



УДК 662 997. 631.344

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУШИЛЬНОГО ШКАФА СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НЕПРЯМОГО ТИПА

Абдурахманов Кахар Паттахович¹ – доктор физико-математических наук, профессор

ORCID: [0000-0002-4273-4446](https://orcid.org/0000-0002-4273-4446) E-mail: prof.aqp@mail.ru

Тахиров Улугбек Холмирзаевич² - старший преподаватель

ORCID: 0009-0006-0810-6098 E-mail: takhirov.ulughbek@gmail.com

Режабов Сарвар Абдирасулович³ – докторант

ORCID: 0000-0001-8491-4122 E-mail: sarvar.rejabov7790@gmail.com

^{1,2}Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий, г. Ташкент, Узбекистан

³Ташкентского химико-технологического института, г. Ташкент, Узбекистан

Для контактов: Тахиров Улугбек Холмирзаевич - старший преподаватель
E-mail: takhirov.ulughbek@gmail.com

Аннотация. Введение. Узбекистан является основным производителем сушеных фруктов, приспособленных к его природно-климатическим условиям. Использование сушильных устройств на основе солнечной энергии для сушки фруктов и овощей является важным фактором в снижении их себестоимости.

Методы и материалы. В статье предложен метод сушки фруктов и овощей на основе солнечной энергии. Энергетическая эффективность предложенного солнечного коллектора для нагрева воздуха была рассчитана с использованием теплотехнических методов.

Результаты. В статье описаны конструктивные особенности сушильного шкафа солнечной сушильной установки. Для обеспечения естественной и градиентной конвекции и использования механизма нагрева воздуха теплицы на верхней части теплового солнечного коллектора установлен воздухонагреватель. Смешанное расположение поддонов, установленных по уровням, обеспечивает равномерный поток нагретого воздуха вокруг сельскохозяйственных продуктов на поддонах и способствует их турбулизации по высоте сушильного шкафа. Приведены экспериментальные данные о температуре нагретого воздуха в верхней части воздухонагревателя и на поддонах сушильного шкафа.

Заключение. Предложена солнечная сушильная установка для сушки фруктов и овощей на основе солнечной энергии с энергетической эффективностью 75–85%.

Ключевые слова: солнечный коллектор, воздухонагреватель, сушильный шкаф, поддоны, поглощательная способность солнечного излучения, естественная конвекция воздуха, поток нагретого воздуха, распределение температуры.

Дата поступления: 28.06.2024. После обработки: 25.07.2024. Принято печать: 17.09.2024

UDC 662 997. 631.344

EFFICIENCY OF THE INDIRECT TYPE SOLAR DRYING PLANT

Abdurakhmanov Kahar Pattakhovich¹ – doctor of physical and mathematical sciences, professor

ORCID: [0000-0002-4273-4446](https://orcid.org/0000-0002-4273-4446) E-mail: prof.aqp@mail.ru

Takhirov Ulugbek Kholmiraevich² - senior lecturer

ORCID: 0009-0006-0810-6098 E-mail: takhirov.ulughbek@gmail.com





Rejabov Sarvar Abdurasulovich³ - basic doctoral student
ORCID: 0000-0001-8491-4122 E-mail: sarvar.rejabov7790@gmail.com

^{1,2}Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi,
Tashkent, Uzbekistan

³Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Introduction. *Uzbekistan is the main producer of dried fruits adapted to its natural and climatic conditions. The use of solar-powered drying devices for drying fruits and vegetables is an important factor in reducing their cost.*

Methods and Materials. *The article proposes a method for drying fruits and vegetables based on solar energy. The energy efficiency of the proposed solar collector for heating air was calculated using heat engineering methods.*

Results. *The article describes the design features of the drying cabinet of the solar drying unit. To ensure natural and gradient convection and use the mechanism for heating the air of the greenhouse, an air heater is installed on the upper part of the thermal solar collector. The mixed arrangement of pallets installed at levels ensures a uniform flow of heated air around agricultural products on the pallets and promotes their turbulence along the height of the drying cabinet. Experimental data on the temperature of the heated air in the upper part of the air heater and on the pallets of the drying cabinet are presented.*

