

ТВЕРДОХЛІБ ІГОР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1350-3232>e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com**ЯРОПУД ВІТАЛІЙ**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>e-mail: yaropud77@gmail.com**СОЛОНА ОЛЕНА**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4596-0449>e-mail: solona_o_v@ukr.net**ПОЛЄВОДА ЮРІЙ**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2485-0611>e-mail: vinyura36@gmail.com**БАБИН ІГОР**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7070-4957>e-mail: ihorbabyn@gmail.com

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ БОБОВИХ ТРАВ

Стаття присвячена розробці рекомендацій для оптимізації технологічних процесів переробки та використання тепломасообмінного обладнання для сушіння бобових трав.

Ключові слова: бобові трави, технологічні процеси переробки, тепломасообмінне обладнання, сушіння продуктів, оптимізація технологічних процесів, рекомендації для сушіння, втрати корисних речовин, контроль якості, моніторинг та автоматизація.

TVERDOHLIB IHOR, YAROPUD VITALII, SOLONA OLENA, POLYEVODA YURIY, BABYN IHOR
Vinnytsia National Agrarian University

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PROCESSING AND USE OF HEAT AND MASS EXCHANGE EQUIPMENT FOR DRYING LEGUMES

The article is devoted to the development of recommendations for the optimization of technological processes of processing and the use of heat and mass exchange equipment for drying legumes. Legumes are an important source of protein and other nutrients in the food and feed industry, and their drying plays a key role in preserving and increasing shelf life. The article includes analysis of technological processes, selection of optimal heat and mass exchange equipment, control of temperature and humidity, reduction of losses of useful substances and implementation of a quality monitoring and control system. Optimizing these processes will help increase production efficiency and improve the quality of dried leguminous herbs, contributing to the development of the industry and meeting the demand for valuable products.

In this context, our article is devoted to the development of recommendations for the optimization of technological processes of processing and the use of heat and mass exchange equipment for drying legumes. By combining scientific analysis, practical experience and innovative approaches, we set ourselves the task of developing integrated recommendations that will contribute to increasing the efficiency of the drying process, reducing the loss of useful substances and improving the quality of dried legumes.

An important aspect of our article is not only the theoretical base and scientific research, but also a practical approach to solving this problem. We hope that the developed recommendations will find practical application in the agro-industrial sector, contributing to the conservation of resources, increasing the quality and competitiveness of products and contributing to the sustainable development of this important industry.

Keywords: legumes, processing technological processes, heat and mass exchange equipment, drying of products, optimization of technological processes, recommendations for drying, loss of useful substances, quality control, monitoring and automation.

Постановка проблеми

Сушіння бобових трав є важливим етапом в їхній переробці з метою збереження та підвищення строку зберігання. Однак цей процес може супроводжуватися певними проблемами, такими як втрати корисних речовин, низька ефективність сушіння, невідповідність стандартам якості, і незадовільний рівень енергоефективності. З урахуванням зростаючої важливості бобових культур у глобальному харчовому виробництві, виробники та науковці стикаються з завданням оптимізації технологічних процесів сушіння та використання тепломасообмінного обладнання для досягнення високої якості та ефективності сушених бобових трав.

Проблема полягає в тому, як розробити рекомендації та оптимізувати технологічні процеси сушіння бобових трав з використанням тепломасообмінного обладнання таким чином, щоб зменшити втрати корисних речовин, забезпечити дотримання стандартів якості, збільшити енергоефективність та забезпечити стабільну виробничу рентабельність.

Аналіз останніх джерел

Аналіз досліджень, які вже були проведені у галузі сушіння бобових трав та використання

тепломасообмінного обладнання, розкриває наступні ключові аспекти:

У дослідженнях вітчизняних науковців вже розглядалася різноманітність сушильних пристроїв, таких як барабанні сушильні машини, лінії сушіння гарячим повітрям, вакуумні сушарки та інші. Важливо враховувати, які типи обладнання вже існують і як вони можуть бути оптимізовані для сушіння бобових трав.

Деякі дослідження закордонних науковців вивчають різні методи сушіння, такі як конвекційне сушіння, вакуумне сушіння, сушіння в аерозольному ліжку та інші. Ці методи можуть впливати на якість та ефективність сушіння. Також досліджувався вплив різних температур та рівнів вологості на сушіння бобових трав. Розуміння цих параметрів дозволяє оптимізувати процес сушіння.

