



Предварительная обработка сушки дыни с использованием солнечного излучения и естественного вакуума*

Мирзаев Ш. М., Хакимова С. Ш., Кодиров Ж. Р.^а

Бухарский государственный университет
705018, Узбекистан, г. Бухара, ул. Мухаммеда Икбола, 11

^аавтор-корреспондент: qodirov.jobir@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2025.04.012-036

Заключение совета рецензентов: 02.02.25

Заключение совета экспертов: 17.04.25

Принято к публикации: 30.04.25

В данной статье представлен способ предварительной обработки сушки дыни с использованием солнечного излучения и естественного вакуума. Результаты свидетельствуют, что после двухдневной предварительной обработки на открытом солнце масса неразрезанных дынь уменьшилась на 3,1%, а у обработанных на солнечной установке – масса уменьшилась на 10,1%.

Сушеная дыня, предварительно обработанная на солнечной установке, позволила сократить время потери массы образца от 28% до 40% по отношению к образцу, обработанному на открытом солнце.

Результаты этого исследования могут быть важны для предоставления информации, разработки новых условий предварительной обработки перед сушкой фруктов и овощей, являющихся альтернативой традиционной сушке и подходящих для промышленного контекста.

Ключевые слова: температурный напор; предварительная обработка; ломтики дыни; количество влаги; парциальное давление паровоздушной смеси; кожура дыни; фотон ИК излучения; межклеточное пространство; тепловое излучение водяного пара; модель абсолютно черного тела; солнечная установка; конвективная сушилка; процесс сушки.

Мирзаев Ш. М., Хакимова С. Ш., Кодиров Ж. Р. Предварительная обработка сушки дыни с использованием солнечного излучения и естественного вакуума // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 04(433) 2025, стр. 12-16

Mirzaev Sh. M., Khakimova S. Sh., Kodirov J. R. Pre-treatment of melon drying using solar radiation and natural vacuum // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 04(433) 2025, pp. 12-16

*Статья прошла апробацию и была представлена в виде доклада на Девятом Всемирном Конгрессе «Альтернативная Энергетика и Экология» – WCAEE-2025

*The article was tested and was presented in the form of a report at the Ninth World Congress «Alternative Energy and Ecology» – WCAEE-2025



Pre-treatment of melon drying using solar radiation and natural vacuum

Mirzaev Sh. M., Khakimova S. Sh., Kodirov J. R.^a

Bukhara State University
705018, Uzbekistan, Bukhara, st. Muhammad Ikbol, 11

^acorresponding author: qodirov.jobir@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2025.04.012-036

Referred: 02.02.25

Received in revised form: 17.04.25

Accepted: 30.04.25

This article presents a method for pre-treatment of melon drying using solar radiation and natural vacuum. After two days of open-air exposure, the weight of uncut melons decreased by 3,1%. For those treated with a solar installation, the decrease was 10,1%. Pre-treated melons in a solar installation reduced the time for weight loss by 28-40%, compared to those processed in open air. These findings may be useful for developing new pre-treatment conditions for drying fruits and vegetables, as an alternative to traditional methods. They could be suitable for industrial applications.

Keywords: temperature; pressure; melon slices; moisture content; partial pressure of vapor-air mixture; melon peel; infrared radiation; intercellular space; thermal radiation of water vapor; blackbody model; solar installation; convective dryer; drying process.



Мирзаев
Шавкат Мустакимович

Mirzaev
Shavkat Mustakimovich

Сведения об авторе: доктор техн. наук, профессор, Бухарский государственный университет.

Образование: Бухарский государственный педагогический институт (1976 г.).

Область научных интересов: термоядерная физика; математическое моделирование; энергетические системы на органическом топливе.

Публикации: 104

Индекс Хирша: 3

ORCID: 0000-0002-2205-0450

Scopus Author ID: 7004761216

About the author: Doctor of Technical Sciences, Professor, Bukhara State University.

Education: Bukhara State Pedagogical Institute (1976).

Area of scientific interests: thermonuclear physics; mathematical modeling; energy systems on organic fuel.

Publications: 104

Hirsch index: 3

ORCID: 0000-0002-2205-0450

Scopus Author ID: 7004761216



Хакимова
Сабина Шамсиддин
кизи

Khakimova
Sabina Shamsiddin kizi

Сведения об авторе: докторант, Бухарский государственный технический университет.

Образование: Ташкентский государственный технический университет (2009 г.).

Область научных интересов: солнечная энергетика; математическое моделирование; сушка сельскохозяйственных продуктов.

Публикации: 20

About the author: PhD student, Bukhara State Technical University.

Education: Tashkent State Technical University (2009).

Area of scientific interests: solar energy; mathematical modeling; drying of agricultural products.

Publications: 20



Кодиров
Жобир Рузимаматович

Kodirov
Zhubir Ruzimamatovich

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, Бухарский государственный университет.

Образование: Бухарский государственный университет. (2014 г.).

Область научных интересов: гелиотехника; физика; энергосберегающие технологии; математическое моделирование.

Публикации: 58

Индекс Хирша: 2

ORCID: 0000-0003-4596-405X

Scopus Author ID: 57863285100

About the author: PhD in Engineering, Associate Professor, Bukhara State University.

Education: Bukhara State University (2014).

Area of scientific interests: solar engineering; physics; energy-saving technologies; mathematical modeling.

Publications: 58

Hirsch index: 2

ORCID: 0000-0003-4596-405X

Scopus Author ID: 57863285100

Введение

Дыня играет значительную роль в рационе питания населения, являясь источником целого ряда необходимых организму человека веществ. Дыня содержит калий, кальций, железо, натрий, хлор также содержит огромное количество ферментов, поэтому великолепно усваивается кишечником, помогая его нормальной работе. Дыню рекомендуют принимать при истощении и малокровии, при атеросклерозе и некоторых других сердечно-сосудистых заболеваниях. Дыня усиливает действие антибиотиков, снижая их токсичность. Как лекарство, дыню можно принимать при любых расстройствах пищеварения. Все эти качества возводят дыню в ранг особо ценных и полезных продуктов и стимулируют искать способы переработки и длительного хранения этих сезонных плодов [1, 2].

С точки зрения производства, дыня – фрукт, имеющий высокую экономическую ценность для потребителей [3]. С другой стороны, сушка может существенно повлиять на качество этого продукта, включая цвет, снижение содержания биоактивных соединений и текстуры [4].

