



СПОСОБ СУШКИ ДЫНИ СОЛНЕЧНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ И БЫТОВОЙ СОЛНЕЧНО-ИК СУШИЛКОЙ

С.Ш. Хакимов

Бухарский государственный технический университет

Ж.Р. Кодиров

Бухарский государственный технический университет

Ш.М. Мирзаев

Бухарский государственный университет

Аннотация. Предварительная обработка выполняется на солнечной парниковой установке в течении двух дней с условием ежедневного переворачивания целой дыни на 180 градусов. Создана бытовая солнечно-ИК сушильная установка, в которой откачка паровоздушной смеси в процессе сушки осуществляется естественным вакуумом. Рекомендуется предварительная двухдневная обработка плодов дыни дешёвым солнечным излучением в парниковой установке, при которой через кожух дыни проникая в съедобную часть создается микропор в глубине на 1.2 см., что дает возможность ускорить процесс сушки (и время). Предварительная обработка способствует увеличению потери влажности дыни на 10.4% от общего веса.

Только одним отверстием (верхним) для выхода паровоздушной смеси из сушильного шкафа, солнечно-ИК сушильной установки при пульсационном выходе паровоздушной смеси, создаётся естественный вакуум, за счет которого из глубины (через микропоры) ломтиков дыни высасываются испаренные водяные пары, процесс сушки ускоряется 30% относительно не обработанного плода дыни.

Ключевые слова: Дыня Сушка Солнечный свет Солнечная энергия ИК-сушилка Бытовая сушилка Технология сушки дыни Продукт из дыни Энергосбережение Сухофрукты Потеря влаги Качество продукции

Annotatsiya. Dastlabki ishlov berish quyoshli issiqxona qurilmasida ikki kun davomida butun qovunni har kuni 180 darajaga aylantirish sharti bilan amalga oshiriladi. Maishiy quyosh-IQ quritish qurilmasi yaratildi, unda quritish jarayonida bug ' - havo aralashmasi tabiiy vakuum bilan pompalanadi. Issiqxona qurilmasida qovun mevalarini arzon quyosh nurlari bilan ikki kunlik oldindan davolash tavsiya etiladi, bunda qovun qobig'i orqali qutulish mumkin bo'lgan qismga kirib, 1,2 sm chuqurlikda mikropor hosil bo'ladi, bu quritish jarayonini (va vaqtini) tezlashtirishga imkon beradi. Oldindan ishlov berish qovun namligini yo'qotilishini umumiy vaznning 10.4% ga oshirishga yordam beradi. Bug ' - havo aralashmasining quritish shkafidan chiqishi uchun faqat bitta teshik (yuqori), bug ' - havo

aralashmasining pulsatsiyalanuvchi chiqishi bilan quyosh-IQ quritish moslamasi, tabiiy vakuum hosil bo'ladi, buning natijasida bug'langan suv bug'lari qovun bo'laklarining chuqurligidan (mikroporlar orqali) so'riladi, quritish jarayoni tezlashadi. ishlov berilmagan qovun mevasining 30%.

Kalit so'zlar: qovun quritish Quyosh nuri quyosh energiyasi IQ quritgich maishiy quritgich qovun quritish texnologiyasi qovun mahsuloti energiyani tejash quritilgan mevalar namlikni yo'qotish mahsulot sifati

Annotation. Pretreatment is performed on a solar greenhouse installation for two days with the condition of turning a whole melon 180 degrees daily. A household solar-infrared drying unit has been created, in which the steam-air mixture is pumped out by natural vacuum during the drying process. It is recommended to pre-treat melon fruits with cheap solar radiation in a greenhouse installation, in which a micropore is created at a depth of 1.2 cm through the shell of the melon, penetrating into the edible part, which makes it possible to speed up the drying process (and time). Pretreatment helps to increase the moisture loss of melons by 10.4% of the total weight. With only one opening (upper) for the steam-air mixture to exit the drying cabinet, solar-infrared drying unit, with a pulsating steam-air mixture outlet, a natural vacuum is created, due to which evaporated water vapor is sucked out of the depth (through micropores) of the melon slices, the drying process is accelerated by 30% relative to the untreated melon fruit.