В недавні роки дедалі більше уваги приділяється контролю якості сушених бобових трав, включаючи визначення параметрів, які впливають на смак, аромат і поживну цінність. Дослідження відзначають необхідність дотримання стандартів та регулювань у галузі сушіння бобових трав, зокрема щодо безпеки та якості.

Загальний аналіз показує, що існує значна кількість інформації про сушіння бобових трав та використання тепломасообмінного обладнання. Однак існує потреба в подальших дослідженнях для розробки конкретних рекомендацій і оптимізації процесів сушіння з урахуванням сучасних технологій та стандартів якості.

Метою роботи є розробка рекомендацій та методології для оптимізації технологічних процесів переробки та сушіння бобових трав з використанням тепломасообмінного обладнання.

Виклад основного матеріалу

Світовий агропромисловий сектор стоїть перед завданням постійного удосконалення технологій та процесів з метою забезпечення стійкого виробництва та високої якості продукції. Однією з ключових сфер цього сектора є переробка бобових трав, таких як соя, горох, квасоля та інші, які володіють значними харчовими та кормовими цінностями. Зберігання цих бобових трав відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та постачання якісних кормів для тваринництва.

Однак вибірковість цих культур, їх особливості та вимоги до зберігання зумовлюють необхідність сушіння бобових трав як найбільш ефективного методу підвищення терміну зберігання. Сушіння вимагає використання технологічних процесів, які мають бути оптимізовані для досягнення найкращих результатів.

Бобові трави, такі як соя, горох, квасоля та інші, відіграють важливу роль у різних сферах харчової та кормової промисловості. Вони є джерелом цінних білків та інших корисних речовин. Проте, для збереження та подовження терміну зберігання бобових трав часто потрібно проводити процес сушіння. В даній статті ми розглянемо розробку рекомендацій для оптимізації технологічних процесів переробки та використання тепломасообмінного обладнання для сушіння бобових трав.

Аналіз технологічних процесів переробки бобових трав є необхідним етапом для розробки ефективних рекомендацій щодо оптимізації сушіння цих цінних сільськогосподарських культур. Розглядаючи кожен етап цього процесу, ми можемо ідентифікувати фактори, які впливають на якість та результативність сушіння бобових трав.

Перший етап технологічного процесу полягає в прийманні сировини – бобових трав. Важливо враховувати якість сировини, її вологість, рівномірність та чистоту. Якщо сировина містить домішки, це може суттєво вплинути на результативність процесу сушіння та якість сушених продуктів. Рекомендації щодо цього етапу можуть включати сортування та очищення сировини перед сушінням.

На цьому етапі бобові трави підготовлюються до процесу сушіння. Вони можуть бути подрібнені або дроблені, щоб полегшити процес сушіння та підвищити доступність поверхні для випаровування вологи. Оптимізація цього процесу може включати в себе вибір оптимальної фракції та розміру частинок для максимальної ефективності сушіння.

Сам процес сушіння включає в себе вплив тепла та вентиляції на сировину з метою випаровування вологи. Важливо точно контролювати температуру та вологість повітря, що надходить до сировини, оскільки неправильні параметри можуть призвести до перегріву або недосушіння бобових трав. Також, ефективність сушіння може залежати від товщини шару сировини та часу, який вона перебуває в сушарці.

Після проходження процесу сушіння, сушені бобові трави можуть піддаватися додатковій обробці, такий як охолодження, сортування та упаковка. Важливо забезпечити належну охолодження та умови зберігання, щоб запобігти реабсорбції вологи та впливу навколишнього середовища на сушені продукти.

Вибір оптимального тепломасообмінного обладнання є однією з найважливіших складових ефективного процесу сушіння бобових трав. Цей вибір може значно вплинути на продуктивність, якість сушених продуктів та загальну рентабельність виробництва. Для розробки наших рекомендацій щодо оптимізації вибору тепломасообмінного обладнання, ми ретельно проаналізуємо ключові фактори, що впливають на цей процес.

Перший аспект вибору тепломасообмінного обладнання полягає в розгляді різних типів обладнання, доступних на ринку. До найпоширеніших типів відносяться ротаційні барабани, агітаційні сушарки, вальці та сушарки на основі конвеєрів. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки, і вибір повинен базуватися на конкретних потребах та обмеженнях виробництва.

