

Изучение кинетики сушки плодовых выжимок

Фролов Д.И., Павлова Ю.А.

Аннотация. В статье изучали скорость сушки плодовых выжимок. Выжимки яблок, голубики (дикой и культурной), малины, аронии черноплодной и вишни сушили при температуре 45°C до равновесного содержания влаги в лабораторной сушилке. Исследуемые выжимки, за исключением малины, показали два периода сушки: период сушки с постоянной скоростью и период сушки с падающей скоростью. Наибольшая продолжительность сушки наблюдается в выжимках культивируемой голубики. Высушенные выжимки являются сырьем для использования в функциональных продуктах питания с определенным содержанием биологически активных веществ и антиоксидантной активностью.

Ключевые слова: сушка, скорость сушки, кинетика, выжимки, плоды.

Для цитирования: Фролов Д.И., Павлова Ю.А. Изучение кинетики сушки плодовых выжимок // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 2. С. 42–45. EDN: UAXJYW.

Studying the kinetics of drying fruit pomace

Frolov D.I., Pavlova Yu.A.

Abstract. The article studied the speed of drying fruit pomace. Pomace of apples, blueberries (wild and cultivated), raspberries, chokeberry and cherries were dried at a temperature of 45°C to equilibrium moisture content in a laboratory dryer. The pomace studied, with the exception of raspberries, showed two drying periods: a drying period with a constant speed and a drying period with a decreasing speed. The longest drying time is observed in pomace of cultivated blueberries. Dried pomace is a raw material for use in functional foods with a certain content of biologically active substances and antioxidant activity.

Keywords: drying, drying speed, kinetics, pomace, fruit.

For citation: Frolov D.I., Pavlova Yu.A. Studying the kinetics of drying fruit pomace. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 2. pp. 42–45. EDN: UAXJYW. (In Russ.).

Введение

Сушка продуктов является одной из основных операций в пищевой промышленности, потребляющей большое количество энергии. Высушенные продукты стабильны в условиях окружающей среды, имеют длительный срок хранения и могут быть легко включены в рецептуру и приготовление пищи. Сушка - сложный процесс, включающий одновременный перенос массы и тепла, сопровождающийся физическими и структурными изменениями. Эти изменения влияют на характеристики сушки материалов. Качество высушенного продукта зависит от качества сырья и изменений, происходящих в процессе сушки.

Сушка с использованием тепловых насосов находит все большее применение в пищевой промыш-

ленности для сушки орехов, фруктов, овощей, трав и рыбных продуктов во многих странах. Известно, что при использовании в операциях сушки тепловые насосы являются энергоэффективными. В отличие от обычных воздушных сушилок, сушилка с тепловым насосом является более экономичной, поскольку она может извлекать и повторно использовать тепло циркулирующего воздуха в замкнутом цикле и скрытую энергию водяного пара, полученного при сушке продукта. Между тем, сушилка с тепловым насосом способна сушить при более низкой температуре, поэтому она выгодна для сушки высококачественных продуктов при относительно низких затратах [4, 5].

Знание кинетики сушки важно для проектирования, моделирования и оптимизации процессов сушки. Кривые сушки обычно выражаются эмпи-

рическими моделями, определяющими константы скорости сушки на основе уравнений регрессии первого порядка, построенной по экспериментальным данным, и зависят от формы продукта [1]. Эмпирические модели широко используются для различных пищевых материалов из-за их более простого подхода. Однако проблемы с точностью ограничивают применение эмпирических моделей. Некоторые ограничения эмпирических моделей могут быть уменьшены путем использования полумпирических моделей, основанных на тепло- и массообмене в процессе сушки [3].

В последние годы растет интерес к оценке и использованию отходов, образующихся в пищевой промышленности. Выжимки, образующиеся при производстве соков, состоят из прессованной кожицы, разрушенных клеток мякоти фрукта, семян и плодоножек. Прессованная яблочная кожица характеризуется высоким содержанием полифенолов. Яблочные выжимки обладают более высокой антиоксидантной активностью по сравнению с переработанным яблочным соком [2].

Цель данного исследования - изучить кинетику сушки выжимки различных плодов в сушилке с тепловым насосом.

Объекты и методы исследований

Предметом исследования являются выжимки из яблок, голубики (дикой и культурной), малины, аронии черноплодной и вишни. Выжимки являются побочным продуктом, получаемым при переработке сока. Яблоки охлаждались и хранились до переработки на сок. Выжимки замораживались.

Исследуемые образцы имели массу 0,8 кг и были высушены при температуре 45°C (до равновесного содержания влаги) и скорости воздуха 1,5 м/с в лабораторной сушилке с тепловым насосом. Начальное и конечное содержание влаги в выжимках плодов показано в таблице 1.

Кривые процесса сушки получены на основе экспериментальных данных:

$$U = f(\tau) \quad (1)$$

где U - содержание влаги (кг влаги/кг сухого вещества);

τ - время сушки (мин).