Из-за повышенной температуры или резких ее перепадов (температурный напор) в процессе сушки твердый слой осушаемого продукта, образующийся на поверхности, затрудняет выход жидкости (воды), которая еще не была удалена изнутри и препятствует высыханию. Это часто случается, особенно при сушке фруктов, богатых сахаром и подобными веществами. Следует избегать образования корки, так как это влияет на скорость высыхания и качество продукта, под-

лежащего сушке [5].

В последние годы много достигнуто в технологии сушки, включая предварительную обработку, методы, оборудование и качество [6]. Предварительная обработка используется для ускорения процесса сушки, повышения качества и безопасности пищевых продуктов [7].

Примером может служить использование ультразвука или вакуума в качестве метода предварительной обработки для увеличения скорости массопереноса между образцом и его окружением [8]. Кроме того, широко изучалась сушка предварительно обработанных плодов, в частности в сочетании с осмотической дегидратацией [9]. Лишь немногие исследования связаны с осмотической дегидратацией, комбинированной предварительной обработкой ультразвуком и сушкой дыни [10].

Предложенные способы предварительной обработки дыни показали блестящие результаты.

Однако в литературе не встречаются сообщения об использовании естественного, низкого вакуума, создаваемого в солнечной установке парникового типа, используемой в качестве предварительной обработки для сушки дыни или каких-либо других фруктов.

Цель данного исследования – оценить использование предварительной обработки дыни (целой, не нарезанной) на открытом солнце и в солнечной установке парникового типа для осуществления эффективной сушки; количественно оценить основные параметры: время предварительной сушки целой дыни и время сушки ломтиков дыни.



Таблица сокращений и обозначений

Список обозначений	
T_1	Температура паровоздушной смеси, создаваемой у поверхности дынь, °С
T'_1	Температура влажного воздуха в окружающей среде, °С
d_1	Количество влаги в воздухе у поверхности дынь, г/кг
d'_1	Количество влаги в воздухе окружающей среды, г/кг
T_2	Температура паровоздушной смеси, создаваемой у поверхности дынь, °С
T'_2	Температура влажного воздуха в окружающей среде, °С
d_2	Количество влаги в воздухе у поверхности дыни, г/кг
d'_2	Количество влаги в воздухе окружающей среды, г/кг

F_B	Сила тяги, Н
$S_{отв}$	Площадь сечения отверстия солнечной установки, м ²
$P_{пар}$	Парциальное давление паровоздушной смеси, кПа
λ	Длина волны ИК-излучения, мкм
$F_{пол}$	Полная площадь поверхности огражденной прозрачной поверхности солнечной установки, м ²
$d_{отв}$	Диаметр отверстия солнечной установки, м
$V_{пол}$	Объем солнечной установки, м ³
$S_{дын}$	Площадь поверхности кожуры дыни, м ²
ИК	Инфракрасный

1. Материалы и методы

1.1. Сырьё

Для эксперимента выбрана дыня сорта «Торпедо», которая была приобретена на местном рынке (г. Бухара, Республика Узбекистан). Дыни почти одинаковых форм и размеров промывали и для предварительной обработки использовали в целом виде (без разреза).

Использовали два режима солнечной обработки дыни: а) контроль (обработка (облучение) на открытом солнце), масса дыни – 4348 г, влажность 66,9% (рис. 1а); б) обработка (облучение) дыни в целом виде на прямой солнечной установке парникового типа, масса дыни – 3057 г, влажность 66,9% (рис. 1б).

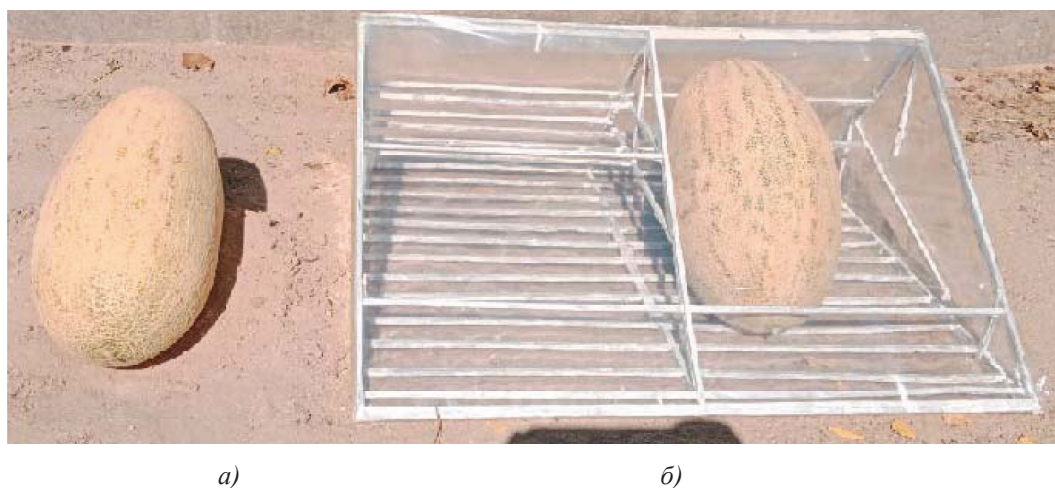


Рис. 1. Реальное изображение режимов обработки дынь:
а) обработка (облучение) на открытом солнце; б) обработка (облучение) в солнечной установке

Fig. 1. Real image of melon treatment modes:

a) treatment (irradiation) in the open sun; b) treatment (irradiation) in the solar installation

1.2. Предварительная обработка и ее механизм. Солнечная (предварительная) обработка дынь в обоих режимах проводилась одновременно в течение двух дней 19 и 20 августа 2023 года на территории научной лаборатории Бухарского государственного

университета. При поступлении солнечной радиации на поверхность кожуры дыни переворачивали каждый час одновременно на 180 градусов.

Результаты измерения прямой суточной солнечной радиации в дни проведения экспериментов пред-

ставлены на рис. 2 как их зависимости от истинного солнечного времени. Отметим, что среднесуточная солнечная радиация составляла: в день проведения

эксперимента, 19.08.2023 – 531,0 Вт/м²; 20.08.2023 – 512,5 Вт/м² (почти одинаковые значения).

2. Измеряемые параметры и их обозначения

В день проведения эксперимента, 19.08.2023: T_1 – температура паровоздушной смеси, создаваемой у поверхности дынь, °C; T'_1 – температура влажного воздуха в окружающей среде, °C; d_1 – количество влаги в воздухе у поверхности дынь, г/кг; d'_1 – количество влаги в воздухе окружающей среды, г/кг.