Keywords: Melon Drying Solar Light Solar Energy IR Dryer Household Dryer Melon Drying Technology Melon Product Energy Saving Dried Fruits Moisture Loss Product Quality

Введение. Сушка дыни в основном осуществляется малыми фермерскими хозяйствами и частными подворьями с использованием преимущественно ручного труда, технология которого основана на методе воздушной солнечной сушки, при которой очищенные ломтики съедомой части дыни размещаются в окружающую среду (в прямом солнечном излучении) в горизонтальном положении. Этот способ не соответствует санитарным и гигиеническим нормам и зависит от погодных условий. На поверхность осушаемой дыни в процессе сушки оседают насекомые, пыль, дождь, в результате качество конечного продукта не соответствует всем поставленным техническим требованиям [1].

Постановка задачи. На основе патентных поисков и литературных источников, необходимо разработать высокоэффективную, низкостоимостную, бытовую и комбинированную, а также простую и удобную к эксплуатации установку (сушилку).

Выявлены задачи исследования, которые представлены в статье.

1. Разработка конструкционной модели бытовой солнечно-ИК сушильной установки с учётом солнечной предварительной обработки и физических, биологических, технологических свойств дыни.

2. Проведение научно-экспериментальных исследований по сушке предварительно солнечно - обработанной и необработанной дыни: изменение массы плодов при трехдневной сушке на солнце (под солнечным излучением) и двухдневной сушки (двоем ночное время) в ИК нагревателе.

3. Проведение научно-экспериментальных исследований по определению важных эксплуатационных и технологических параметров процесса (паровоздушной смеси у выхода солнечной установки) сушки: температуры, влажности паровоздушной смеси и на основе данных параметров по id-диаграммы установлены парциальное давление и масса доли водяных паров в составе паровоздушной смеси.

4. На основе полученных результатов, кривых зависимостей и данных в таблице описать технологический процесс (действии) солнечной и ИК-сушки представить анализ.

Материалы и методы. Исследование основывалось на предварительной двухдневной обработке целой дыни солнечным излучением и на парниковой солнечной установке, после чего, включена калибровка, инспекция, мойка и нарезка на половину вдоль оси дыни, удаление семян и кожуры, нарезка съедобной части на ломтики размерами 25-6.0-1.5 см и сушка в потоке тёплого воздуха [2].

Цель исследования - создание конструкционной модели бытовой солнечно-ИК сушильной (комбинированной) установки, обеспечивающий сокращение времени и дешёвую сушку, удобство эксплуатации сушки дыни солнечным излучением с одновременным воздействием автоматически ИК-излучением при непрерывном движении. Данная установка обеспечивает нагрев в дневное время солнечным излучением, а при отсутствии его (ночное время или в облачной погоде) нагрев ИК-излучением.

Метод. При проведении экспериментальных исследований использованы нижеследующие приборы для измерения температуры, влажности паровоздушной смеси, изменения массы плодов дыни, автоматизированной системы для регулирования температуры нагревания плодов дыни.

Датчик влажности и температуры DHT11. Измерение температуры и влажности паровоздушной смеси у выхода установки и в окружающей её среде выполняется датчиком DHT11. Составной датчик DHT11 включает в себя два полезных измерительных прибора — термометр и гигрометр.

Первый, очевидно, измеряет температуру, а второй — относительную влажность воздуха. Внутри корпуса DHT11 размещается резистивный элемент, чувствительный к изменению относительной влажности, термистор типа NTC, а также микросхема для передачи показаний этих двух датчиков по цифровому протоколу 1-wire.

Характеристики датчика: напряжение питания: от 3,3 до 5,5 В; тип датчика влажности резистивный; диапазон измерения влажности от 20% до 90%; погрешность при измерении влажности 5%; тип датчика температуры NTC термистор; диапазон измерения температуры от 0°C до 50°C; погрешность при измерении температуры 2%; частота опроса не более 1 Гц (1 раз в сек.); время отклика при измерении влажности 10 с.; Программа для работы с DHT11.

