



Ultratovush-konvektiv quritish jarayonida issiqlik oqimini mo'tadil taqsimlanishini ta'minlash

Jasur E. Safarov¹, Shaxnoza A. Sultanova², Muhammad R. Najafli³, Azamat B. Usenov^{1,a}

¹ t.f.d., prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; jasursafarov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0003-0349-8986>

² Toshkent shahar hokimi o'rinbosari, Toshkent, ko'cha. Islom Karimov 51, t.f.d., prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; ; sh.sultanova@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0002-5492-1636>

³ Alov Insaat" MChJ kompaniyasi direktori, Boku, 20, 61 Ziyu Bunyadov, Ozarbayjon;

^{1,a} PhD, dots., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; azamat_usenov_92@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0970-981X>

Dolzarbli: quritish jarayonlarini optimallashtirish energiya tejamkorlikni ta'minlaydi. Bugungi kunda esa ushbu ko'rsatkich muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolada qizil lavlagini quritish qurilmasining haroratlari taqsimlanishi tahlil qilingan. Tahlil qilish qizil lavlagining bir qancha turlari ustida amalga oshirilgan. Quritish qurilmasida berilayotgan haroratlarning butun kamera bo'yicha teng taqsimlanishi jarayonni mo'tadil kechishini ta'minlaydi. Quritish jarayonida namunaning dastlabki namligi 86-89%, oxirgi namligi esa 15-17% ga yetgunga qadar amalga oshirilgan. Ushbu tadqiqotlarda namuna qalinligi 7-8 mm qilib kesilgan chastotasi 20-30 kHz bo'lgan ultratovush ta'sir ettirilgan.

Maqsad: qizil lavlagini quritish jarayoni rejimlari va parametrlarini aniqlash hamda quritish jarayonida ultratovushlardan foydalanishni tahlil qilish va asoslash.

Usullari: xalqaro tajribalarning qiyosiy tahlil usullaridan foydalaniladi.

Natijalar: qurilmaning kamerasing harorati 55 °C bo'lganda optimal quritish rejimiga erishilganligi aniqlangan. Undan tashqari tadqiqotimizda ultratovush ta'siri ham tahlil qilingan bo'lib, quritish jarayonida diffuziyaning tezlashuvi hamda issiqlikning taqsimlanishiga ijobiy ta'sir etishi aniqlangan.

Kalit so'zlar: quritish, harorat, Beta Vulgaris, тепловизор, issiqlik oqimi, muvozanat, havo tezligi

For citation: Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Najafli M.R., Usenov A.B Ensuring uniform distribution of heat flow in the process of ultrasonic-convective drying. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 335-341.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18640595>

Received: 03.04.2025

Revised: 17.04.2025

Accepted: 09.07.2025

Published: 27.12.2025

Copyright: © Jasur E. Safarov, Shaxnoza A. Sultanova, Muhammad R. Najafli³, Azamat B. Usenov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Обеспечение равномерного распределения теплового потока в процессе ультразвуково-конвективной сушки

Жасур Э. Сафаров¹, Шахноза А. Султанова², Мухаммад Р. Нажафли³, Азамат Б. Усенов^{1,a}

¹ DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; jasursafarov@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0003-0349-8986>

² Заместитель хокима г. Ташкента, Ташкент, ул. Ислама Каримова, 51, DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; ; sh.sultanova@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0002-5492-1636>

³ Директор компании ООО «Алов Иншаат», Баку, 20, 61 Зия Буньядова, Азербайджан;

^{1,a} PhD, доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; azamat_usenov_92@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-0970-981X>

Актуальность: оптимизация процессов сушки обеспечивает энергосбережение. На сегодняшний день данный показатель имеет важное значение. В данной статье проанализировано распределение температур в сушильной установке для красной свёклы. Анализ проводился на нескольких сортах красной свёклы. Равномерное распределение подаваемой температуры по всей камере сушильной установки обеспечивает стабильное протекание процесса. В процессе сушки начальная влажность образца составляла 86–89%, а конечная — 15–17%. В данных исследованиях образцы толщиной 7–8 мм подвергались воздействию ультразвука с частотой 20–30 кГц.