Уравнения для скорости сушки получены из

кривых процесса сушки с применением графического дифференцирования:

$$dU / d\tau = f(U) \quad (2)$$

Скорость сушки в первый период процесса описывается уравнением:

$$- dU / d\tau = N = \text{const} \quad (3)$$

где N - скорость сушки в первый период процесса (мин⁻¹).

Приближая кривую сушки во второй период процесса к прямой линии, скорость сушки описывается уравнением:

$$- dU / d\tau = K (U - U_0) \quad (4)$$

где K - коэффициент сушки (мин⁻¹);

U_0 - равновесное содержание влаги.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные кривые сушки выжимки из выбранного плодового сырья показаны на рисунке 1. Они показывают изменения содержания влаги в продуктах в зависимости от времени при постоянной температуре и скорости воздуха сушки. Очевидно, что изменения содержания влаги в выжимках из яблок и малины во времени являются наибольшими и наименьшими, соответственно.

Скорость сушки постоянно уменьшается с увеличением времени сушки или уменьшением содержания влаги. В начале процесса сушки скорость сушки очень высока, и скорость сушки продолжает снижаться по мере приближения содержания влаги к равновесному содержанию влаги. Подобные результаты представлены другими исследователями [4].

Для выжимки из яблок, голубики и аронии черноплодной характерны два периода сушки: период сушки с постоянной скоростью и период сушки с падающей скоростью. Эти периоды менее заметны при сушке выжимки из голубики и вишни. Постоянная минимальная скорость сушки наблюдается при сушке выжимки малины, учитывая, что начальная влажность материала намного ниже, чем у других выжимок.

Сушка выжимки из яблок и вишни проходит с высокой скоростью. Начальное содержание влаги в этих выжимках примерно в два раза выше, чем в выжимках голубики, малины и аронии черноплодной, но процесс сушки заканчивается примерно за одинаковое для всех время.

Таблица 1 – Содержание влаги (U , г / кг) в выжимках плодов

Выжимки	Сырье	Высушенный
Образец 1: Яблочные выжимки	818,5	50,4
Образец 2: Выжимка вишни	798,2	69,8
Образец 3: Выжимки из дикой голубики	646,1	62,3
Образец 4: Выжимки культивируемой голубики	733,2	44,8
Образец 5: Выжимки из малины	778,9	96,4
Образец 6: Выжимки из аронии черноплодной	732,6	45,5

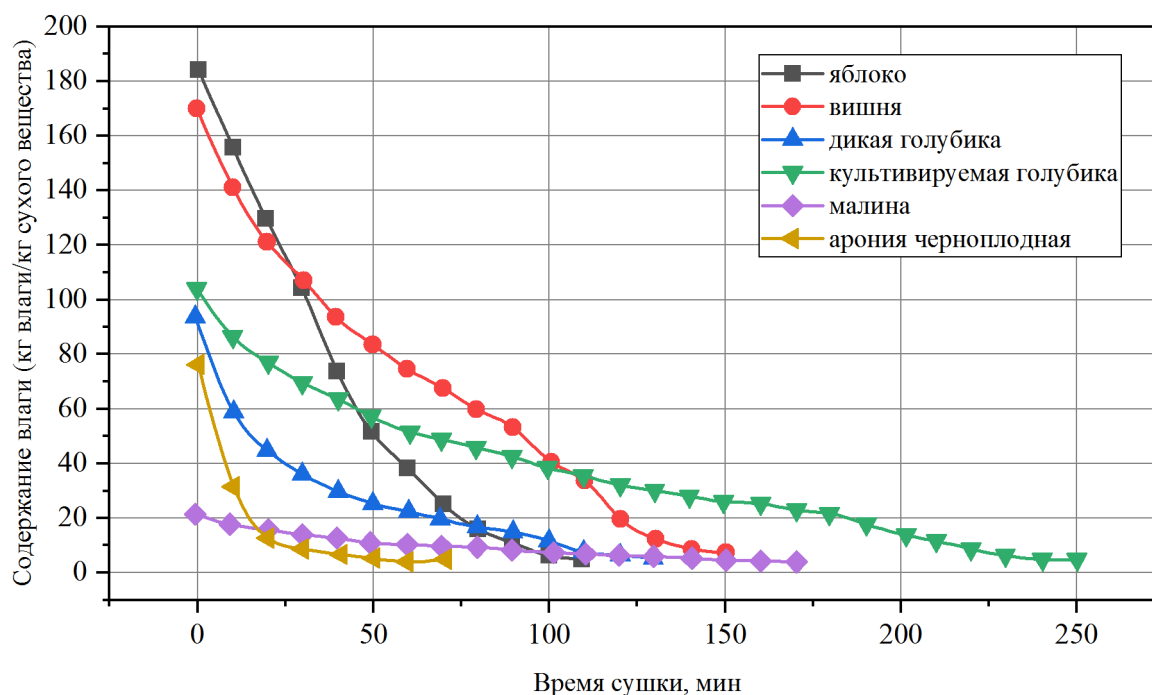


Рис. 1. Экспериментальные кривые сушки плодовых выжимок

Таблица 2 – Скорость сушки (N , мин^{-1}) и коэффициент сушки (K , мин^{-1}) плодовых выжимок

