УДК 661.162.63:001

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ФРУКТІВ

Д. В. Гузик, кандидат технічних наук, доцент

А. В. Рибалка, студент магістратури

Національний університет

«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

E-mail: guzikd64@ukr.net

Анотація. У статті ставиться питання необхідності вирішення проблеми сушіння та зберігання фруктів. Доводиться актуальність сушки - як найбільш простий і економічний метод консервування фруктів. Зроблено аналіз останніх досліджень та публікацій, що були присвячені розгляду теоретичних й практичних аспектів розвитку сушіння фруктів і висвітлені в працях як вітчизняних, так і зарубіжних учених. Наведені головні вимоги до сушильних установок. Розглянуто способи сушіння фруктів. Сформульовані цілі і необхідність проведення експериментів з дослідження впливу змін температури повітря і швидкості його руху на процес сушіння. Визначені головні умови отримання на виході якісної сировини за короткий проміжок часу з мінімальними енергозатратами. Представлено конструкцію камерної конвективної сушарки, в якій проводилися досліді в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Наведено результати її перевірки на аеродинамічні та теплотехнічні показники. Проведені досліді з сушіння сливи, їх аналіз та порівняння. Обрано найбільш доцільний варіант сушіння сливи. Зроблені основні висновки за результатами проведених натурних лабораторних експериментів. Доведена необхідність і перспективи подальших досліджень з сушіння фруктів.

Ключові слова: *природне і конвективне сушіння, сушильна камера, стенд, слива, фрукти*

Актуальність. Україна є дуже плодоносним краєм, де вирощують велику кількість різних фруктів. Для збільшення терміну придатності цих продуктів їх оброблюють різними способами. Один із способів є сушіння.

Нині сушіння фруктів є дуже актуальним, оскільки воно дає змогу:

- зберігати корисні властивості продукції;
- збільшувати термін придатності;
- зменшувати площі та об'єми приміщення для зберігання продукції;

- зменшення ваги та об'єму продуктів для легшого транспортування.

Розробка нових технологій для збереження плодів та ягід необхідна для зниження втрат та отримання продуктів кращої якості і поживної цінності.

У багатьох технологічних процесах промисловості дуже широко використовується процес сушіння. Сушити можна різноманітні матеріали на різних стадіях їх переробки.

Метою сушіння є покращення фізико-механічних властивостей матеріалу або надання нових, зниження ваги матеріалу, покращення транспортабельності матеріалу, тощо. Однією з найголовніших проблем сьогодення є економія енергоресурсів, залучення в сферу їх виробництва нетрадиційних джерел, впровадження енергозберігаючих технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичні й практичні аспекти розвитку сушіння фруктів висвітлені в працях вітчизняних і зарубіжних вчених: Тарасенко Т. А., Євлаш В. В., Неміріч О. В., Вашека О. М., Гавриш А. В., Кравченко О. І., Білий О. Г., Паляничка Н. О., Снежкін Ю. Ф., Шапар Р. О., Петрова Ж. О., Чалаєв Д. М., Шаврін В. С., Воспітанніков Г. К. та ін.

До сушильних установок висувається достатньо багато вимог, а саме:

- забезпечення рівномірного сушіння та отримання високоякісної продукції по всьому об'єму сушильної камери;
- конструкція сушарки повинна мати мінімальні габарити з мінімальними витратами на матеріал, із якого вона виготовляється;
- сушильна установка має бути простою в обслуговуванні;
- на процес сушіння одиниці сировини повинно бути затрачено мінімальну кількість енергоресурсів.

Одним з основних факторів, що характеризує сушильну установку, є рівномірність сушіння. Для зменшення тривалості процесу сушіння потрібно здійснювати процеси зовнішнього тепло- та масообміну [1]. Ефективність сушильних установок залежить від таких факторів як комбіновані методи енергопідведення; раціональне включення сушильних установок в енергетичну та теплову схеми підприємства; невисока температура агента сушіння; вибір методів та

режимів сушіння; типу установки, тощо.. При проектуванні сушильної установки використовуються основні принципи технології сушіння. Залежно від сировини та об'ємів сушіння вибирається тип сушильної установки та її проектування для потрібних цілей [2].

У сушарках конвективного типу, які найбільше поширені в промисловості, як сушильний агент пропонується використовувати нагріте повітря [3].

Метою дослідження було встановлення впливу змін температури повітря і швидкості на процес сушіння, а також отримання на виході якісної сировини за короткий проміжок часу з мінімальними затратами на електроенергію.