Цель: определить режимы и параметры процесса сушки красной свёклы, а также проанализировать и обосновать применение ультразвука в процессе сушки.

Методы: использованы методы международного опыта сравнительного анализа.

Результаты: установлено, что при температуре 55 °C в камере установки достигается оптимальный режим сушки. Кроме того, в исследовании проанализировано воздействие ультразвука, которое положительно влияет на ускорение диффузии и равномерное распределение тепла в процессе сушки.

Ключевые слова: сушка, температура, Beta Vulgaris, тепловизор, тепловой поток, равновесие, скорость воздуха.

Ensuring uniform distribution of heat flow in the process of ultrasonic-convective drying

Jasur E. Safarov¹, Shaxnoza A. Sultanova², Muhammad R. Najafli³, Azamat B. Usenov^{1,a}

¹ DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; jasursafarov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0003-0349-8986>

² Deputy Mayor of Tashkent, Tashkent, 51 Islam Karimov St., DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; sh.sultanova@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0002-5492-1636>

³ Director company "Alov Insaat" LLC, Baku, 20, 61 Ziya Bunyadov, Azerbaijan;

^{1,a} PhD, assoc. prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; azamat_usenov_92@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0970-981X>

Relevance: optimization of drying processes ensures energy efficiency. Nowadays, this indicator plays a crucial role. This article analyzes the temperature distribution in a drying unit for red beetroot. The analysis was carried out on several varieties of red beetroot. Uniform distribution of the supplied temperature throughout the drying chamber ensures stable process conditions. During the drying process, the initial moisture content of the sample was 86–89%, while the final moisture content reached 15–17%. In these studies, samples with a thickness of 7–8 mm were subjected to ultrasonic treatment at a frequency of 20–30 kHz.

Aim: to determine the drying regimes and parameters of red beetroot, as well as to analyze and justify the use of ultrasound during the drying process.

Methods: comparative analysis methods of international practices were applied.

Results: it was found that at a chamber temperature of 55 °C, the optimal drying regime was achieved. In addition, our study analyzed the effect of ultrasound, which was found to have a positive impact on accelerating diffusion and improving the distribution of heat during the drying process.

Keywords: drying, temperature, *Beta Vulgaris*, thermal imager, heat flux, equilibrium, air velocity.

1. Введение (Introduction)

Сушка определяется как удаление влаги из вещества или материала, на которое влияет, например, снижение активности испарения воды, что может замедлить скорость деградации и сохранить качество [1-2]. Это также процедура, при которой свободная вода в растительной пище значительно уменьшается, что приводит к концентрации сухого вещества без влияния на ткани, полезность или физический вид еды. Сушеные продукты имеют несколько преимуществ, таких как увеличенный срок годности, меньшая упаковка, хранение и стоимость транспортировки, а также перспективы всепогодной доступности вместе с большим выбором товаров для покупателей [1]. В статье рассматривается процесс сушки свеклы как пищевого продукта.

Свеклу разделяют на три вида сортов: кормовую, сахарную и столовую:

- кормовая свекла – техническая культура, обладает молокогонным действием у мелкого и крупного рогатого скота; служит подкормкой для кроликов [3];

- сахарная свекла – также относится к техническим сортам, выращивают для сахарной промышленности [3];

- столовая свекла – используется в кулинарии.

Используется также листовая свекла (Мангольд), которая, благодаря своей урожайности и удобству культивирования, набирает все большую популярность [3].

Свекла требует больше тепла, чем другие корнеплоды. Это самый светолюбивый корнеплод среди корнеплодов. Оптимальная относительная влажность почвы 75-80 процентов. Почти во всех регионах Узбекистана выращивают 15 сортов свеклы [4].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

В данной работе с целью проведения эксперимента использовалась столовая свекла раннего срока созревания, вегетационный период 108 дней (рис.1) [4].



