УДК 66-931

СПОСОБ СУШКИ СВЕКЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ-КОНВЕКТИВНЫМ УСТАНОВКИ

Сафаров Ж.Э.
Ташкентский государственный технический университет
E-mail: jasursafarov@yahoo.com
Султанова Ш.А.
Ташкентский государственный технический университет Хокимият города Ташкента
Нажафли М.Р.
Ташкентский государственный технический университет ООО "Alov Insaat", Республика Азербайджан
Махмудова Л.А.
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
Эшмаматов Ж.М.
Ташкентский государственный технический университет

Аннотация. В данной работе анализируются параметры сушки свеклы с использованием устройства, ускоряющего процесс конвективной сушки с помощью ультразвука. Перед сушкой образцы пищевых продуктов часто предварительно обрабатывают ультразвуком в диапазоне 20-40 кГц. Высокоинтенсивный ультразвук вызывает явление, известное как кавитация, которое полезно для удаления влаги, плотно связанной с клетками. Кавитация может быть достигнута с помощью ультразвука. Образцы также отбирались при различных температурах в процессе сушки свеклы.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, свекла, сушка, скорость воздуха, частота, время сушки, температура.

Annotatsiya. Ushbu maqolada ultratovush yordamida konvektiv quritishni tezlashtiradigan qurilma yordamida lavlagi quritish parametrlari tahlil qilinadi. Quritishdan oldin oziq-ovqat namunalari ko‘pincha 20-40 kHz diapazonida ultratovush bilan oldindan ishlov beriladi. Yuqori intensivlikdagi ultratovush kavitatsiya deb nomlanuvchi hodisani keltirib chiqaradi, bu hujayralarga mahkam bog'langan namlikni olib tashlash uchun foydalidir. Kavitatsiyaga ultratovush yordamida erishish mumkin. Namunalar lavlagi quritish jarayonida turli haroratlarda ham to'plangan.

Kalit so‘zlar: ultratovush, kavitatsiya, lavlagi, quritish, havo tezligi, chastota, quritish vaqti, harorat.

ISSN 3030-3907

Abstract. This paper analyzes the parameters of beet drying using a device that accelerates convective drying using ultrasound. Before drying, food samples are often pre-treated with ultrasound in the 20-40 kHz range. High-intensity ultrasound induces a phenomenon known as cavitation, which is useful for removing moisture tightly bound to cells. Cavitation can be achieved using ultrasound. Samples were also collected at various temperatures during the beet drying process.

Key words: ultrasound, cavitation, beet, drying, air velocity, frequency, drying time, temperature

ВВЕДЕНИЕ.

В последние годы предварительная обработка ультразвуком стала одним из наиболее распространенных видов механической предварительной обработки, и она показала обнадеживающие результаты с точки зрения улучшения свойств сушки фруктов и овощей. Перед сушкой образцы продуктов питания часто подвергаются предварительной обработке ультразвуком в диапазоне 20-40 кГц. Ультразвук с высокой интенсивностью вызывает явление, известное как кавитация, которое полезно для удаления содержимого влаги, прочно связанного с клеткой. Кавитация может быть достигнута с помощью использования ультразвука. Ультразвуковые устройства способны производить акустическую кавитацию, которая представляет собой образование и схлопывание пузырьков воздуха внутри системы [1].

За последние несколько десятилетий ультразвук (УЗ), как одна из альтернативных зеленых технологий, широко использовался в пищевых технологиях. Он используется для различных задач, включая экстракцию, замораживание, удаление пестицидов, очистку, эмульгирование, дегазацию, гомогенизацию, размораживание, экстракцию, консервацию, кристаллизацию, фильтрацию, консервацию и сушку. Ультразвук в первую очередь использует акустические волны для создания механических и химических эффектов, которые принципиально отличаются от тех, которые используются в обычных методах для достижения этих целей. Руководящая идея этой технологии заключается в сокращении времени обработки, экономии энергии и повышении качества, безопасности и срока годности пищевых продуктов [1].

ЛИТЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ. Механизм, посредством которого ультразвуковая энергия генерирует мощные волны из кавитации в жидких растворах, зависит от свойств жидкости, наличия воздуха и акустической мощности ультразвуковой системы [1].