Матеріали та методи дослідження. Нині відомо два основних способи сушіння: природне та сушіння нагрітим повітрям (конвективне), які є найбільш поширеними видами сушіння. Природне сушіння є дешевим і традиційним, але його застосування залежить від погодних умов і вимагає великих площ обробки. Крім того, необхідно захистити плоди і ягоди від комах і дрібних тварин та від контакту з джерелами бруду. При конвективному сушінні можна контролювати ці несприятливі фактори і збільшити середню швидкість сушіння.

Штучне сушіння фруктів, овочів та плодоягідних культур проводиться гарячим теплоносієм (повітрям, інфрачервоним випромінюванням) або при пониженому тиску, у вакуумі в розпилювальних сушарках. Сушильні камери, у яких використовується гаряче повітря чи підігріта пара, бувають шафного, тунельного, каналного, стрічкового типів[4].

Для проведення дослідження процесу сушіння використовувалась камерна конвективна сушарка, яка знаходиться в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Загальний вид стенду зображено на (рис. 1).

Основним елементом сушарки є камера (рис. 2), всередині якої розташовують сировину, що залишається нерухомою протягом всього процесу сушіння [1]. Опис установки наведено в [5,6,7].

Рис. 1. Загальний вид стенду:

1 – сушильна камера, 2 – повітряний нагнітач, 3 – електричний калорифер, 4 – спиртовий термометр, 5 – частотний регулятор, 6 – оглядове віконце

Рис. 2. Сушильна камера:

1 – лампа, 2 – термометр, 3 – решітка для сировини

Результати досліджень та їх обговорення. Дослідження температурного режиму. Метою проведених досліджень було визначення можливості регулювання кількісно-якісних показників параметрів агента сушіння, а саме температури та витрат.

За результатами випробовувань було отримано графік зміни температури у камері в залежності від швидкості агента сушіння (рис. 3). [5,6,7]

Рис. 3. Результати досліджень температурного режиму

Крім того були проведені обстеження сушильної камери за допомогою тепловізора – з метою з'ясування питання рівномірності розподілу температури на поверхні робочої частини стенду. Результати фотофіксації цих випробувань представлені на рис. 4.

Рис. 4. Теплова зйомка сушильної камери за допомогою тепловізора

Дослідження аеродинамічних характеристик. На другому етапі проводилось тестування стенду на аеродинамічні характеристики з метою визначення «застійних зон» (рис. 5) [5,6,7].

Рис. 5. Зображення «Застійних зон»

Дослідження процесів сушіння. Для визначення рівня впливу швидкості потоку повітря та температури на процес сушіння, було проведено ряд експериментів. Умовами кожного з експериментів були: стала теплова потужність, стала температура сушильного агенту (повітря) протягом усього експерименту та

однаковий проміжок часу сушіння. Як головні фактори, які приймалися при проведенні натурних випробувань були якість продукції і зміна її маси в часі. За основу було прийнято 2 год на проведення кожного досліду. Для сушіння було використано сливу. (рис. 6). До початку експерименту слива була помита і розрізана навпіл та очищена від кісточки.

Всі експерименти були проведені при сталій тепловій потужності та температурі протягом експерименту, але при зміні швидкості повітря протягом усіх експериментів.

Рис. 6. Підготовка сировини для проведення експерименту

До початку кожного експерименту заздалегідь вмикався стенд для встановлення в сушильній камері сталого температурного режиму. Перед розміщенням в камері порції сировини її було попередньо зважено. У ході досліджень проводилось вимірювання маси сировини (рис.7) через встановлений проміжок інтервалу сушіння, а саме кожні 15 хв проведення експерименту.

Рис. 7. Зняття показів маси сировини

Сировину на решітку було розкладено тонким шаром для більш рівномірного висушування по всій площі решітки (рис.8). Для того, щоб кожні 15 хв не діставати сировину з сушильної камери та не витрачати теплову енергію, було вирішено облаштувати стенд стаціонарними вагами. Це нам дало змогу вимірювати масу сировини не витрачаючи теплову енергію (рис.9).

Рис. 8. Решітка з сировиною в процесі сушіння

Рис. 9. Сушильна камера обладнана стаціонарними вагами

Отримані результати, з всіх чотирьох досліджень представлені в таблиці.