Conclusion. *A solar drying plant for drying fruits and vegetables based on solar energy with an energy efficiency of 75-85% is proposed.*

Keywords: *solar collector, air heater, drying cabinet, pallets, absorption capacity of solar radiation, natural air convection, flow of heated air, temperature distribution.*

UO‘K 662 997. 631.344

BILVOSITA QUYOSH QURITISH QURILMASI QURITISH SHKAFINING SAMARADORLIGI

Abduraxmanov Kaxar Pattaxovich¹ – fizika-matematika fanlari doktori, professor
ORCID: 0000-0002-4273-4446 E-mail: prof.aqp@mail.ru

Tohirov Ulug‘bek Xolmirzaevich² – katta o‘qituvchi
ORCID: 0009-0006-0810-6098 E-mail: takhirov.ulughbek@gmail.com

Rejabov Sarvar Abdurasulovich³ - doktorant
ORCID: 0000-0001-8491-4122 E-mail: sarvar.rejabov7790@gmail.com

^{1,2}Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti,
Toshkent, O‘zbekiston

³Toshkent kimyo-texnologiya Instituti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: *Kirish. O‘zbekiston o‘zining tabiiy-iqlim sharoitlariga mos quruq mevalarning asosiy ishlab chiqaruvchisi hisoblanadi. Meva sabzavotlarni Quyosh energiyasi asosidagi quritish qurilmalaridan foydalanib quritish, uning tan-narxini arzon bo‘lishida muhim omil hisoblanadi.*

Usul va materiallar. *Maqolada mualliflar tomonidan meva-sabzavotlarni quyosh energiyasi asosida quritish usuli taklif qilingan bo‘lib, taklif qilingan quyosh havo qizdirish kollektorining energiya samaradorligi issiqlik-texnik hisoblash usullaridan foydalanib amalga oshirilgan.*

Natijalar. *Maqolada mualliflar tomonidan quyosh quritish qurilmasi quritish shkafining konstruktiv xususiyatlari tavsiflangan. Tabiiy va gradient konveksiyani ta‘minlash va issiqxona havosini isitish mexanizmidan foydalanish uchun issiqlik saqlovchi quyosh kollektorining yuqori*





qismiga havoni o'tkazuvchi havo isitgich o'rnatilgan. Qavatlar bo'ylab o'rnatilgan poddonlarning ofset joylashuvi poddonlarda joylashgan qishloq xo'jaligi mahsulotlari atrofida isitiladigan havoning bir tekis oqishini va quritish shkafi balandligi bo'ylab ularning turbulizatsiyasini ta'minlaydi. Havo isitgichining yuqori qismidagi va qavatlar bo'ylab o'rnatilgan quritish shkafi poddonlaridagi isitiladigan havo haroratining eksperimental qiymatlari keltirilgan.

Xulosa. Meva-sabzavotlarni quyosh energiyasi asosida quritish uchun mo'ljallangan Quyosh quritish qurilmasi taklif qilingan bo'lib, uning energiya samaradorligi 75-85% ni tashkil qilishi asoslangan.

Kalit so'zlar: quyosh kollektori, havo isitgichi, quritish shkafi, tagliklar, quyosh nurlanishining yutilish qobiliyati, tabiiy havo konveksiyasi, isitiladigan havo oqimi, harorat taqsimoti.

Введение

Узбекистан по природно-климатическим условиям является основным производителем сухофруктов, экспортирующий почти в 72 стран мира и ближнего зарубежья. Основным производителем этой продукции являются крупные заводы и комбинаты.