В таблице 1 приведены некоторые примеры того, как США использовались для улучшения и усовершенствования различных процессов. Эта технология была внедрена в пищевой сектор в результате механического и

ISSN 3030-3907

химического воздействия, которое ультразвук оказывает на процедуры гомогенизации, смешивания, экстракции, фильтрации, кристаллизации, сушки, ферментации и дегазации. Противопенные действия, уменьшение размеров частиц, временные или постоянные изменения вязкости, модуляция роста живых клеток, разрушение клеток и дисперсия агрегатов, инактивация микроорганизмов и ферментов и стерилизация – некоторые из эффектов, которые могут быть вызваны этими эффектами [1-2].

Таблица 1

Химические и механические эффекты ультразвука в пищевой науке [1, 3]

Химические и биохимические эффекты	Механические воздействия
Микробиологическая инактивация	Кристаллизация
Стерилизация	Дегазация
Инактивация ферментов	Вспенивание
Удаление пестицидов	Сушка
Очистка сточных вод	Эмульгирование
	Замораживание
	Фильтрация
	Извлечение
	Тендеризация
	Гомогенизация

В настоящее время внимание технологов пищевой промышленности сосредоточено на производстве продуктов питания, которые не только долговечны и безопасны для микроорганизмов, но и имеют улучшенный внешний вид, ощущение во рту, питательную ценность и вкус [1, 4].

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Дэн и др. провели обзор химической и физической предварительной обработки, которая была выполнена на фруктах и овощах. Они обнаружили, что, несмотря на то, что химическая предварительная обработка может ускорить процесс сушки, она приводит к потере растворимых питательных веществ и создает проблемы с безопасностью пищевых продуктов из-за остатков химикатов. Предварительная обработка теплом может устранить микробы, сделать текстуру более управляемой и ускорить процесс сушки. С другой стороны, она приводит к тому, что продукты имеют нежелательное качество. Таким образом, нетермические, зеленые и инновационные решения (такие как ультразвук, микроволны, импульсное электрическое поле и т.д.) лучшей альтернативой для устранения этих недостатков. Использование ультразвука для предварительной обработки пищевых продуктов перед сушкой становится все более популярным

ISSN 3030-3907

в последние годы и продемонстрировало потенциал для значительного сокращения времени, необходимого для сушки [5]. Как было указано ранее, кавитация, образование микроканалов и губчатый эффект, которые ультразвуковая предварительная обработка оказывает на пищевой материал, привели к его широкому применению перед процессом сушки (рис. 1) [1].