Рис. 1. Общий вид столовой свеклы (*Beta Vulgaris* L.)

Fig. 1. General appearance of table beet (*Beta Vulgaris* L.)

Форма плода округлая, масса 200-250 г., длина 15-17 см, диаметр 13-14 см, вкус сладкий. Урожайность 65 т/га. Создан на Сурхандарьинской научно-опытной станции Научно-исследовательского института овощебахчевых культур и картофеля. Включен в Государственный реестр в 2010 году. Рекомендован для посадки во всех регионах нашей страны.

В данном исследовании, для наблюдения равномерности распределения теплового потока во время сушки свеклы использовался тепловизор Testo-883 (рис. 2).



Рис. 2. Тепловизор Testo-883
Fig. 2. Thermal imager Testo-883

3. Результаты и обсуждение (Results and discussion)

Проведены лабораторные эксперименты и изучены температурные поля в ультразвуково-конвективной сушильной установке процессе сушки столовой свеклы (рис. 3-7).

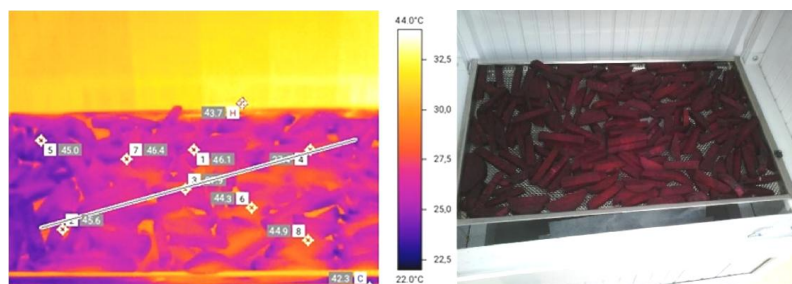


Рис. 3. Измерение температуры процесса сушки мякоти столовой свеклы при 45 °С
Fig. 3. Measuring the temperature of the drying process of beet pulp at 45 °С

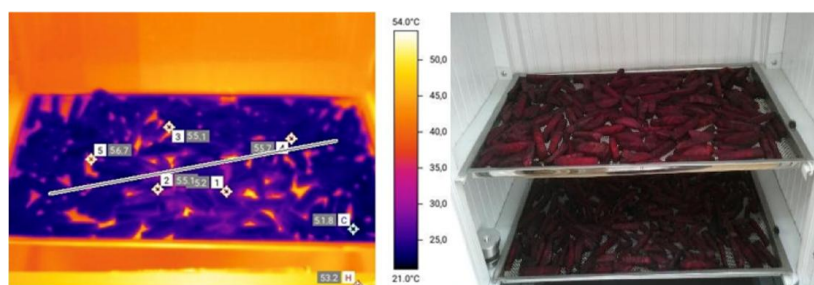


Рис. 4. Измерение температуры процесса сушки мякоти столовой свеклы при 55 °С
Fig. 4. Measuring the temperature of the drying process of beet pulp at 55 °С

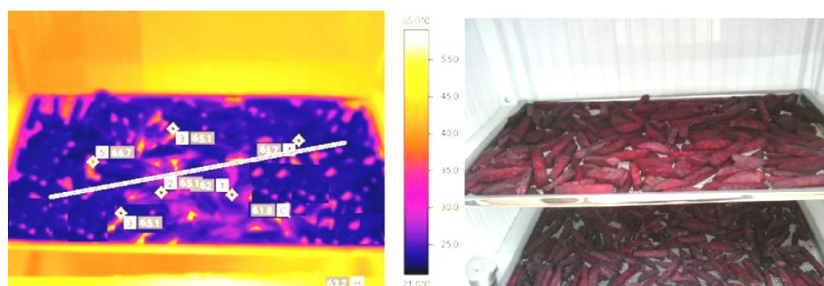


Рис. 5. Измерение температуры процесса сушки мякоти столовой свеклы при 65 °С
Fig. 5. Measuring the temperature of the drying process of beet pulp at 65 °С