В день проведения эксперимента 20.08.2023: T_2 – температура паровоздушной смеси, создаваемой

у поверхности дынь, °C; T'_2 – температура влажного воздуха в окружающей среде, °C; d_2 – количество влаги в воздухе у поверхности дыни, г/кг; d'_2 – количество влаги в воздухе окружающей среды, г/кг. Результаты измерения температуры, количество водяных паров в воздухе и в окружающей среде представлены в таблице 1.

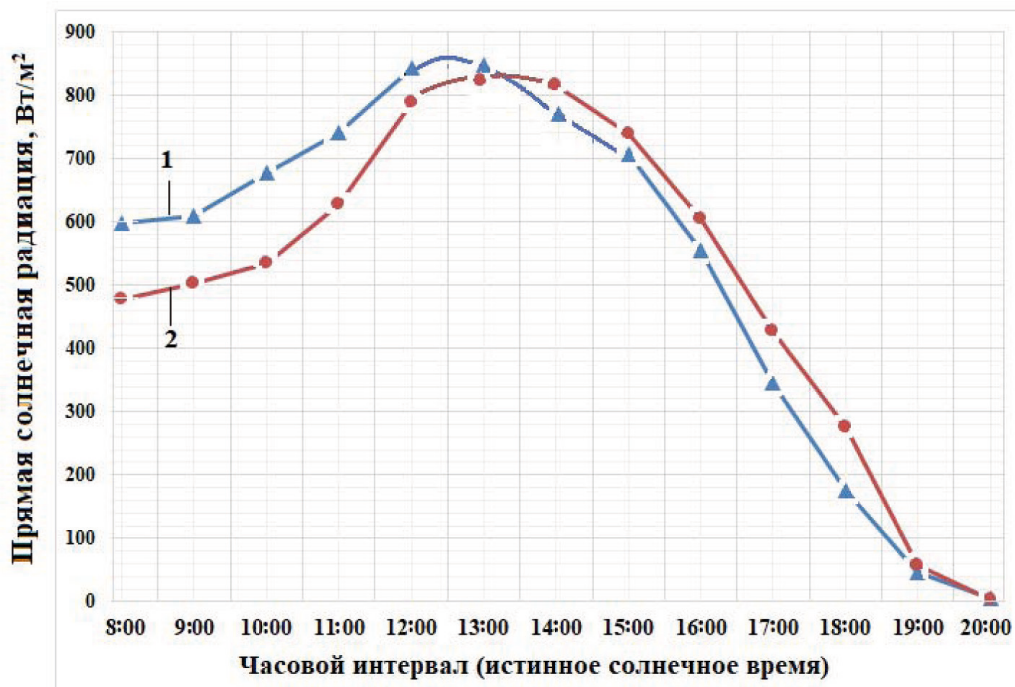


Рис. 2. Зависимость прямой суточной солнечной радиации от истинного солнечного времени в дни проведенных экспериментов:

1 – результаты от 19.08.2023 г.; 2 – результаты от 08.20.2023 г.

Fig. 2. The dependence of direct daily solar radiation on the true solar time during the days of the experiments: 1 – results from 19.08.2023; 2 – results from 08.20.2023

2.1. Результаты и анализ предварительной обработки дынь

После двухдневной предварительной обработки дыни взвесили на цифровых весах. Результаты экспериментальных исследований показали, что масса

дыни, предварительно обработанной на открытом солнце, уменьшилась на 139 граммов (на 3,1%), а масса дыни, предварительно обработанной на солнечной установке, уменьшилась на 320 граммов (на 10,5%).

Таблица 1

Результаты измерения температуры, количества водяных паров в воздухе и в окружающей среде

Table 1

The results of temperature measurement, the amount of water vapor in the air and in the environment

	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
T_1	49,4	51,6	58,1	67,2	68,9	69,9	68,1	55,8	48,9	45,2	43,4	37,6	35,6
T'_1	34,0	34,5	35,9	36,1	36,9	37,0	38,9	39,4	38,5	37,9	37,0	36,1	33,7
T_2	50,1	53,6	55,9	63,2	68,9	69,9	64,6	57,8	49,1	44,5	42,7	40,3	37,5
T'_2	33,8	34,6	33,8	35,1	36,6	37,4	38,5	39,9	39,9	39,0	38,4	36,8	33,4
d_1	25,5	27,9	29,2	33,6	34,9	45,2	53,4	49,2	37,5	33,5	31,2	24,5	23,1
d'_1	8,14	7,65	6,68	7,8	6,74	6,39	5,17	5,71	5,91	4,81	5,37	4,88	5,97
d_2	32,7	35,7	33,1	32,5	36,9	36,5	34,1	29,2	25,5	27,7	28,3	26,0	23,7
d'_2	6,76	6,73	5,34	6,85	8,26	8,26	6,85	6,51	5,64	5,72	5,75	5,50	6,97

На основе измеряемых параметров (температуры, количества влаги в паровоздушной среде внутри солнечной установки у поверхности кожуры и в окружающей среде) выявлены изменения парциальных давлений паровоздушной среды (на основе id-диаграммы). На рис. 3 представлена их зависимость от истинного солнечного времени.

В режиме предварительных обработок изменение среднего значения парциального давления окружающей среды почти не выявлено. По характеру кривых зависимостей (рис. 3) парциального давления паровоздушной смеси от времени следует, что с повышением температуры паровоздушной смеси на поверхности кожуры дыни парциальное давление паровоздушной смеси по отношению парциального давления водяных паров в окружающей среде становится больше: от $P_{\text{пар}} = 4$ кПа до $P_{\text{пар}} = 7$ кПа. За счет разницы парциальных давлений, через отверстие размером сечения $S_{\text{отв.}}$, которое установлено в верхней части солнечной установки, паровоздушная смесь покидает солнечную установку и рассеивается в окружающей среде. Внутри солнечной установки у поверхности отверстия создаётся сила тяги $F_{\text{в}}$, которая вытягивает паровоздушную смесь изнутри установки и выбрасывает в окружающую среду. Эту величину определим выражением:

$$F_{\text{в}} = P_{\text{пар}} \cdot S_{\text{отв.}}; \quad (1)$$

В данном эксперименте принято $S_{\text{отв.}} = 0,06$ м, тогда сила тяги, создающаяся у отверстия солнечной установки на протяжении всего процесса предварительной обработки, приобретает значения $F_{\text{в}} = 240-420$ Н.

