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Багатокритеріальний аналіз існуючих сепараторів насіння із різним робочим агентом. "Механізація сільськогосподарського виробництва". Харків : ХНТУСГ, 2015 Вип.156., т.1. 86с.
27. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Економічний розрахунок ефективності використання аеродинамічного сепаратора з вертикальним аспіраційним каналом. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2014. Вип. 14. С. 363-369.

28. Лещенко С. М., Васильковський О. М., Васильковський М. І. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. Вип. 18. Луцьк: ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. С 230-234.
29. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, С.П. Комарніцький. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. 51 с.
30. Мороз С. М., Васильковський О. М., Васильковський М. І. Аналіз багатошарового руху зерна на нерухомій похилій робочій поверхні. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград: КНТУ, 2011. Вип. 41. С. 203 - 208.
31. Михайлов Є. В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України. Мелітополь : Люкс, 2012. 260с.
32. Наказ Про затвердження Правил охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна: за станом на 20 вер.2017 р. / Міністерство соціальної політики України. Офіц. вид. К. : Голос України, 2017.
- 33 Науково-методологічні аспекти енергозбереження у харчових технологіях / О. Г. Бурдо, В. Г. Терзієв, О. В. Зиков, С. Гайда. Вісн. Держ.ун-ту "Львів. політехніка". Л., 2000. № 2. С. 25-28.
34. Петренко Д. І. Обґрунтування параметрів відцентрово - пневматичного сепаратора зерна: дис. кандидата, тех. наук: 05.05.11 Кіровоград, 2011. 157 с.
35. Петренко М. М. Основи наукових досліджень в сільськогосподарському машинобудуванні. Кіровоград : Кіровоградське державне видавництво, 2007. 148 с.
36. Подпрятков Г. І, Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М. Зберігання і переробка продукції рослинництва. Київ : «Мета», 2002.
37. Сало В. М., Лузан П. Г., Богатирьов Д. В. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання. Кіровоград : СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. 148 с.

38. Сало В. М., Петренко Д. І., Нестеренко О. В. Перспективні напрямки розвитку зерноочисної техніки переробних підприємств. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково - технічний збірник. Кіровоград : КНТУ, 2011. Вип. 41. ч 2. С. 3 - 10.
39. Степаненко С. П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі. Механізація сільськогосподарського виробництва Вісник ХНТУСГ. Харків. : ХНТУСГ, 2008. С 59-65.
40. Сисолін П. В., Петренко М. М., Свіренєв М. О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. К. : Фенікс, 2007. 432 с.
41. Сільськогосподарські та меліоративні машини : Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко [та ін.]. К. : Вища освіта, 2004. 544 с.
42. Скалецька Л. Ф., Духовська Т. М., Сеньков А. М., Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Київ : “Вища школа”, 2004.
43. Технологічне обладнання переробних та харчових виробництв. Лабораторний практикум для студентів інженерних спеціальностей / І. М. Бендера, О. М. Семенов, О. Я. Стрельчук [та ін.]. Кам'янець – Подільський : Абетка, 2008. 120 с.
44. Царенко О. М., Войтюк Д. Г., Швайко В. М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. К. : Мета, 2003. 448 с.
45. Чебанов А. Б. Обґрунтування конструктивно - технологічних параметрів пневматичного сепаратора рушанки рідини з пиловловлюючим пристроєм: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. тех. Наук : спец 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Мелітополь, 2013. 15с.