Производство сухофруктов в хозяйствах нашей Республики основано преимущественно на естественной воздушно-солнечной сушке. Воздействие пыли, росы, попадание посторонних примесей и прямых солнечных лучей, а также наличие насекомых и грызунов снижает качество продукта и требует дополнительной заводской обработки. Применение солнечных сушильных установок стало определенным шагом к устранению этих недостатков.

В работах [1, 2] приведены обзор солнечных сушилок сельскохозяйственных продуктов прямого, непрямого и гибридного типов с различными степенями технических характеристик, а также смещанные для морских продуктов.

Прямым методом сушки является естественная воздушно-солнечная сушка сельхозпродуктов [3, 4]. Прямые солнечные сушилки имеют материал, который должен быть высушен в корпусе, с прозрачной крышкой на нем. Тепло генерируется поглощением солнечного излучения на самом продукте, а также на внутренних поверхностях сушильной камеры. Солнечная энергия короткой длины волны падает на неровную поверхность урожая. Часть этой энергии отражается обратно, а оставшаяся часть поглощается поверхностью в зависимости от цвета сельскохозяйственных культур. Поглощенное излучение преобразуется в тепловую энергию, а температура сельхозпродукции увеличивается. Это приводит к потере длины волны излучения от поверхности урожая к окружающему воздуху через влажный воздух. Испарение влаги происходит в виде потерь испарения и поэтому урожай высушивается. Солнечное испарение вызывает потерю вкусовых и ароматических характеристик [5, 6].

Непрямые солнечные сушилки часто называются солнечными сушилками распределенного типа. Здесь растение расположено в лотках или полках внутри закрытой непрозрачной сушильной камеры и нагревается циркулирующим воздухом, нагретым во время его потока через солнечный коллектор [3, 7, 8, 9]. В этом методе культура не подвергается прямому воздействию солнечной радиации, поэтому происходит уменьшение обесцвечивания и растрескивания на поверхности культуры [10]. Таким образом, они рекомендуются для относительно чувствительных продуктов, таких как лекарственные травы, специи и фрукты, где на содержание витамина С отрицательно повлияет прямое воздействие солнечной радиации. Непрямые сушильные установки менее компактны по сравнению с прямыми солнечными сушильными установками, но они, как правило, являются более эффективными.

Комбинированные солнечные сушилки смешанного режима сочетают в себе функции прямого (интегрального) типа и не прямых (распределенных) типов солнечных



сушилок [2, 3]. Для процесса сушки используется комбинация лучевого солнечного излучения, падающего на продукт, и предварительно нагретого воздуха в солнечном коллекторе. Гибридные солнечные системы [11]. обычно проектируются с учетом конкретного продукта и могут включать другие виды энергии, что позволяет ускорить процесс сушки за счет использования других источников тепловой энергии в дополнение к солнечному теплу.

Целью настоящей работы являются разработка конструкции высокоэффективной солнечной сушильной установки - непрямого типа, при использовании солнечного коллектора из цельного, черного цвета профилированного алюминиевого листа с высоким коэффициентом удельной теплоемкости и поглощательной способностью солнечной радиации а также воздуховода, установленного на верхней части солнечного коллектора с оптимальными соотношениями размеров входного отверстия для входа холодного воздуха и длины воздуховода превышающего в 2,5 раза, позволяющая обеспечить естественную конвекцию подогретого воздуха, повышении эффективности воздухонагревателя и коэффициента полезного действия сушильной установки.

Методы и материалы

Экспериментальная часть. Конструкции солнечной сушильной установки непрямого типа и сушильного шкафа. Разработана высокоэффективная конвекционная солнечная сушильная установка непрямого типа [13, 14], которая показана на рис. 1 и 2.