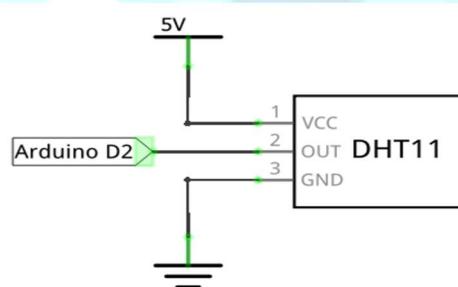


Рис.3 Принципиальная схема датчика DHT11.

Следует установить в Arduino IDE дополнительную библиотеку. Существует множество библиотек для работы с DHT, но мы выбрали вариант с портала Adafruit. [3]

Изменение массы плодов при процессе сушки осуществлялось электронным весами типа SF-400. Характеристики весов типа SF-400 точность измерения -1 грамм; Единицы измерения - грамм; Материал платформы / чаши Пластик; Предел взвешивания 7 кг; Тип элементов питания от батарейки; Конструкция, Платформа.

Весы являются универсальным прибором для взвешивания любых ингредиентов — от специй и муки до овощей и фруктов. Одним из основных преимуществ электронных кухонных весов SF-400 является их высокая точность взвешивания — они могут измерять вес до 5 кг с точностью до 1 грамма. Весы SF-400 очень просты, легко хранятся и очень удобны в использовании.

Для ИК-нагревания использованы две параллельно соединённых галогенных ламп инфракрасного кварцевого КХС 750 Вт, общей длиной 224 мм, диаметром 10 мм.

Данные **солнечной радиации** в процессе проведения экспериментальных исследований, разработанной нами солнечно-ИК-нагревательной сушильной

установки, получены из «ЕДИННОГО ПОРТАЛА МЕТЕО НАБЛЮДЕНИЙ» [4] по Республике Узбекистан города Бухары за сутки 05.08.2024, 06.08.2024 и 07.08.2024.

Для проведения экспериментальных исследований осуществлена **предварительная обработка целой дыни**. На рисунке 1, иллюстрируется натурное изображение солнечной парниковой установки, предназначенное для предварительной двухдневной обработки дыни. Предварительная обработка целой дыни проведена путем его задержки в парниковой солнечной установке и ежедневного переворачивания на 180 градусов.

Для предварительной обработки выбраны дыни сорта «Торпедо», массой 4.968 кг, после обработки вес дыни уменьшился 4.451 кг. (потеря веса после предварительной обработки уменьшилась на 10.4 %). Для предварительно не обработанной дыни выбран также сорт «Торпедо», массой 5.387 кг.



Рис.1. Парниковая солнечная установка для предварительной обработки дыни.

Суть принципа действия предлагаемой бытовой солнечно-ИК сушильной установки заключается в следующем. Солнечная радиация в основном поступает прямо через наклонную стеклянную поверхность на поверхность аккумуляции тепла под углом и прямо, остальная часть проникает в застекленные стороны сушильного шкафа и непрямо падает на поверхность плодов дыни нагревая их. Аккумулятор тепла нагревает окружающий воздух и проходя через плоды вызывает их нагрев, испаряет из состава дыни водяные пары, образующаяся разогретая паравоздушная смесь стекает по поверхности дынь вертикально вверх в окружающую среду.

Рекомендуемая установка иллюстрируется на рисунках 2 и 3, где показаны схематическое и натурное изображения разработанной установки.

Бытовая солнечно-ИК сушильная установка 1 для сушки дыни состоит из сушильного шкафа в виде параллелепипеда с четырьмя угольными основаниями высотой параллелепипеда 80 см., шириной 40 см. В трёх сторонах параллелепипеда установлены рамы, изготовленные из деревянного

бруска и на нём прикреплены стёкла, на четвёртой стороне дверь (герметичная). К трём сторонам прикреплены застекленные наклонные рамы, стенки которых наклонены к горизонту на 45 градусов. Дно сушильного шкафа покрыто металлическим листом, под которым установлен теплоизолятор. В нижней части устройства просверлено отверстие. Для защиты сушильного шкафа от насекомых оно покрывается ситой.