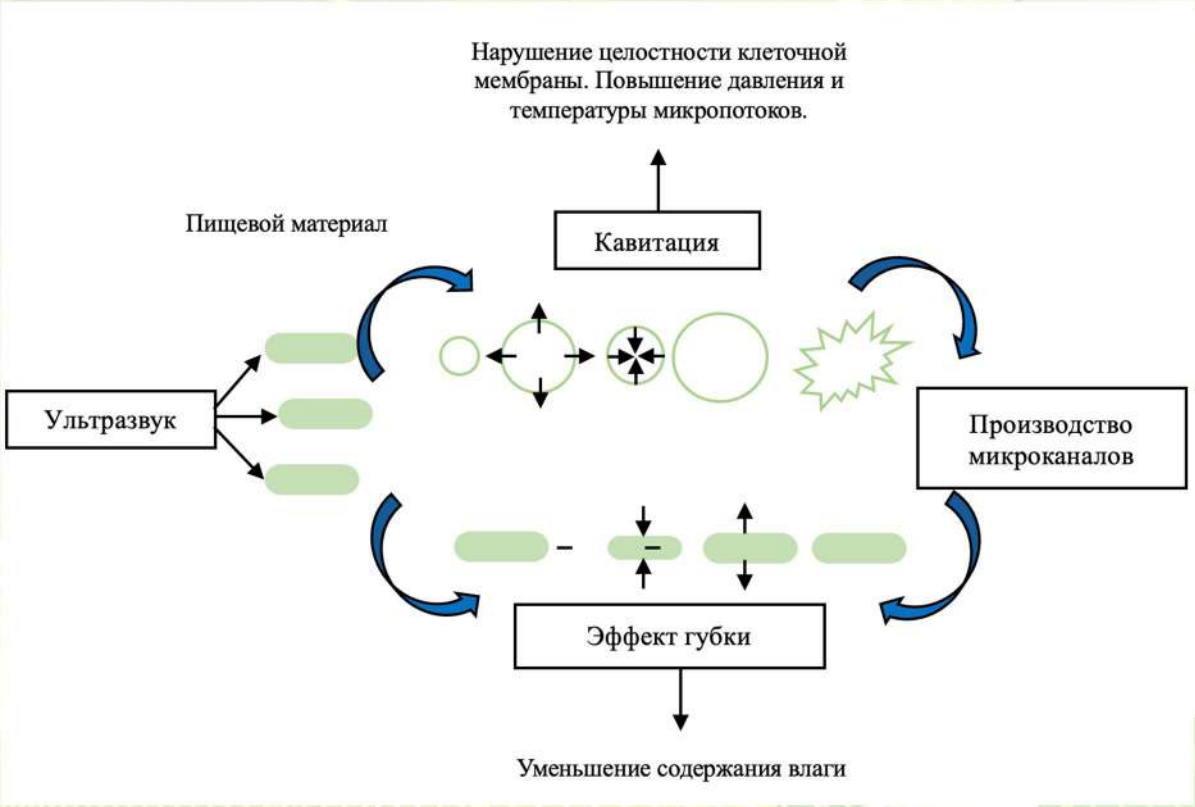


Рис. 1. Воздействие ультразвука на пищевые материалы перед сушкой [6]

Пей и др. провели исследование, чтобы определить, как предварительная обработка ультразвуком, за которой затем следовала сушка в дальней инфракрасной области спектра, повлияла на скорость сушки, разницу в цвете и микроструктуру шафрана. Кроме того, было проанализировано влияние продолжительности предварительной обработки (30 и 60 с) и температуры сушки (50, 60, 70 и 80 °C) на первичный химический состав шафрана, общее содержание флавоноидов, антиоксидантную активность и летучие ароматические компоненты. Согласно результатам, продолжительность предварительной обработки привела к сокращению общего количества времени, необходимого для сушки. После предварительной обработки в течение шестидесяти секунд время сушки сократилось на 21,05%, особенно при установке температуры на 50 °C [1, 7-8].

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ. Были проведены экспериментальные исследование по качественной сушке листья и стебле столовой свеклы в ультразвуковой конвективной сушилке (таблица 2-3) [9-13]. Эксперимент проводился на образцах с различными параметрами,

ISSN 3030-3907

влияющими на сушку в процессе испытания. В таблице 4 представлена результаты снимки в процессе сушки столовой свеклы.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований ультразвуково-конвективной сушки листьев столовой свеклы

№	Температура, °C	Скорост воздуха, м/с	Изменение времени под воздействием ультразвука на процесс сушки, мин.			
			0 кГц	20 кГц	30 кГц	40 кГц
1	45	0,50	600	500	462	429
2		0,75	400	333	308	286
3		1,00	300	250	231	214
4	55	0,50	491	409	378	351
5		0,75	327	275	252	234
6		1,00	245	255	230	210
7	65	0,50	415	346	320	297
8		0,75	277	231	213	198
9		1,00	208	173	160	148

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований ультразвуково-конвективной сушки стебле столовой свеклы

№	Время, мин	Скорост воздуха, м/с	Изменение времени под воздействием ультразвука на процесс сушки, мин.			
			0 кГц	20 кГц	30 кГц	40 кГц
1	45	0,50	630	530	496	462
2		0,75	420	350	325	305
3		1,00	310	260	241	224
4	55	0,50	510	420	392	368
5		0,75	340	280	260	243
6		1,00	255	275	240	220
7	65	0,50	435	355	330	188
8		0,75	290	235	142	122
9		1,00	215	175	131	109

Таблица 4

Процесс сушки столовой свеклы

№	Параметры	До сушки	После сушки

ISSN 3030-3907

1	Сушка листьев свеклы при температуре 55 ^{0}C, на частоте 30 кГц				
					
2	Сушка стебля свеклы при 55 ^{0}C на частоте 30 кГц				
					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Экспериментальная исследование по качественной сушке столовой свеклы проводилась в ультразвуково-конвективном сушильном установке. Определены оптимальные параметры качественной сушки и получены следующие результаты:

начальная влажность листа столовой свеклы составила 90%, конечная влажность 10%, скорость воздуха 0,75 м/с, воздействие ультразвука 20 кГц, температура сушки 55 ^{0}C, время сушки 275 минут;

начальная влажность стебля столовой свеклы составила 85%, конечная влажность 10%, скорость воздуха 0,75 м/с, воздействие ультразвука 20 кГц, температура сушки 55 ^{0}C, время сушки 280 минут. Сушку рекомендуется проводить с учетом этих параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pandiselvam R., Alev Yüksel Aydar, Naciye Kutlu, Raouf Aslam, Prashant Sahni, Swati Mitharwal, Mohsen Gavahian, Manoj Kumar, Anto´nio Raposo, Sunghoon Yoo, Heesup Han, Anjineyulu Kothakota. Individual and interactive effect of ultrasound pre-treatment on drying kinetics and biochemical qualities of food: A critical review. Ultrasonics Sonochemistry 92, 2023. 106261. p.1-20.

2. Gallo M., Ferrara L., Naviglio D. Application of ultrasound in food science and technology: a perspective, Foods 7 (10), 2018. 164. p.1-7. https://doi.org/10.3390/foods7100164.

ISSN 3030-3907

3. Mousakhani-Ganjeh A., Amiri A., Nasrollahzadeh F., Wiktor A., Nilghaz A., Pratap-Singh A., Khaneghah A.M. Electro-based technologies in food drying-A comprehensive review, LWT-Food Sci. Technol. 145, 2021. 111315. p.1-18. https://doi. org/10.1016/j.lwt.2021.111315.
4. Aydar A.Y. Emerging extraction technologies in olive oil production. In Technological innovation in the olive oil production chain. IntechOpen. 2018. p.11-20. 10.5772/intechopen.78420.
5. Aydar A.Y., Yilmaz T., Mataraci C., Sag˙lam T. Gıdaların Kurutulmasında Ultrason O¨n I˙s¸leminin Kullanımı, J. Inst. Sci. Technol. 11 (2), 2021. p.1165-1175, https:// doi.org/10.21597/jist.775565.
6. Xu B., Tiliwa E.S., Yan W., Azam S.R., Wei B., Zhou C., Bhandari B. Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: a review, Food Res. Int. 2021. 110744. p.1-15. https://doi.org/10.1016/j. foodres.2021.110744.
7. Nowacka M., Dadan M., Ultrasound-Assisted Drying of Food, in: M. Gavahian (Ed.), Emerging Food Processing Technologies. Methods and Protocols in Food Science, Humana, New York, NY, 2022. p.1-24. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2136-3_7.
8. Zhang L., Liao L., Qiao Y., Wang C., Shi D., An K., Hu J. Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pre-treatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying, Food Chem. 303, 2020. 125386. p.1-9. https://doi. org/10.1016/j.foodchem.2019.125386.
9. Najafli M.R., Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Mukhiddinov Q.A. Types of drying devices and principles of operation. V International scientific-technical conference “Innovative solutions: sustainable development in agriculture and food industry”. -Tashkent, 2025. P.375-377.
10. Najafli M.R., Safarov J.E., Sultanova Sh.A. The oretical analysis of the convective drying process of beets. V International scientific-technical conference “Innovative solutions: sustainable development in agriculture and food industry”. -Tashkent, 2025. p.254-255.
11. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Нажафли М.Р. Применение ультразвуково-конвективной технологии при сушке пищевых продуктов. // Central Asian Food Engineering and Technology. Tashkent, 2025/2. Vol.3., Iss. 2. C.20-28.
12. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Нажафли М.Р. Механизм переноса воды в пористых средах. // Central Asian Food Engineering and Technology. Tashkent, 2024. Vol.2., Iss. 8. C.152-157.

ISSN 3030-3907

13. Нажафли М.Р., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Теоритическое исследование переноса влаги для твердой фазы. // Central Asian Food Engineering and Technology. Tashkent, 2024. Vol.2., Iss. 10. C.141-146.

ISSN 3030-3907