Предположим, что площадь поверхности кожуры дыни равна $S_{\text{дыня}}$, давление, оказываемое для вытягивания воды (водяных паров) из каждой биологической

клетки на поверхность кожуры дынь, можно будет определить выражением:

$$P_{\text{клет.}} = \frac{F_{\text{в}}}{S_{\text{дыня}}} = \frac{P_{\text{пар.}} \cdot S_{\text{отв.}}}{S_{\text{дыня}}}. \quad (2)$$

Автором научной работы [11] установлена область наибольшего пропускания ИК-излучения в интервале длины волн 0,55-1,2 мкм. Глубина проникновения ИК излучения лежит на расстоянии 6-12 мм от поверхности кожуры дыни [13].

Поток ИК излучения, а точнее фотоны ИК излучения, проходя через паровоздушную смесь взаимодействуют с биологическими клетками дыни, превращаются в тепло и вследствие чего нагревают их и, следовательно, нагревают кожуру дыни. Изнутри клетки испаряются и за счет силы тяги водяные пары поднимаются на поверхность кожуры дыни, образуя на ее поверхности облако паровоздушной смеси.

По закону теплового излучения газов известно, что значительной способностью излучения и поглощения лучистой энергии обладает водяной пар [12]. Водяной пар постоянно излучает и поглощает энергию ИК излучения лишь в интервалах: $\lambda_1 = 2,2-3,0$ мкм; $\lambda_2 = 4,8-8,5$ мкм; $\lambda_3 = 12,0-30$ мкм. При прохождении фотонов ИК излучения через объем паровоздушной смеси они поглощаются молекулами водяного пара. Энергия фотонов передается этим молекулам, вследствие чего они нагреваются дополнительно и происходит поглощение лучистой энергии в объеме паровоздушной смеси. Этот процесс определяет дополнительное излучение паровоздушного объема. За счет такого явления увеличивается внутренняя энергия паровоздушной смеси, соответственно увеличивается и ее температура по отношению к температуре поверхности кожуры дыни. Повышение температуры паровоздушной смеси приводит к повы-

шению ее парциального давления. Экспериментально установлено, что температура паровоздушной смеси

у поверхности кожуры дыни повышается на 7-9 °С по отношению к температуре на поверхности кожуры.

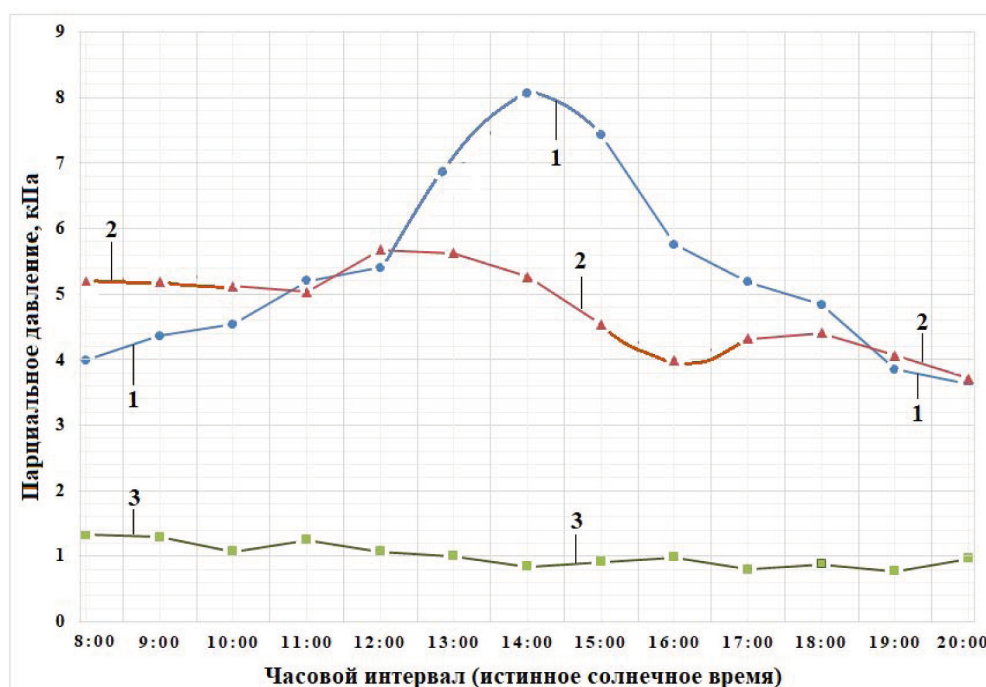


Рис. 3. Изменения парциальных давлений паровоздушной среды от истинного солнечного времени:

1 – результаты, полученные 19.08.2023 г.; 2 – результаты, полученные 20.08.2023 г.;

3 – результаты средних значений парциального давления влаги в воздухе окружающей среды

Fig. 3. Changes in the partial pressures of the vapor–air environment from true solar time:

1 – results obtained on 19.08.2023; 2 – results obtained on 20.08.2023;

3 – results of the average partial pressure of moisture in the ambient air

Процесс предварительной обработки дыни напрямую связывается не только с температурой нагревания дыни, но и с образованием вакуума внутри солнечной установки. Образование вакуума и, в то же время, процесс нагревания (≈ 30 °С) принуждают биологические клетки испарять водяной пар изнутри (из глубины 6-12 мм) на их поверхность. После чего водяной пар вытягивается в отверстие установки, откуда рассеивается в окружающую среду. Такое явление приводит к сокращению времени процесса предварительной обработки дыни.

Для того, чтобы удостоверить изложенные результаты явлений, на рис. 4а представлены микроскопические изображения кожуры дыни до переработки; обработанной на открытом солнце (рис. 4б) и предварительно обработанной на прямой солнечной установке (рис. 4в). Микрофотографии биологических клеток дыни были получены в микроскопе типа EU Romex microscopes Holland, Цифровая модель S (Нидерланды, с увеличением 50х).

На микроскопических изображениях свежих фруктов обнаруживаются тонкостенные клетки с нормальной морфологией и некоторыми межклеточными пространствами (рис. 4а). Очень немногие клетки имели волнообразную структуру.

После предварительной обработки на открытом

солнце наблюдалось несколько различий, связанных с потерей воды. На некоторых участках стенки часть биологических клеток стала менее деформированной и менее уменьшилась в некоторых областях образца (особенно в середине изображения). Только в некоторых областях присутствуют соединения между соседними биологическими клетками и межклеточные пространства уменьшены (рис. 4 б), в то же время наблюдается разрушение клеток, вызывающее небольшое увеличение межклеточных пространств.