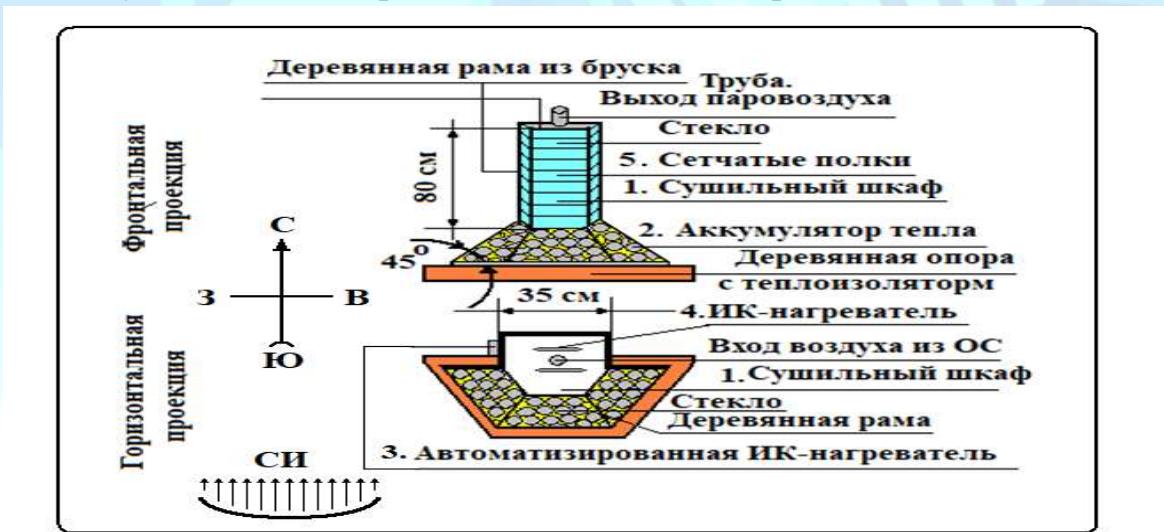


Рис. 1. Схема солнечно-ИК сушильной установки.



Рис. 2. Натурное изображение солнечно-ИК сушильной установки, действующее на солнечном излучении.

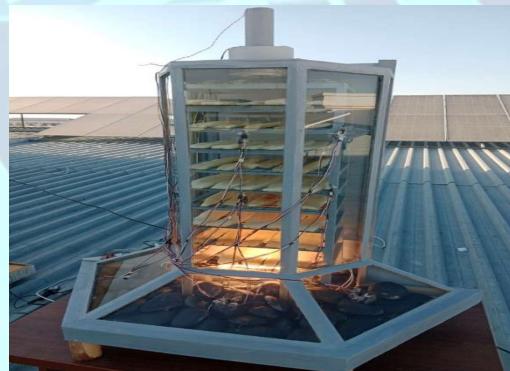


Рис. 3. Натурное изображение солнечно-ИК сушильной установки, действующее на ИК-излучении.

Над отверстием устанавливается ИК нагреватель 4 и размещаются камни в качестве аккумулятора тепла 2. ИК-нагреватель соединен с автоматизированной системой 3. В металлическом листе и в теплоизоляторе просверлено отверстие для входа воздуха из окружающей среды. На потолке шкафа просверливается отверстие и устанавливается труба для выхода паровоздушной смеси изнутри шкафа в наружу. Внутри шкафа устанавливаются 10 сетчатых полок для размещения плодов.

Принцип действия установки. После окончания предварительной обработки целой дыни она разрезается на половину вдоль и ось, затем очищается от семён и кожуры, съедомая часть разрезается на ломтики размером 25x06x1.5 см. Для эксперимента из предварительно обработанной массы дыни выбран 3.141 кг. и для предварительно не обработанной массы выбран 3.968 кг. плодов дыни (ломтиков из съедобной части). Нарезанные ломтики со стороной площадью 20+06 см² укладываются на сетчатую полку, включается автоматическая система ИК-нагревателя.