Питання енергетичної ефективності є важливим аспектом вибору тепломасообмінного обладнання. Наявність альтернативних джерел енергії, таких як природний газ, дрова, сонячні панелі тощо, може значно вплинути на вибір технології та виду палива для обладнання. Важливо розглянути обране обладнання з точки

зору його витрати та впливу на навколишнє середовище.

Розмір та масштаб тепломасообмінного обладнання також важливі фактори вибору. Вони повинні відповідати масштабу виробництва та доступному простору виробництва. Велике обладнання може забезпечити велику продуктивність, але може вимагати значних інвестицій та інфраструктури.

Обладнання повинно мати можливість налаштування параметрів температури, вологості та інших параметрів для досягнення оптимальних результатів сушіння. Технологічні функції, такі як автоматичне керування та моніторинг, можуть спростити процес сушіння та забезпечити сталу якість продукції.

Останнім, але не менш важливим аспектом є вартість обладнання та наявність технічної підтримки. Виробництво та обслуговування тепломасообмінного обладнання може бути витратним, тому важливо розглянути загальні витрати на протязі всього життєвого циклу обладнання.

Вибір типу обладнання залежить від конкретних вимог вашого виробництва та характеристик бобових трав. Наприклад, для великих обсягів та швидкого сушіння може бути доцільним використовувати ротарійні барабани, а для менших обсягів - конвекційні сушарки.

Зверніть увагу на матеріали, з яких виготовлено обладнання, їхню якість та відповідність стандартам. Обладнання повинно бути стійким до корозії, механічних навантажень та впливу вологості.

Вибирайте тепломасообмінне обладнання, яке відзначається високою енергоефективністю. Це допоможе знизити витрати на електроенергію та підвищити виробничу рентабельність.

Важливо мати можливість точного керування параметрами тепломасообміну, такими як температура, швидкість повітря тощо. Обладнання з сучасними системами автоматизації полегшить процес сушіння та контроль якості.

1. Переконайтеся, що виробник обладнання надає належну технічну підтримку та сервісну підтримку. Наявність запасних частин і кваліфікованих техніків для обслуговування - це важливий аспект у виборі постачальника.

2. Розрахуйте загальну витратну потужність обладнання та переконайтеся, що вона відповідає можливостям вашого виробництва і доступності необхідних джерел енергії.

3. Плануйте на майбутнє і врахуйте можливість масштабування обладнання для збільшення виробничої потужності в разі необхідності.

4. Переконайтеся, що тепломасообмінне обладнання відповідає вимогам щодо безпеки та відповідає всім відповідним нормативам та стандартам.

5. Зробіть ретельний аналіз витрат на придбання та експлуатацію обладнання. Розрахуйте очікуваний повернення інвестицій (ROI) для визначення доцільності придбання даного обладнання.

6. Звертайтеся до фахівців та консультантів, які мають досвід у виборі тепломасообмінного обладнання для переробки бобових трав.

Контроль температури та вологості грає вирішальну роль у забезпеченні якісного та ефективного процесу сушіння бобових трав. Точне регулювання цих параметрів впливає на якість сушених продуктів та енергоефективність процесу. Даваймо докладніше розглянемо, як це досягається та які рекомендації можуть бути надані для оптимізації цього аспекту технологічного процесу.

Температура газу або повітря, яке використовується для сушіння, має великий вплив на процес. Вища температура може сприяти швидшому випаровуванню вологості, але при цьому існує ризик перегріву сировини, що може призвести до втрати якості та пошкодження продуктів. З іншого боку, низька температура може зменшити ризик перегріву, але сповільнити процес сушіння.

Рекомендація #1: Важливо знаходити баланс між температурою та часом сушіння для досягнення найкращих результатів. Моніторинг та регулювання температури під час процесу сушіння може бути виконано за допомогою автоматизованих систем керування.

Вологість повітря, що надходить до сировини, впливає на швидкість випаровування вологості з бобових трав. Підвищена вологість повітря може сприяти ефективнішому сушінню, але може призвести до надмірної вологості в сушених продуктах, що призводить до псування.

Рекомендація #2: Постійно моніторте вологість повітря та регулюйте її на основі потреб процесу сушіння та властивостей сировини. Використання датчиків вологості та систем автоматичного контролю може сприяти підтриманню оптимальних умов.