После переработки в солнечной установке большая часть межклеточных пространств между биологическими клетками исчезла, а клеточные стенки стали более деформированы (рис. 4в). На некоторых участках образцов начали проявляться разрушения клеточной стенки, искажение и распад клеток. На этом этапе процесса из состава кожуры дыни было удалено большое количество воды.

Из картинок, полученных на микроскопе, следует отметить, что на поверхности кожуры дыни образуется скопление сухого вещества. Также в случае потока, направленного в противоположную сторону, необходимо обеспечить наличие непрерывного жидкого соединения между поверхностью и внутренней частью высушиваемого объекта. В отдельных случаях происходит отток клеточной жидкости на поверхность.

3. Метод расчета размера отверстия для выхода паровоздушной смеси изнутри установки наружу

Основываясь на одной модели абсолютно черного тела, по которому поступает тепловое излучение через отверстие (отверстие установлено в солнечной установке) в его полость (огражденная часть солнечной установки), выбраны их соответствующие размеры:

$$F_{\text{пол.}} \geq F_{\text{отв.}}$$

где $F_{\text{пол.}}$ – полная площадь поверхности огражденной прозрачной поверхности солнечной установки,

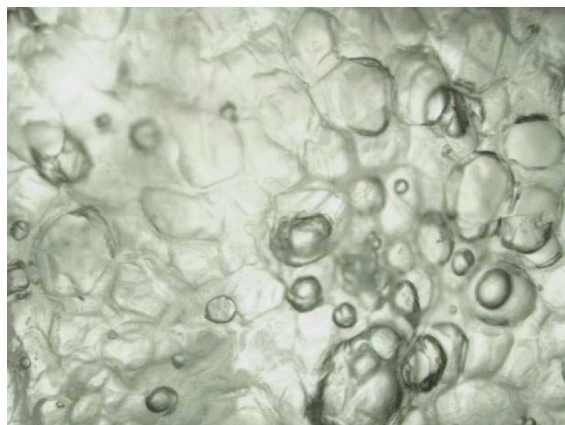
$F_{\text{пол.}} = 0,7844 \text{ м}^2$, следовательно его линейный размер,

$$d_{\text{отв.}} = \sqrt{F_{\text{пол.}}} = 0,8857 \text{ м.}$$

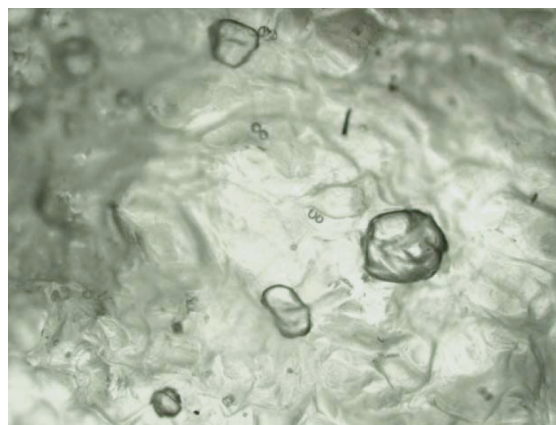
На основе следующего неравенства линейный размер отверстия можно будет определить соотношением:

$$d_{\text{пол.}} \approx (10 \div 16)d_{\text{отв.}}; \quad d_{\text{отв.}} = \frac{d_{\text{пол.}}}{(10 \div 16)}.$$

Для используемой нами солнечной установки приняты следующие значения: $d_{\text{отв.}} = 0,089-0,055 \text{ м}$ или 5,7-9,1 см, принято 0,06 м = 6 см.



а)



б)



в)

Рис. 4. Микрофотографии клеток дыни (увеличение 50х):

а) до переработки (сырой дыни); б) после переработки на открытом солнце с областью несильно деформированными клетками; в) после переработки на солнечной установке с областью искажения и распадом клеток

Fig. 4. Micrographs of melon cells (magnification 50x):

a) before processing (raw melon); b) after processing in the open sun with an area with slightly deformed cells; c) after processing in a solar installation with an area of distortion and cell decay

Геометрические параметры конструкционной модели солнечной установки представляют собой параллелепипед, основанием которого является треугольник с высотой 24 см, основание треугольника 41 см, с бедрами 31 см и 41 см, угол наклона бедер по отношению горизонта 38 и 52 градусов; высота параллелепипеда 52 см. Полная площадь прозрачной

поверхности солнечной установки $F_{\text{пол.}} = 0,7844 \text{ м}^2$; объем $V_{\text{пол.}} = 0,512 \text{ м}^3$ (рис. 1).

3.1. Сушка дыни. Использовали три режима процесса сушки дыни: а) контроль (предварительно необработанная дыня); б) предварительно обработанная дыня на открытом солнце; в) предварительно об-

работанная в солнечной установке.

По истечении времени предварительной обработки дыни промывали, разрезали на половинки, удаляли семена и кожуру. Съедобную часть плода (мезокарпа) разрезали на ломтики (14 см x 4 см x 1,5 см) с помощью предназначенных для этой цели кусачек. Для каждого опыта на сушильном лотке раскладывали все ломтики дыни одновременно. В процессе обработки определяли содержание влаги в образцах дыни,

вынимая лоток из сушилки каждые 30 минут. Затем его быстро взвешивали на цифровых весах рядом с сушилкой и помещали обратно в оборудование.

Для сушки использовали конвективную сушилку (с двумя последовательно соединенными галогеновыми лампами, инфракрасная кварцевая типа КХС 750 Вт, длина каждой лампы 224 мм, диаметр 10 мм) при температуре 50 °С, исходная мощность сушилки составляла 1500 Вт (рис. 5).



Рис. 5. Конвективная сушильная установка (с галогеновыми лампами инфракрасная кварцевая КХС 750 Вт, общая длина 224 мм, диаметр 10 мм, общая мощность печи 1500 Вт) с принудительной вентиляцией воздуха
Fig. 5. Convective drying installation (with halogen lamps, infrared quartz KHS 750 W, total length 224 mm, diameter 10 mm, total oven power 1500 W) with forced air ventilation

Для автоматического управления температурой и вентиляцией воздуха одновременно в конвективной сушилке использован процессор типа Intel LGA

775C 95-ММ с вентилятором и алюминиевыми табличными охладителями, расчетная мощность составляла 65 Вт.