Таблиця. Результати лабораторних досліджень

Назва досліду		Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Теплова потужність, кВт		2,5			
Середня температура, °С		64	57	54	49
Швидкість, м/с		4,6	4,9	5,2	5,5
Положення регулятора		3	4	5	6
Маса, г	початкова	920	920	920	920
	після 15 хв	920	860	850	910
	після 30 хв	850	860	850	860
	після 45 хв	850	800	780	860
	після 1 год	790	800	780	860
	після 1 год 15 хв	790	750	730	800
	після 1 год 30 хв	740	750	730	800
	після 1 год 45 хв	740	750	680	750
	після 2 год.	740	680	680	750

За результатами проведених досліджень можна проаналізувати протікання процесу сушіння. Для більш чіткого розуміння було побудовано загальний графік втрати маси в часі (рис. 10). Для точності порівняння було прийнято рішення початкову масу сировини для всіх експериментів взяти однаковою.

Рис. 10. Порівняльний графік втрати маси чотирьох експериментів

Проаналізувавши графік досліджень можна спостерігати, що при однаковій початковій масі сировини в кожному експерименті, кінцева маса все ж таки відрізняється. Хоча в кожному експерименті використовувалася однакова теплова потужність, яка складала 2,5 кВт., але різна швидкість повітряного потоку, що і дало такий ефект. З графіка видно що в 2 і 3 дослідів кінцева маса сировини значно відрізняється від кінцевої маси сировини 1 і 4 дослідів. У зв'язку з цим можна сказати, що найбільш оптимальним варіантом сушіння сливи є 3 дослід, оскільки при таких параметрах агента сушіння слива сушиться найкраще. В 2 досліді отримали таку ж кінцеву масу сировини, що і в 3, але вважаємо, що оптимальним є 3 дослід, оскільки процес сушіння проходить більш плавно, ніж у 2 досліді. Умови сушіння 3 досліді: температура в камері 54 °С, швидкість повітряного потоку 5,2 м/с.

Висновки і перспективи. 1. Аеродинамічні випробування розробленої сушарки дають підстави говорити про доцільність організації руху агента сушіння чітко по вертикалі (знизу вгору) - для запобігання утворення "застійних зон" [5,7].

2. Дослідження температурного режиму лабораторного стенду показали можливість регулювання кількісно-якісних показників у досить великому діапазоні.

3. З проведених дослідів було визначено найбільш доцільний варіант сушіння сливи, коли отримується якісна сировина за короткий проміжок часу та з мінімальними енергозатратами.

Подальші дослідження повинні бути направлені на удосконалення стенду, а саме теплоізоляцію сушильної камери для зменшення тепловтрат; а також розробка комп'ютерної системи керування сушильною камерою [8], що в подальшому зменшить трудомісткість процесу сушіння [7].

Список використаних джерел

1.Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Вінниця: ВНТУ, 2009. 86 с. Режим доступу: <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf> – Назва з екрана.

2.Строй А. Ф., Борщ О. Б., Мякохліб Р. С., Гирман Л. В. Розробка проектів різних видів сушарок. Каталог наукових розробок. Полтава: ПолтНТУ, 2011. С. 165.

3.Тарасенко Т. А., Євлаш В. В., Неміріч О. В., Вашека О. М., Гавриш А. В., Кравченко О. І. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2015. Т. 17, № 4 (64). С. 148-158.

4.Бессараб О. С. Технологія сушіння плодів та овочів. К.: НУХТ, 2002. 84 с.

5.Гузик Д. В., Єршов М.П. Експериментальні випробування лабораторного стенда для дослідження процесів сушіння. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. КНУБА. 2018. Вип. 27. 79 с.

6.Гузик Д. В., Рибалка А. В. Лабораторні дослідження процесів сушіння лікарських трав при застосуванні примусової конвекції. Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 2. (Полтава, 22 квітня – 17 травня 2019 р.). Полтава: Полт НТУ, 2019. С. 180-181.

7.Гузик Д. В., Борщ О. Б., Рибалка А.В. Експериментальні дослідження процесів сушіння лікарських рослин. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2019. Вип. 30. С. 43-50.

8.Комп'ютерна система керування сушильною камерою Режим доступу: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/541/524>.