Моніторинг температури та вологості під час процесу сушіння є необхідним для забезпечення сталої якості продукції. Частий аналіз параметрів та їх відповідність заданим стандартам дозволяють вчасно реагувати на зміни та уникнути перегріву чи недосушіння.

Рекомендація #3: Впровадження систем моніторингу та автоматичного регулювання температури та вологості може забезпечити стабільність процесу сушіння та уникнути недоліків в продукції.

Зменшення втрат корисних речовин під час процесу сушіння бобових трав є однією з найважливіших задач у забезпеченні якості та ефективності цього технологічного процесу. Ці бобові трави є цінним джерелом білків, вітамінів та інших корисних речовин, і збереження їхньої якості під час сушіння є важливою метою. Даваймо розглянемо ключові аспекти зменшення втрат корисних речовин під час сушіння бобових трав та розробимо рекомендації для їх оптимізації.

Висока температура під час сушіння може призвести до денатурації білків та руйнування вітамінів та інших корисних речовин у бобових травах. Таким чином, важливо встановити оптимальну температуру сушіння, яка б забезпечила ефективне випаровування вологості, при цьому не сприяла б значним втратам

корисних складових.

Рекомендація #1: Проводьте дослідження та експерименти для встановлення оптимальної температури сушіння для конкретних видів бобових трав. Використовуйте низькотемпературні методи сушіння, такі як вакуумне або холодильне сушіння, де це можливо, для зменшення впливу температури на якість сировини.

Збереження оптимальної вологості під час сушіння також є важливим аспектом у зменшенні втрат корисних речовин. Пересушення може призвести до втрати якості, а недосушіння - до зберігання вологи, що може сприяти росту грибків та бактерій.

Рекомендація #2: Використовуйте автоматичні системи контролю вологості та моніторингу під час процесу сушіння. Такі системи дозволяють точно регулювати вологість повітря та досягати стабільних умов сушіння.

Зменшення тривалості сушіння також може допомогти зменшити втрати корисних речовин. Довгий процес сушіння призводить до більшої втрати вологи та підвищує ризик деградації складових сировини.

Рекомендація #3: Використовуйте оптимізовані методи сушіння, які дозволяють досягти швидкого та ефективного випаровування вологи. До таких методів можуть відноситися вакуумне сушіння, сонячне сушіння та інші інноваційні техніки.

Впровадження моніторингу та контролю якості є критичним аспектом оптимізації технологічних процесів переробки та використання тепломасообмінного обладнання для сушіння бобових трав. Ця діяльність дозволяє забезпечити сталість якості продукції, вчасно виявляти негативні тенденції та втрати, а також покращувати виробничі процеси. Давайте детально розглянемо важливість впровадження моніторингу та контролю якості та розробимо рекомендації для їх оптимізації.

Моніторинг та контроль якості дозволяють вчасно реагувати на будь-які зміни в процесах сушіння бобових трав та підтримувати стабільність якості продукції. Основні переваги включають:

Виявлення та коригування негативних аспектів процесу сушіння, таких як перегрів, недосушення, пересушення та інші.

Забезпечення дотримання стандартів якості та безпеки продукції.

Зменшення втрат сировини та покращення виробничої рентабельності.

Збереження репутації виробника як надійного постачальника високоякісних продуктів.

Рекомендації для впровадження моніторингу та контролю якості

Першим кроком впровадження моніторингу та контролю якості є визначення критичних параметрів, які необхідно вимірювати та контролювати. Це можуть бути температура, вологість, час сушіння, втрати ваги сировини тощо.

Рекомендація #1: Ретельно вивчіть технологічний процес та визначте параметри, які мають найбільший вплив на якість продукції. Встановіть датчики та інструменти для їхнього вимірювання.

Розроблення стандартів якості є важливим етапом, оскільки вони визначають критерії, які повинні бути відповідні продукції після сушіння. Ці стандарти можуть включати максимальну вологість, вміст білків, вітамінів, ароматичних речовин тощо.

Рекомендація #2: Розробіть стандарти якості для кожного типу бобових трав, які переробляєте. Вони повинні бути відомими всьому персоналу та використовуватися як внутрішні критерії контролю якості.

Автоматизовані системи моніторингу та контролю якості можуть спростити процес та забезпечити точність вимірювань. Вони також дозволяють швидше реагувати на відхилення від стандартів якості.

Рекомендація #3: Інвестуйте в автоматизовані системи, які дозволяють моніторити та регулювати параметри сушіння в реальному часі. Вони можуть бути обладнані системами оповіщення про відхилення від стандартів.