4. Результаты и анализ сушки

Сушка завершалась, когда динамическое равновесие между влажностью образца и влажностью осушаемого воздуха достигалось при отсутствии существенного изменения массы дыни.

1. Процесс сушки для выбранных ломтиков из предварительно необработанной дыни завершился (условия динамического равновесия) за 12 часов.

2. Процесс сушки для ломтиков, выбранных из предварительно обработанной дыни на открытом солнце, завершился за 10 часов.

3. Процесс сушки для ломтиков, выбранных из предварительно обработанной дыни на солнечной установке, завершился за 7 часов 20 минут.

Полученные результаты по потерям воды (мас-

сы воды) из состава ломтиков дыни в виде кривых зависимостей от времени сушки представлены на рис. 6. По характеру кривых следует, что в режиме, когда ломтики дыни, предварительно обработанные на солнечной установке, погружали в конвективную сушилку, это приводило к сокращению времени сушки по сравнению с сушкой в других предварительно обработанных режимах. В этом режиме исследования потеря воды была быстрее на $\approx 40\%$ по сравнению с предварительно необработанным образцом. Также в этом режиме исследования потеря воды была быстрее на $\approx 28\%$ по сравнению с предварительно обработанным образцом на открытом солнце.

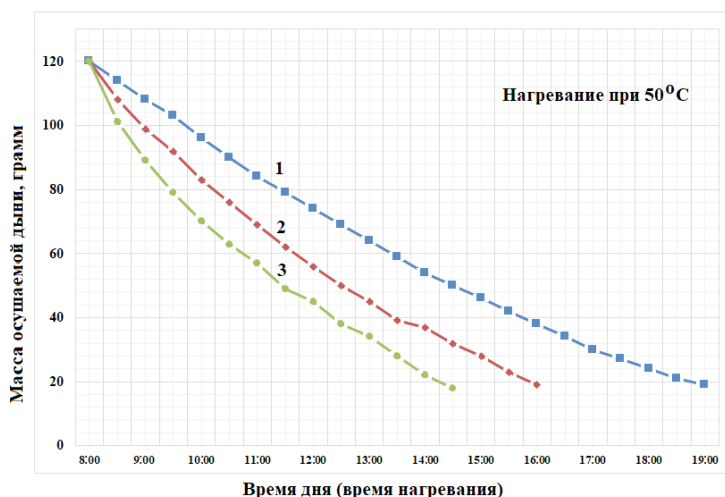


Рис. 6. Результаты по потерям воды у образцов в виде кривых зависимостей их массы от времени сушки, режима сушки:

1 – кривая с предварительно необработанными образцами; 2 – кривая, с предварительно обработанными образцами на открытом солнце; 3 – кривая с обработанными образцами в солнечной установке

Fig. 6. Results on water losses in samples in the form of dependency curves their weight depends on the drying time, drying mode:

1 – curve with pretreated samples; 2 – curve with pretreated samples in the open sun; 3 – curve with treated samples in a solar installation

Выводы

Двухдневная предварительная обработка неразрезанных дынь при солнечном излучении показала, что масса дыни, обработанной на открытом солнце, уменьшилась на 3,1%; масса дыни, обработанной в солнечной установке, уменьшилась на 10,5%.

Процесс сушения образца дыни, предварительно обработанного на солнечной установке, позволил снизить время потери массы образца от 28% до 40%

по отношению к обработанному на открытом солнце и предварительно необработанному образцам.

Результаты этого исследования могут быть важны для предоставления информации для разработки новых условий предварительной обработки перед сушкой фруктов и овощей, являющихся альтернативой традиционной сушке и подходящих для промышленного контекста.

Список литературы

[1]. Производство соков на основе дыни // Техника и образование. Научно-методический журнал. – М., 2014. – № 5. – С. 48-53.
 [2]. Соки на основе бахчевых культур // Всероссийский журнал научных публикаций. – М., 2015. – № 1 (25). – С. 12-14.
 [3]. Laur, Lisa & Tian, Li. Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and honeydew melons and imported melons // Journal of Food Composition and Analysis. – 2011; 24:194-201.
 [4]. Gabriella Dias da Silva, Zilmar Meireles Pimenta Barros, Rafael Augusto Batista de Medeiros, Carlos Brian Oliveira de Carvalho, Shirley Clyde Rupert Brandão, Patrícia Moreira Azoubel. Pre-treatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum // LWT. – 2016. – V. 74. – Pp. 114-119. – ISSN 0023-6438.
 [5]. Сафаров Ж. Э., Дадаев Ф. Т. Результаты исследования технологии сушки лекарственных трав // Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2017. – С. 27-31.
 [6]. Башлар М., Килич М. и Ялинкилич Б. Кине-

тика обезвоживания филе лосося и форели с использованием ультразвуковой вакуумной сушки в качестве нового метода. Ультразвуковая соно химия. – 2015, 27, 495-502.
 [7]. Лима М. М., Трибузи Г., Соуза Ж. А. Р., Соуза И. Г., Лауриндо Дж. Б. и Карчиофи Б. А. М. Вакуумная пропитка и сушка ананасовых снеков, обогащенных кальцием // LWT Food Science and Technology. – 2016, 72, 501-509.
 [8]. Рибейро А. С. С., Агияр-Оливейра Э. и Мальдонадо Р. Р. Оптимизация осмотического обезвоживания груш с последующей традиционной сушкой и их органолептические качества // LWT и пищевая наука и технология. – 2016, 72, 407-415.
 [9]. Хаитов Р. А. Инфракрасное облучение и сушка дыни с использованием солнечной энергией: авторефер ...дис. кан. тех. наук. – М.: 1993. – 20 с.
 [10]. М. А. Михеев, И. М. Михеева. Основы теплопередачи. Издание второе, стереотипное. – М.: Изд-во «Энергия», 1977. – Стр. 182-193.
 [11]. Muhamad N. & Mohd Redzuan N. A. (2019).

Effects of different drying methods and quality parameters on dried manis Terengganu melon (*Cucumis melo*) // *Journal of Agrobiotechnology*. – 10(1S), 46-58.

[12]. Rodrigues S. & Fernandes F. A. N. (2007). Use of Ultrasound as Pre-treatment for Dehydration of Melons // *Drying Technology*. – 25(10), 1791-1796.