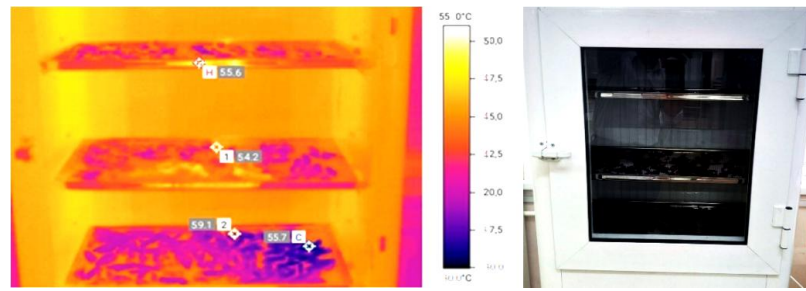


Рис. 6. Равномерность распределения теплового потока внутри сушильной камеры
Fig. 6. Uniform distribution of heat flow inside the drying chamber

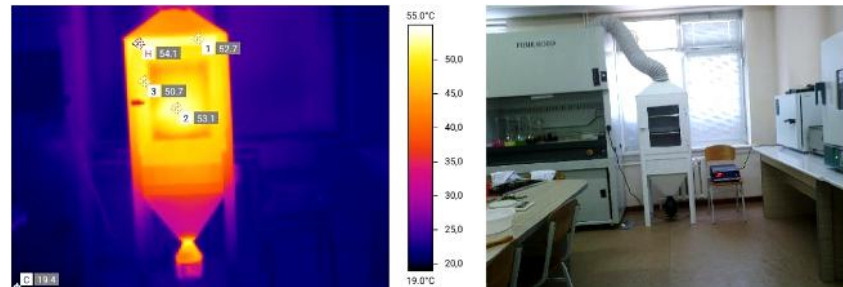


















Рис. 7. Общий вид температур сушильной установки
Fig. 7. General view of the temperatures drying unit

В табл.1 показаны снимки процесса сушки столовой свеклы. В табл.2 представлена часть итоговых результатов по ультразвуково-конвективной сушке мякоти столовой свеклы