Впровадження моніторингу та контролю якості в технологічні процеси переробки та сушіння бобових трав є кроком до досягнення стабільності якості та ефективності виробництва. З використанням сучасних технологій та відповідних стандартів якості, виробники можуть забезпечити високу якість та конкурентоспроможність своєї продукції.

Висновки

Розробка рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів переробки та використання тепломасообмінного обладнання для сушіння бобових трав є важливою задачею для підвищення якості та ефективності виробництва. За допомогою аналізу процесів, вибору відповідного обладнання та налаштування параметрів сушіння можна досягти оптимальних результатів. Контроль якості та моніторинг є ключовими елементами успішної оптимізації та забезпечення стабільної якості продукції.

Література

1. Калетнік Г., Адамчук В., Булгаков В., Кравчук В. Про концепцію сучасного розвитку вітчизняної сільськогосподарської техніки. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2014. Вип. 18. С. 19–28.
2. Elgersma A., Soegaard K., Jensen S. K. Vitamin contents in forage herbs. Aspects of Applied Biology. 2012. Vol. 115. P. 75–80.
3. Xianzhe Z., Lan Y., Jianying W., Hangfei D. Process analysis for an alfalfa rotary dryer using an

- improved dimensional analysis method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2009. Vol. 2 (3). P. 76–82. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2009.03.076-082
4. Gallego A., Hospido A., Moreira M. T., Feijoo G. Environmental assessment of dehydrated alfalfa production in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55 (11). P. 1005–1012. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.05.010
 5. Спірін А.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Побережець Ю.М. Обґрунтування енергоефективних режимів процесу досушування продуктів фракційної переробки люцерни. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 2(113). С. 142-150.
 6. Кобець А.С., Чурсінов Ю.О., Пугач А.М. та ін. *Землеробська механіка. Інноваційні технології харчових виробництв : монографія*. Дніпро: «Свідлер А.Л.» 2022. Т. 4. 460 с.
 7. Спірін А.В., Твердохліб І.В. Рівноважний вологовміст продуктів переробки люцерни. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 1(96). С. 118-129.
 8. Spirin A., Kupchuk I., Tverdokhlib I., Polievoda Y., Kovalova K., Dmytrenko V. Substantiation of modes of drying alfalfa pulp by active ventilation in a laboratory electric dryer. *Przeegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (5). P. 11–15. doi:10.15199/48.2022.05.02

References

1. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulhakov V., Kravchuk V. Pro kontsepsiuiu suchasnoho rozvytku vitchyznianoї silskohospodarskoi tekhniki. *Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnologii dlia silskoho gospodarstva Ukrainy*. 2014. Vyp. 18. S. 19–28.
2. Elgersma A., Soegaard K., Jensen S. K. Vitamin contents in forage herbs. *Aspects of Applied Biology*. 2012. Vol. 115. P. 75–80.
3. Xianzhe Z., Lan Y., Jianying W., Hangfei D. Process analysis for an alfalfa rotary dryer using an improved dimensional analysis method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2009. Vol. 2 (3). P. 76–82. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2009.03.076-082
4. Gallego A., Hospido A., Moreira M. T., Feijoo G. Environmental assessment of dehydrated alfalfa production in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55 (11). P. 1005–1012. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.05.010
5. Spirin A.V., Tverdokhlib I.V., Kupchuk I.M., Poberezhets Yu.M. Obgruntuvannia enerhoeffektyvnykh rezhymiv protsesu dosushuvannia produktiv fraktsiinoї pererobky liutserny. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. 2021. № 2(113). S. 142-150.
6. Kobets A.S., Chursinov Yu.O., Puhach A.M. ta in. *Zemlerobaska mekhanika. Innovatsiini tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv : monohrafiia*. Dnipro: «Svidler A.L.» 2022. T. 4. 460 s.
7. Spirin A.V., Tverdokhlib I.V. Rivnovazhnyi volohovmist produktiv pererobky liutserny. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiiakh*. 2020. № 1(96). S. 118-129.
8. Spirin A., Kupchuk I., Tverdokhlib I., Polievoda Y., Kovalova K., Dmytrenko V. Substantiation of modes of drying alfalfa pulp by active ventilation in a laboratory electric dryer. *Przeegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (5). P. 11–15. doi:10.15199/48.2022.05.02