[13]. Teles, Ulisses & Fernandes, Fabiano & Rodrigues, Sueli & Lima, Andréa & Maia, Geraldo & Figueiredo, Raimundo. (2006). Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying // *International Journal of Food Science & Technology*. – 41, 674-680. 10.1111/j.1365-2621.2005.01134.x.

[14]. Jose Marcelino S. Netto, Fernanda A. Honorato, Patricia M. Azoubel, Louise E. Kurozawa, Douglas F. Barbin. Evaluation of melon drying using hyperspectral imaging technique in the near infrared region // *LWT*. – 2021. – Volume 143, 111092. – ISSN 0023-6438.

[15]. Mustafa Aktaş, Seyfi Şevik, Ali Amini, Ataollah Khanlari. Analysis of drying of melon in a solar-heat recovery assisted infrared dryer // *Solar Energy*. – 2016. – Volume 137. – Pp. 500-515.

[16]. Kizatova, Marzhan & Baikenov, Alibek & Baigenzhinov, Kadyrbek & Yessimova, Zhazira & Zhusipov, Alibi. (2022). The mathematical model of drying melon pulp by the convective method // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 16;721-732,10.5219/1788.

[17]. Karaaslan, Sevil & Kumbul, Barbaros & Ekinici, Kamil. (2022). Drying of Melons in a Solar Tunnel Dryer: The Effect of Ascorbic Acid Solution on Drying Kinetics and Color Parameters // *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*. – 10.15316/SJAIFS.2022.066.

[18]. Fernandes da Silva J. H., da Silva Neto J. S., Souza da Silva E., de Souza Cavalcanti D. E., Azoubel P. M., Benachour M. Effect of Ultrasonic Pre-treatment on Melon Drying and Computational Fluid Dynamic Modelling of Thermal Profile // *Food Technol Biotechnol*. – 2020 Dec;58(4):381-390. doi: 10.17113/ftb.58.04.20.6813. PMID: 33505201; PMCID: PMC7821775.

[19]. Mugi, Vishnuvardhan & Gilago, Mulatu & V. P., Chandramohan. (2023). Performance studies on indirect forced convection solar dryer without and with thermal energy storage during drying muskmelon slices // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 148.

[20]. Sroy S., Miller F. A., Fundo J. F., Silva C. L. M., Brandão T. R. S. Freeze-Drying Processes Applied to Melon Peel: Assessment of Physicochemical Attributes and Intrinsic Microflora Survival during Storage // *Foods*. – 2022.

[21]. Renata Masur Carneiro da Cunha, Shirley Clyde Rupert Brandão, Rafael Augusto Batista de Medeiros, Edvaldo Vieira da Silva Júnior, João Henrique Fernandes da Silva, Patricia Moreira Azoubel. Effect of ethanol pre-treatment on melon convective drying // *Food Chemistry*. – 2020. – Volume 333.

[22]. Fabiano A. N. Fernandes, Maria Izabel Gallão, Sueli Rodrigues. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration // *LWT – Food Science and Technology*. – 2008. – Volume 41, Issue 4. – Pp. 604-610. – ISSN 0023-6438.

[23]. Rakhmatov O. & Zhulbekov I. S. & Kabulov I. M. (2023). Experimental study of a drying installation for drying melon with IR-radiation. *E3S Web of Conferences*. – 443.10.1051/e3sconf/202344302005.

[24]. Sun, Tianying & Wang, Ning & Wang, Cuntang & Ren, Jian. (2024). Effect of hot air temperature and slice thickness on the drying kinetics and quality of Hami melon (*Cantaloupe*) slices // *Scientific Reports*. 14. 29855. 10.1038/s41598-024-81053-2.

[25]. Aminzadeh R., Sargolzaei J. & Abarzani M. Preserving Melons by Osmotic Dehydration in a Ternary System Followed by Air-Drying // *Food Bioprocess Technol*. – 5;1305-1316 (2012).

[26]. Kodirov J., Khakimova S. Determination of the size and amount of energy incident on the reflective surface of a parabolic cylinder concentrator // *Asian Journal of Research*. – 2020. – №. 1-3. – С. 252-260.

[27]. Кодиров Ж. Р., Хакимова С. Ш., Ибрагимов С. С. (2020). Исследование усовершенствованной сушилки фруктов и выбор поверхностей, образующих явление естественной конвекции // *Вестник науки и образования*. (20-2 (98)), 6-9.

[28]. Kodirov J., Mirzayev S. & Khakimova S. (2023). Improvement of the indirect solar dryer with natural air convection // *Muqobil Energetika*. 2(01), 14-21.

[29]. Kodirov J. R., Khakimova S. S., Mirzaev S. M. Analysis of characteristics of parabolic and parabolocylindrical hubs, comparison of data obtained on them // *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers*. – 2019. – Т. 15. – №. 2. – С. 193-197.

[30]. Кодиров Ж. Р., Хакимова С. Ш., Мирзаев Ш. М. Анализ характеристик параболического и параболоцилиндрического концентраторов, сравнение данных, полученные на них // *Вестник ТашИИТ*. – 2019. – Т. 2. – С. 193-197.

[31]. Кодиров Ж. Р., Хакимова С. Ш. Аналитический обзор характеристик параболического и параболо-

References

[1]. Production of melon-based juices // *Technology and education. Scientific and Methodological Journal*. – Moscow, 2014, No. 5. – Pp. 48-53.

[2]. Juices based on melon crops // *All-Russian Journal of Scientific Publications*. – М., 2015. – № 1 (25). – С. 12-14.

[3]. Laur, Lisa & Tian, Li. Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and

honeydew melons and imported melons // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2011; 24:194-201.

[4]. Gabriella Dias da Silva, Zilmar Meireles Pimenta Barros, Rafael Augusto Batista de Medeiros, Carlos Brian Oliveira de Carvalho, Shirley Clyde Rupert Brandão, Patricia Moreira Azoubel. Pre-treatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum // *LWT*. – 2016. – V. 74. – Pp. 114-119. – ISSN 0023-6438.

[5]. Safarov Zh. E., Dadaev G. T. The results of research on the technology of drying medicinal herbs // Chemical technology. Control and management. – Tashkent, 2017. – Pp. 27-31.

[6]. Bachelar M., Kilic M. and Yalinkilic B. Kinetics of dehydration of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a new method. *Ultrasound sonochemistry*. – 2015, 27, 495-502.

[7]. Lima M. M., Tribuzi G., Souza J. A. R., Souza I. G., Laurindo J. B. and Karciofi B. A. M. Vacuum impregnation and drying of pineapple snacks enriched with calcium // *LWT Food Science and Technology*. – 2016, 72, 501-509.