Таблица 1. Процесс сушки столовой свеклы
Table 1. The process of drying beetroot

№	Параметры	До сушки		После сушки	
1	Сушка мякоти свеклы при температуре 55 °С				
					
2	Сушка мякоти свеклы при температуре 55 °С, на частоте 30 кГц				
					

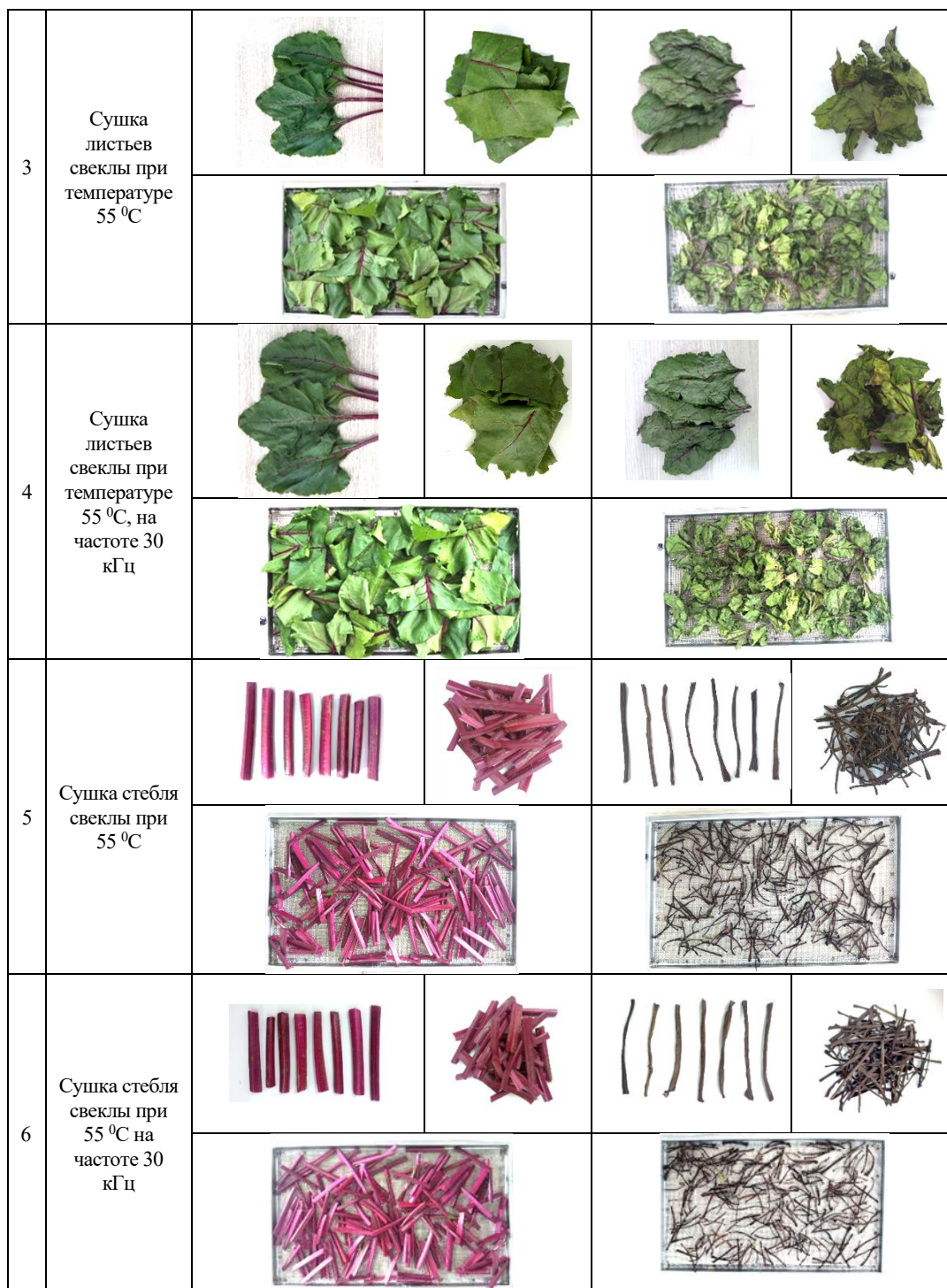


Таблица 2. Итоговые результаты экспериментальных исследований по ультразвуково-конвективной сушке мякоти столовой свеклы

Table 2. Final results of experimental research on ultrasonic-convective drying of beet pulp

№	Начальная влажность, %	Конечная влажность, %	Температура, °С	Скорость воздуха, м/с	Воздействие ультразвука, кГц	Время, мин
1	86-89	15-17	45	0,5	0	600
2	86-89	15-17			20	450
3	86-89	15-17			30	420
4	86-89	15-17			40	390
5	86-89	15-17		0,75	0	480
6	86-89	15-17			20	420
7	86-89	15-17			30	36
8	86-89	15-17			40	330
9	86-89	15-17			1	0



10	86-89	15-17			20	360
11	86-89	15-17			30	330
12	86-89	15-17			40	300
13	86-89	15-17	55	0,5	0	450
14	86-89	15-17			20	360
15	86-89	15-17			30	330
16	86-89	15-17		40	300	
17	86-89	15-17		0,75	0	390
18	86-89	15-17			20	330
19	86-89	15-17	30		270	
20	86-89	15-17	1	40	240	
21	86-89	15-17		0	330	
22	86-89	15-17		20	270	
23	86-89	15-17		30	240	
24	86-89	15-17	65	0,5	40	210
25	86-89	15-17			0	360
26	86-89	15-17			20	270
27	86-89	15-17			30	240
28	86-89	15-17		40	210	
29	86-89	15-17		0,75	0	300
30	86-89	15-17			20	210
31	86-89	15-17			30	180
32	86-89	15-17	40		150	
33	86-89	15-17	1	0	270	
34	86-89	15-17		20	180	
35	86-89	15-17		30	150	
36	86-89	15-17		40	120	