Когда температура выхода паровоздушной смеси становится близко температуре сушильного шкафа (50°C), автоматизированная система ИК-нагревателя выключается. Герметично закрывается дверь сушильного шкафа. Три застекленные стороны и застекленные наклонные поверхности сушильного шкафа направляются на южную, юго-западную и юго-восточную стороны.

На застекленные стенки сушильного шкафа поступает поток солнечного излучения, часть которого поступает на три застекленных прямоугольные стенки, а основной поток солнечного излучения поступает на наклонные поверхности сушильного шкафа. Необходимо отметить, что солнечный поток на поверхность плодов дыни поступает непрямо, а на аккумулятор тепла поступает под углом и прямо. Поток солнечного излучения, поступающий на наклонные застекленные поверхности непосредственно нагревает аккумулятор тепла. Нагретый воздух окружающий аккумулятор тепла, конвективно проходя через плоды, нагревает ломтики дыни, вода находящаяся в составе дыни испаряется, сушильный шкаф наполняется водяным паром и через трубы испускается в окружающую среду.

Результаты и обсуждение. Для научно-исследовательской работы процесса сушки необходимо установить коэффициент влажности. Коэффициент влажности (MR) образцов дыни определяется (1) использованием приведенного ниже уравнения (1).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

где MR — коэффициент влажности (безразмерный), M_t — содержание влаги в образце в любой момент времени t (кг воды/кг сухого вещества), M_e — содержание влаги в равновесии (кг воды/кг сухого вещества), M_0 — начальное содержание влаги (кг воды/кг сухого вещества). M_e относительно мало для длительного времени сушки по сравнению с M_t или M_0 . Поэтому M_e принимается как нулевое значение в данном исследовании. Таким образом, MR можно упростить, как $MR = M_t/M_0$ [5]. В большинстве случаях устанавливают изменение массы плодов в процессе сушки.

Скорость сушки является важным параметром при изучении кинетики сушки. Для того чтобы выявить связь между временем и скоростью сушки ломтиков дыни было определено следующее уравнение:

$$DR = \frac{M_t + \Delta t - M_t}{\Delta t} \quad (2)$$

где DR — скорость сушки (кг воды/кг сухого вещества · мин), M_t и $M_t + \Delta t$ — содержание влаги в момент времени t и $t + \Delta t$ соответственно, а t — время сушки (мин) [5].

На рисунке 4 иллюстрируются результаты проведенных экспериментов 05.08.2024, 06.08.2024 и 07.08.2024 в виде кривых зависимостей изменения массы осушаемой дыни (в %) и изменения солнечной радиации (в $\text{Вт}/\text{м}^2$) в течении часовых интервалов дня в одинаковых условиях. Видно, что предварительно обработанная дыня сушится на 6 часов быстрее чем предварительно необработанная. Скорость сушки предварительно обработанной дыни достигает в солнечный день: первый солнечный день в среднем 2.1 (%/час), второй день в среднем до 2.4 (%/час), для предварительно необработанной дыни скорость сушки понижается и имеет среднее значение: первый солнечный день 1.5 (%/час); второй солнечный день 2.4 (%/час) и третий солнечный день 1.6 (%/час).



Рис.4. Зависимость солнечной радиации изменения массы плодов дыни от времени сушки.

Таким образом, у необработанной дыни во второй день скорость сушки становится одинаковой, как в предварительно обработанной дыни, первый и третий день солнечной сушки у предварительно обработанных плодов дыни скорость сушки быстрее, чем у необработанных плодов. Это обосновывается тем, что в съедобной части предварительно обработанных плодов содержатся дополнительные микропоры, в которых происходит дополнительное испарение воды из состава осушаемой дыни, полученная при предварительной обработке.