[8]. Ribeiro A. S. C., Aguiar-Oliveira E. and Maldonado R. R. Optimization of osmotic dehydration of pears followed by traditional drying and their organoleptic qualities // *LWT and food science and technology*. – 2016, 72, 407-415.

[9]. Khaitov R. A. Infrared irradiation and drying of melons using solar energy: abstract ...dis. kan. of technical sciences. – M.: 1993. – 20 p.

[10]. M. A. Mikheev, I. M. Mikheeva. Fundamentals of heat transfer. The second edition, stereotypical. – M.: Publishing house «Energy», 1977. – Pp. 182-193.

[11]. Muhamad N. & Mohd Redzuan N. A. (2019). Effects of different drying methods and quality parameters on dried manis Terengganu melon (*Cucumis melo*) // *Journal of Agrobiotechnology*. – 10(1S), 46-58.

[12]. Rodrigues S. & Fernandes F. A. N. (2007). Use of Ultrasound as Pre-treatment for Dehydration of Melons // *Drying Technology*. – 25(10), 1791-1796.

[13]. Teles, Ulisses & Fernandes, Fabiano & Rodrigues, Sueli & Lima, Andréa & Maia, Geraldo & Figueiredo, Raimundo. (2006). Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying // *International Journal of Food Science & Technology*. – 41, 674-680. 10.1111/j.1365-2621.2005.01134.x.

[14]. Jose Marcelino S. Netto, Fernanda A. Honorary, Patricia M. Azoubel, Louise E. Kurozawa, Douglas F. Barbin. Evaluation of melon drying using hyperspectral imaging technique in the near infrared region // *LWT*. – 2021. – Volume 143, 111092. – ISSN 0023-6438.

[15]. Mustafa Aktaş, Seyfi Şevik, Ali Amini, Ataollah Khanlari. Analysis of drying of melon in a solar-heat recovery assisted infrared dryer // *Solar Energy*. – 2016. – Volume 137. – Pp. 500-515.

[16]. Kizatova, Marzhan & Baikenov, Alibek & Baigenzhinov, Kadyrbek & Yessimova, Zhazira & Zhusipov, Alibi. (2022). The mathematical model of drying melon pulp by the convective method // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 16;721-732,10.5219/1788.

[17]. Karaaslan, Sevil & Kumbul, Barbaros & Ekinici, Kamil. (2022). Drying of Melons in a Solar Tunnel Dryer: The Effect of Ascorbic Acid Solution on Drying Kinetics and Color Parameters // *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*. – 10.15316/SJA.FS.2022.066.

[18]. Fernandes da Silva J. H., da Silva Neto J. S., Souza da Silva E., de Souza Cavalcanti D. E., Azoubel P. M., Benachour M. Effect of Ultrasonic Pre-treatment on Melon Drying and Computational Fluid Dynamic Modeling of Thermal Profile // *Food Technol Biotechnol*. – 2020 Dec;58(4):381-390. doi: 10.17113/ftb.58.04.20.6813.

PMID: 33505201; PMCID: PMC7821775.

[19]. Mugi, Vishnuvardhan & Gilago, Mulatu & V. P., Chandramohan. (2023). Performance studies on indirect forced convection solar dryer without and with thermal energy storage during drying muskmelon slices // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 148.

[20]. Sroy S., Miller F. A., Fundo J. F., Silva C. L. M., Brandão T. R. S. Freeze-Drying Processes Applied to Melon Peel: Assessment of Physicochemical Attributes and Intrinsic Microflora Survival during Storage // *Foods*. – 2022.

[21]. Renata Masur Carneiro da Cunha, Shirley Clyde Rupert Brandão, Rafael Augusto Batista de Medeiros, Edvaldo Vieira da Silva Júnior, João Henrique Fernandes da Silva, Patricia Moreira Azoubel. Effect of ethanol pre-treatment on melon convective drying // *Food Chemistry*. – 2020. – Volume 333.

[22]. Fabiano A. N. Fernandes, Maria Isabel Gallão, Sueli Rodrigues. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration // *LWT – Food Science and Technology*. – 2008. – Volume 41, Issue 4. – Pp. 604-610. – ISSN 0023-6438.

[23]. Rakhmatov O. & Zhulbekov I. S. & Kabulov I. M. (2023). Experimental study of a drying installation for drying melon with IR-radiation. *E3S Web of Conferences*. – 443.10.1051/e3sconf/202344302005.

[24]. Sun, Tianying & Wang, Ning & Wang, Cuntang & Ren, Jian. (2024). Effect of hot air temperature and slice thickness on the drying kinetics and quality of Hami melon (*Cantaloupe*) slices // *Scientific Reports*. 14. 29855. 10.1038/s41598-024-81053-2.

[25]. Aminzadeh R., Sargolzaei J. & Abarzani M. Preserving Melons by Osmotic Dehydration in a Ternary System Followed by Air-Drying // *Food Bioprocess Technol*. – 5;1305-1316 (2012).

[26]. Kodirov J., Khakimova S. Determination of the size and amount of energy incident on the reflective surface of a parabolic cylinder concentrator // *Asian Journal of Research*. – 2020. – №. 1-3. – С. 252-260.

[27]. Кодиров Ж. Р., Хакимова С. Ш., Ибрагимов С. С. (2020). Исследование усовершенствованной сушилки фруктов и выбор поверхностей, образующих явление естественной конвекции // *Вестник науки и образования*. (20-2 (98)), 6-9.

[28]. Kodirov J., Mirzayev S. & Khakimova S. (2023). Improvement of the indirect solar dryer with natural air convection // *Muqobil Energetika*. 2(01), 14-21.

[29]. Kodirov J. R., Khakimova S. S., Mirzaev S. M. Analysis of characteristics of parabolic and parabolocylindrical hubs, comparison of data obtained on them // *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers*. – 2019. – Т. 15. – №. 2. – С. 193-197.

[30]. Kodirov Zh. R., Khakimova S. Sh., Mirzaev Sh. M. Analysis of the characteristics of parabolic and parabolocylindrical concentrators, comparison of data obtained on them // *Bulletin of TashIIT*. – 2019. – Т. 2. – С. 193-197.

[31]. Kodirov J. R., Khakimova S. S. An analytical review of the characteristics of parabolic and parabolocylindrical concentrators // *Science, Technology and Education*. – 2021. – № 2-2 (77).