№	N , мин^{-1}	R^2	K , мин^{-1}	R^2
Образец 1	2,660	0,999	0,024	0,984
Образец 2	1,161	0,948	0,035	0,958
Образец 3	1,880	0,904	0,017	0,858
Образец 4	0,742	0,943	0,008	0,790
Образец 5	0,878	0,980	0,016	0,958
Образец 6	3,204	0,951	0,028	0,949

Коэффициент сушки является важным параметром, характеризующим интенсивность влагообмена. Он является необходимой мерой при проектировании сушилок.

Значения скорости сушки в первый период процесса и коэффициентов сушки во второй период процесса для выжимки плодов приведены в таблице 2. Показано, что полученные кинетические константы очень хорошо коррелируют с экспериментальными данными, так как коэффициенты детерминации для всех образцов высокие ($R_2 > 0,75$). Значения скорости сушки в первый период процесса варьируются от 0,74 (выжимки голубики) до 3,2 мин^{-1} (выжимки аронии черноплодной). Коэффициент сушки во второй период процесса самый высокий в выжимках

вишни (0,0345 мин^{-1}). Он самый низкий в выжимках культивируемой голубики (0,0081 мин^{-1}), в которых время сушки самое длительное.

Различия во времени сушки применительно к скорости сушки, скорее всего, обусловлены различиями в структуре и составе, а также значительными различиями в начальном содержании влаги в выжимках плодов.

Выводы

Исследована кинетика процесса сушки плодовых выжимок в сушилке с тепловым насосом. Исследованные выжимки плодов, за исключением малины, показали два периода сушки: период сушки с постоянной скоростью и период сушки с падающей скоростью.

Различия во времени сушки применительно к скорости сушки, обусловлены различиями в структуре и составе, а также значительными различиями в начальном содержании влаги в выжимках плодов.

Сушеные выжимки являются сырьем для использования в функциональных продуктах питания с определенным содержанием биоактивных веществ и антиоксидантной активностью.

Литература

- [1] Короткова Т.Г., Данильченко А.С., Истошина Н.Ю. Исследование кинетики сушки пивной дробины // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 4 (376). С. 80–83. EDN HЛAKCJ.

References

- [1] Korotkova T.G., Danilchenko A.S., Istoshina N.Yu. Study of the kinetics of drying brewer's grains. Izvestia of higher educational institutions. Food technology. 2020. No. 4 (376). pp. 80–83. EDN HЛAKCJ.

- [2] Кунашева Ж.М. Исследование влияния различных дозировок порошка из яблочных выжимок на питательную ценность булочек детских // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2021. № 4 (34). С. 53–58. EDN TUXXYG.
- [3] Ольшанский А.И. Кинетика теплообмена и экспериментальные методы расчета температуры материала в процессе сушки // Инженерно-физический журнал. 2013. Т. 86. № 3. С. 584–594. EDN: QAKNMX.
- [4] Оптимизация процесса сушки зерновых культур в барабанной сушилке с тепловым насосом / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, В.В. Ткач, Н.А. Сердюкова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 1 (361). С. 74–78. EDN YUPVEB.
- [5] Печерица М.А., Степанова Е.Г. Расчет низкотемпературной распылительной сушилки яблочных выжимок с тепловым насосом // Научные труды северо-кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2020. Т. 29. С. 59–67. EDN ALWYDD.
- [2] Kunasheva Zh.M. Study of the influence of different dosages of apple pomace powder on the nutritional value of baby buns. V.M. Kokova. 2021. No. 4 (34). pp. 53–58. EDN TUXXYG.
- [3] Olshansky A.I. Kinetics of heat transfer and experimental methods for calculating the temperature of the material during drying. Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. 2013. V. 86. No. 3. S. 584–594. EDN QAKNMX.
- [4] Optimization of the process of drying grain crops in a drum dryer with a heat pump / A.N. Ostrikov, A.A. Shevtsov, V.V. Tkach, N.A. Serdyukova // News of higher educational institutions. Food technology. 2018. No. 1 (361). pp. 74–78. EDN YUPVEB.
- [5] Pecheritsa M.A., Stepanova E.G. Calculation of a low-temperature spray dryer for apple pomace with a heat pump // Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking. 2020. V. 29. S. 59–67. EDN ALWYDD.
- [6]

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>	<p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>
<p>Павлова Юлия Александровна студент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Pavlova Yulia Alexandrovna student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>