С 20:00 часов вечера 05.08.2024 до 08:00 часов утра 06.08.2024 ИК-нагревателем сушка осуществлена со скоростью для предварительно отработанных плодов 1.45 (%/час) и для необработанных плодов 1.18 (%/час). С 20:00 часов вечера 06.08.2024 до 08:00 часов утра 07.08.2024 ИК-нагревателем сушка осуществлена со скоростью для предварительно отработанных плодов 0.55 (%/час) и для необработанных плодов 0.18 (%/час). Увеличение скорости сушки плодов дыни объясняется тем, что после предварительной обработки в ломтиках дыни образуются дополнительные микропоры, вследствии чего свободно испаряются пары воды во время сушки.

На рисунке 5 иллюстрируется изменение парциального давления паровоздушной смеси в течении проведения процесса сушки в рекомендуемой установке (МПа), с повышением солнечной радиации повышается и температура нагревания плодов и влажность паровоздушной смеси, также увеличивается концентрация паров за счет которой повышается парциальное давление паровоздушной смеси. Значение парциального давления определено на основе данных влажности и температуры паровоздушной смеси по id-диаграммы. Также воспользуясь id-диаграммы определена доля водяных паров в паровоздушной смеси (г/кг). Измеряемая температура, влажность, доля водяных паров в составе паровоздушной смеси и в окружающей среде представлены в таблице №1.

По характеру кривой процесса сушки, как зависимость парциального давления от интервала времени дня видно, что с повышением солнечной радиации дня парциальное давление паровоздушной смеси каждый час пульсационно повышается от 0.1 до 0.6-0.65 МПа относительно парциального давления окружающей среды. В таком случае из выхода (отверстия) сушильного шкафа в окружающую среду пульсационно испускается паровоздушная смесь, в сушильном шкафу создается

пульсационный вакуум. За счет вакуума из глубины состава осушаемого плода дыни испаренные водяные пары высасываются, покидают плоды и сушильный шкаф.

Таблица №1

Результаты измерения влажности и температуры паровоздушной смеси и окружающей среды у выхода сушильного шкафа.

Интервал времени дня, час.	Температура паровоздушной смеси у выхода шкафа, °C.	Влажность паровоздушной смеси у выхода шкафа, %	Масса доли водяных паров паровоздушной смеси, г/кг.	Температура/влажность паровоздушной смеси окружающей среды, °C/%.
		05.08.2024		
10:00-11:00	44.69	42	25.76	36.1/19.5
11:00-12:00	45.31	41	25.12	36.9/19.4
12:00-13:00	46.75	41	27.94	37.0/18.6
13:00-14:00	44.75	43	26.39	38.9/17.5
14:00-15:00	45.56	46	29.88	39.4/17.1
15:00-16:00	46.63	44.	30.08	38.5/15.8
16:00-17:00	42.00	43	22.44	37.9/14.6
17:00-18:00	41.31	45	22.28	37.0/13.2
18:00-19:00	43.38	45	23.53	36.1/12.9
19:00-20:00	39.09	44	19.49	33.7/12.2
		06.08.2024		
07:00-08:00	34.13	44	14.72	34.0/26.4
08:00-09:00	46.38	46	29.88	34.9/23.7



09:00-10:00	47.75	48	37.77	35.4/20.2
10:00-11:00	49.75	48	38.65	36.3/18.0
11:00-12:00	50.06	45	36.09	36.9/16.1
12:00-13:00	45.69	46	29.88	38.0/15.2
13:00-14:00	46.38	49	31.93	39.8/15.6
14:00-15:00	48.94	49	37.47	38.9/13.0
15:00-16:00	46.44	49	31.93	38.5/12.1
16:00-17:00	48.06	45	35.53	37.5/13.2
17:00-18:00	46.00	40	25.82	37.2/12.2
18:00-19:00	39.31	39	17.22	36.6/12.7
19:00-20:00	40.56	41	20.23	34.1/12.9
	07.08.2024			
07:00-08:00	34.50	42	14.85	34.2/239
08:00-09:00	36.75	42	16.62	34.7/22.1
09:00-10:00	36.75	37	14.60	35.6/19.6
10:00-11:00	40.55	38	17.71	36.4/16.6
11:00-12:00	40.05	41	19.15	37.1/15.8
12:00-13:00	43.06	44	24.27	38.3/14.3
13:00-14:00	49.75	48	38.65	39.8/14.0