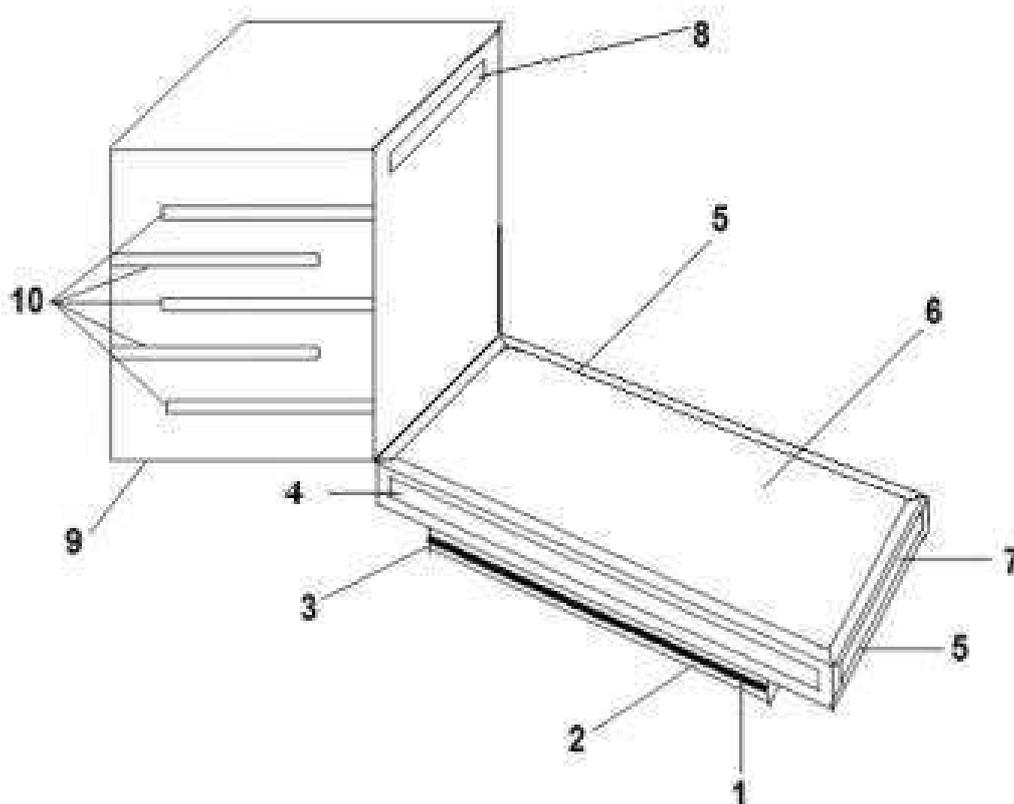


Рис. 1. Солнечная сушильная установка: 1 – теплопоглощающий солнечный коллектор, 2 – теплоизоляционное покрытие, 3 – корпус теплопоглощающего солнечного коллектора, 4 – воздухонагревательный воздушный провод, 5 - каркас воздухонагревательного воздушного провода, 6 - оптическая прозрачная пленка, 7 - отверстие для входа воздуха, 8 - выходное отверстие использованного воздуха, 9 - сушильный шкаф, 10 – смещенно расположенные поддоны по этажам сушильного шкафа.



Fig. 1. Solar dryer: 1 - heat-absorbing solar collector, 2 - heat-insulating coating, 3 - heat-absorbing solar collector housing, 4 - air heating duct, 5 - air heating duct frame, 6 - optical transparent film, 7 - air inlet opening, 8 - used air outlet, 9 - drying cabinet, 10 - displaced pallets on floors of drying cabinet.