References

1. Tkachenko, S. Y., Cpivak O. Yu. (2009). Sushylni protsesy ta ustanovky [Drying processes and installations: textbook] Vinnytsia: VNTU, 86. Available at: <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf>].
2. Story, A. F., Borsch, O. B., Miagkohlib, R. S., Girman, L. V. (2011). Rozrobka proektiv riznykh vydiv susharok. Kataloh naukovykh rozrobok. [Development of projects of different types of dryers. Catalog of scientific developments]. Poltava: PoltNTU, 165.
3. Tarasenko, T. A., Yevlash, V. V., Nemirich, O. V., Vasheka, O. M., Gavrish A. V., Kravchenko O. I. (2015). Teoretychne doslidzhennia sposobiv sushinnia ovochiv ta fruktiv. [Theoretical study of methods of drying vegetables and fruits]. Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Gzhytskoho, 17, №4 (64), 148-158.
4. Bessarab O. S. (2002). Tekhnolohiia sushinnia plodiv ta ovochiv [Technology of drying fruits and vegetables]. Kyiv: NUHT, 84.
5. Guzyk D. V., Ershov M. P. (2018). Eksperymentalni vyprobuvannia laboratornoho stenda dlia doslidzhennia protsesiv sushinnia [Experimental tests of a laboratory stand for research of drying processes]. Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohozopostachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. KNUBA, 27, 79.
6. Guzyk D. V., Rybalka A. V. (2019). Laboratorni doslidzhennia protsesiv sushinnia likarskykh trav pry zastosuvanni prymusovoi konveksii [Laboratory research of medical herbs drying processes with the use of forced convection]. Tezy 71-oi naukovoï konferentsii profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv universytetu. Tom 2. Poltava: Polt NTU, 180-181.
7. Guzyk D. V., Borsch O. B., Rybalka A. V. (2019). Eksperymentalni doslidzhennia protsesiv sushinnia likarskykh roslyn [Experimental researches of processes of drying of medicinal plants]. Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohozopostachannia, 30, 43-50.
8. Komp'uterna systema keruvannia sushylnoi kameroiu [Computer control system of the drying chamber]. Available at: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/541/524>.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ФРУКТОВ

Д. В. Гузик, А. В. Рибалка

Аннотация. В статье ставится вопрос о необходимости решения проблемы сушки и хранения фруктов. Приводится актуальность сушки, как наиболее простого и экономичного метода консервирования фруктов. Проведен анализ последних исследований и публикаций, посвященных рассмотрению теоретических и практических аспектов развития сушки фруктов, которые освещены в работах как отечественных, так и зарубежных ученых. Приведены главные требования к сушильным установкам. Рассмотрены способы сушки фруктов. Сформулированы цель и необходимость проведения экспериментов по исследованию влияния изменений температуры воздуха и скорости его движения на процесс сушки. Определены главные условия получения на выходе качественного сырья за короткий промежуток времени с минимальными энергозатратами. Представлена конструкция камерной конвективной сушилки, в которой проводились опыты в

лаборатории кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и теплоэнергетики Национального университета «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка». Приведены результаты ее проверки на аэродинамические и теплотехнические показатели. Проведены опыты по сушке сливы, их анализ и сравнение. Выбран наиболее целесообразный вариант сушки сливы. Сделаны основные выводы по результатам проведенных натурных лабораторных экспериментов. Доказана необходимость и перспективы дальнейших исследований по сушке фруктов.

Ключевые слова: *естественная и конвективная сушка, сушильная камера, стенд, слива, фрукты*

EXPERIMENTAL STUDIES OF FRUITS DRYING PROCESSES

D. Guzyk, A. Rybalka

Abstract. *The article raises the question of the need to solve the drying and storing fruits problem. The actuality of drying is the simplest and most economical method of fruit preservation. The analysis of recent studies and publications devoted to the consideration of theoretical and practical aspects of the development of fruit drying is made and highlighted in the works of domestic and foreign scientists. Drying plants main requirements are given. Methods of fruit drying are considered. The goals and necessity of carrying out experiments to study the influence of changes in air temperature and air velocity on the drying process are formulated. The main conditions for obtaining high-quality raw materials at the output in a short period of time with minimal energy consumption have been determined. The design of a convection dryer chamber in which experiments were carried out in the laboratory of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Heat Power Engineering of the National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic" is presented. The results of its verification for aerodynamic and thermal performance are presented. Drying plums experiments, their analysis and comparison have been spent. The most expedient variant of plum drying was chosen. The main conclusions based on the results of the conducted field laboratory experiments are made. The necessity and prospects of further research on fruit drying have been proved.*

Key words: *natural and convective drying, drying chamber, stand, plum, fruits*