14:00-15:00	51.25	49	41.64	38.7/13.6
15:00-16:00	51.19	50	42.55	38.2/12.8
16:00-17:00	50.44	42	35.36	37.3/12.1

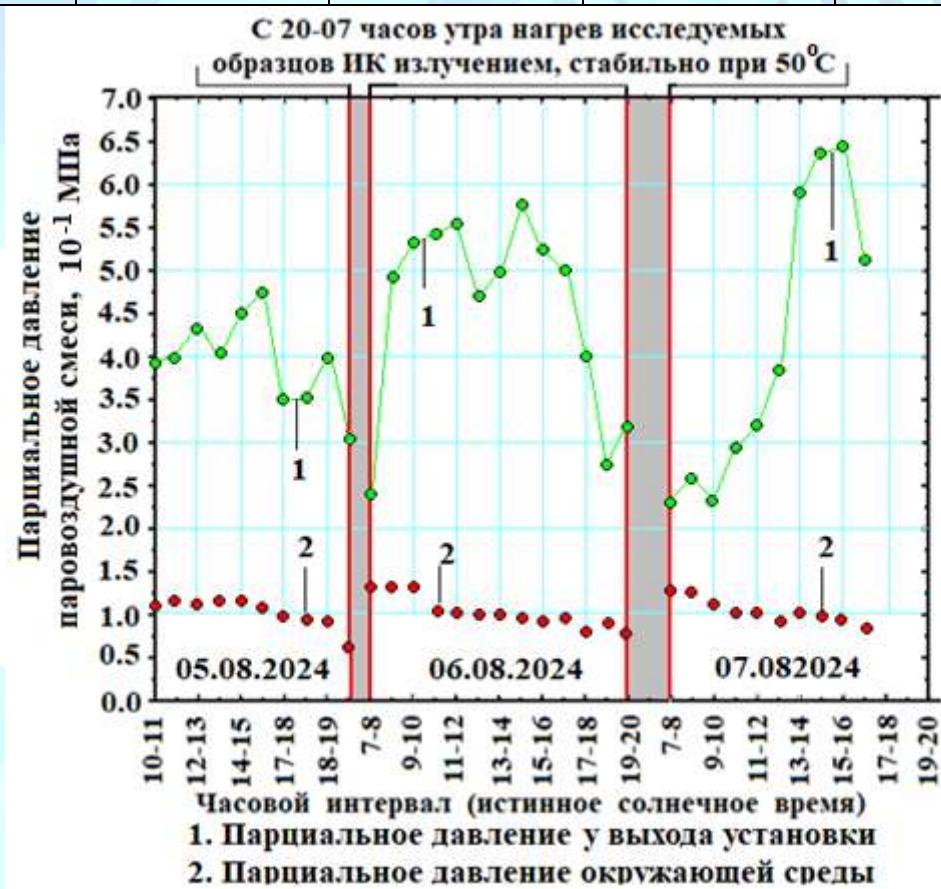


Рис.5. Зависимость доли водяных паров от интервала времени дня в составе паровоздушной смеси.

Отметим, что размеры выходного отверстия установленного на потолке сушильного шкафа (для выхода паровоздушной смеси в окружающую среду), входного отверстия установленного на дне сушильного шкафа (для входа атмосферного воздуха из окружающей среды) выбраны по концепции модели (абсолютно черного тела) определение линейного размера ($F_{\text{полость}} \gg F_{\text{отверстие}}$) щели полости входящего излучения относительно линейного размера полости $D_{\text{полость}} = 10 \div 16 d_{\text{отверстие}}$.