4. Заключение (Conclusion)

Экспериментальное исследование по качественной сушке столовой свеклы проводилось в ультразвуково-конвективной сушильной установке [5-7], в которой наблюдение за равномерным распределением теплового потока во время сушки столовой свеклы проводилось с помощью тепловизора. При этом определены оптимальные параметры качественной сушки для различных условий и получены следующие результаты:

начальная влажность мякоти столовой свеклы составляла 86-89%, конечная влажность: 15-17%, толщина слоя 7-8 мм, скорость воздуха 1 м/с, воздействие ультразвука частотой 30 кГц, температура сушки 55 °С, время сушки 240 минут;

начальная влажность листа столовой свеклы составляла 90%, конечная влажность 10%, скорость воздуха 0,75 м/с, воздействие ультразвука частотой 20 кГц, температура сушки 55 °С, время сушки 275 минут;

начальная влажность стебля столовой свеклы составляла 85%, конечная влажность 10%, скорость воздуха 0,75 м/с, воздействие ультразвука частотой 20 кГц, температура сушки 55 °С, время сушки 280 минут.

Процессы сушки свеклы рекомендуется проводить с учетом результатов проведенного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Satyajit Bhattacharjee, Pravakar Mohanty, Jatindra K. Sahu, J.N. Sahu. A critical review on drying of food materials: Recent progress and key challenges. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 158, 2024. 107863. p.1-37.
2. Anderson J.-O., Westerlund L. Improved energy efficiency in sawmill drying system, *Appl. Energy*. 113, 2014. p.891-901.
3. <https://agroportal.biz/custom/svekla-vidy-sortov-ih-rentabelnost-03102019/>.
4. <https://www.agro.uz/osh-lavlagi/#1623989576781-4fe84672-5853>.
5. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Najafli M.R., Dadayev G.T. Analysis and study of the drying curve for the purpose of mathematical modelling. XIII International scientific and practical conference



“Scientific achievements in solving current problems of production and processing of raw materials, standardization and food safety”. -Kiev, 2025. P.231-233.

6. Дадаев Г.Т., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Нажафли М.Р. Систематический анализ осмотического давления процесса сушки фруктов. /V Международный научно-технической конференции «Инновационные решения: устойчивое развитие в сельском хозяйстве и пищевой промышленности». -Ташкент, 2025. -С.296-298.

7. 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. -С.141-146.

REFERENCES

1. Satyajit Bhattacharjee, Pravakar Mohanty, Jatindra K. Sahu, J.N. Sahu. A critical review on drying of food materials: Recent progress and key challenges. International Communications in Heat and Mass Transfer. 158, 2024. 107863. p.1-37.

2. Anderson J.-O., Westerlund L. Improved energy efficiency in sawmill drying system, Appl. Energy. 113, 2014. p.891-901.

3. <https://agroportal.biz/custom/svekla-vidy-sortov-ih-rentabelnost-03102019/>.

2. <https://www.agro.uz/osh-lavlagi/#1623989576781-4fe84672-5853>.

5. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Najafli M.R., Dadayev G.T. Analysis and study of the drying curve for the purpose of mathematical modelling. XIII International scientific and practical conference “Scientific achievements in solving current problems of production and processing of raw materials, standardization and food safety”. -Kiev, 2025. P.231-233.

6. Dadayev G.T., Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Najafli M.R. Sistemicheskiy analiz osmoticheskogo davleniya protsessa sushki fruktov. V Mejdunarodniy nauchno-texnicheskoy konferensii «Innovatsionnie resheniya: ustoichivoye razvitiye v selskom xozyaistve i pishevoï promishlennosti». -Tashkent, 2025. S.296-298.

7. Najafli M.R., Safarov J.E., Sultanova Sh.A. Teoriticheskoye issledovaniye perenosa vlagi dlya tverdoï fazi. // Central Asian Food Engineering and Technology. Tashkent, 2024. Vol.2., Iss. 10. S.141-146.