Газы (H_2O , SO_2 , NH_3 , CO_2 и др.) излучают и поглощают энергию лишь в определенных интервалах длин волн $\Delta\lambda$, расположенных в различных частях спектра; для лучей других длин волн, газы прозрачны. В энергетическом отношении для водяного пара основное значение имеют

полосы 2.2-3.0 мкм, 4.8-8.5 мкм, 12-30 мкм. Солнечное излучение имеет интервал спектральных полос: частоты 10^{14} - 10^{12} Гц, длины волн 10^{-6} – 10^{-4} нм. При прохождении фотонов через объем газа некоторая их часть поглощается молекулами газа (водяные пары). Энергия фотонов передается молекулам, вследствие чего газ нагревается, происходит поглощение лучистой энергии в объеме газа. При этом поглощаются только те фотоны, энергия которых $h\nu$ отвечает частоте ν , соответствующим полосам поглощения газа [6]. Такое явление создаётся внутри сушильного шкафа, особенно когда концентрация водяных паров становится достаточно много.

Для достоверности результатов на рисунке 6 иллюстрируется готовая продукция, которая разложена после экспериментальных исследований на предложенной бытовой солнечно-ИК нагревательной установке.

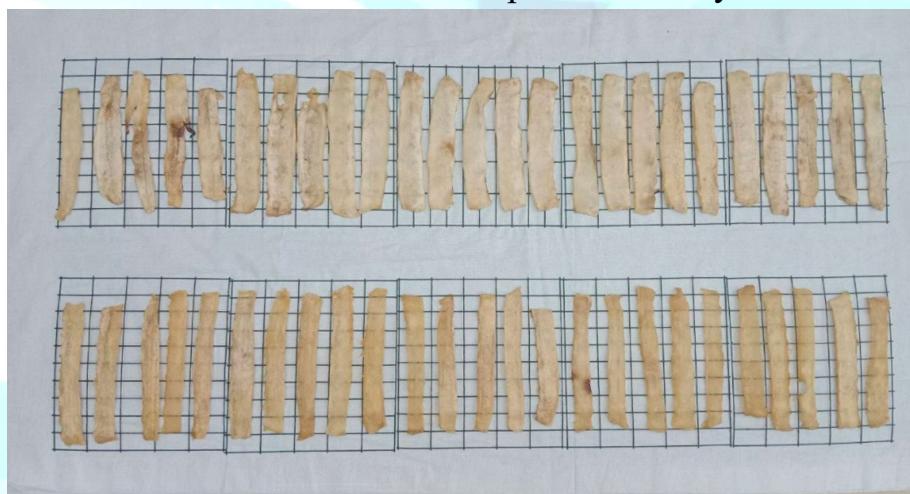


Рис.6. Иллюстрация готовой продукции сушёной дыни, полученной в бытовой солнечно-ИК сушильной установке.

Заключение.

Рекомендуется предварительная обработка плодов дыни дешёвым солнечным излучением в парниковой установке на два дня, при котором через кожу дыни солнечное излучение проникая в съедобную часть создает микропоры глубиной 1.2 см., это дает возможность ускорить процесс сушки (и времени сушки). Предварительная обработка даёт возможность увеличить потерю влажности дыни на 10.4% от общего веса.

Только с одним отверстием для выхода паровоздушной смеси из сушильного шкафа бытового солнечно-ИК сушильной установки при пульсационном выходе паровоздушной смеси создаётся естественный вакуум, за счет чего из глубины (через микропоры) ломтиков дыни высасываются испаренные водяные пары, в результате процесс сушки ускоряет время сушки на 30% относительно необработанного плода дыни.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.O.Rakhmanov, I.S.Zhulbekov, I.M. Kabulov. Экспериментальное исследование сушильной установки для сушки дыни ИК-излучением. Гулистан государственный университет. Volume 2 Issue 13, December 2022.
2. A.M. Yusupov, Method of drying melon A.S. No. 1722374 (SU), publ. 09.23.92. B.1. 35 (1992).
3. <https://robotclass.ru/tutorials/arduino-dht/>
4. <https://data.meteo.uz/>
5. Cüneyt Tunckala, İbrahim Doymaz. Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. *Renewable Energy* Volume 150, May 2020, Pages 918-923
6. М.А.Михеев, И.М.Михеева. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. С.182-193.