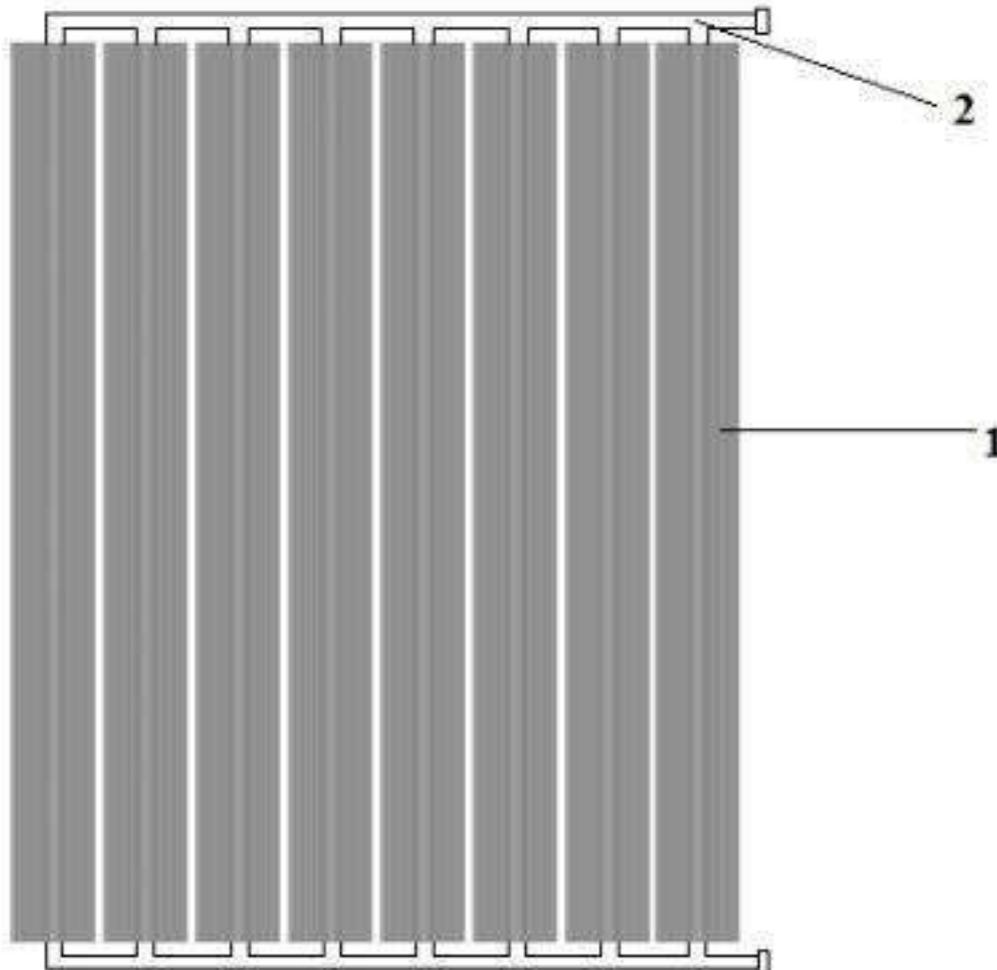


Рис. 2. Теплопоглощающий солнечный коллектор: 1 - цельный, черненный профилированный алюминиевый лист, 2 - труба из нержавеющей стали (диаметр 25 мм).

Fig. 2. Heat absorbing solar collector: 1 - one-piece, black profiled aluminum sheet, 2 - stainless steel pipe (25 mm diameter).

Солнечная сушильная установка [13, 14] содержит вертикально установленный сушильный шкаф с поддонами, теплопоглощающий солнечный коллектор из профилированного алюминиевого листа и воздуховод, установленный на верхней части солнечного коллектора.

1-теплопоглощающий плоский солнечный коллектор состоит из цельного, черненного профилированного алюминиевого листа толщиной 3 мм (рис. 2-1), со встроенными трубами диаметром 25 мм с общим объемом водоизмещения 10 литров (рис. 2-2). Коллектор обладает поглотительной способностью солнечной радиации от 0,89 до 0,94. Встроенные трубы позволяют содержать воду в объеме порядка 10 литров и повышать теплоемкость, а также теплопроизводительность солнечного коллектора.

4-воздухонагревательный воздушный провод расположен над теплопоглощающим солнечным коллектором и имеет следующие размеры: поперечное сечение входного отверстия воздухонагревателя составляет следующие параметры: высота - $a=0,04$ м; ширина - $b = 90$ см = 0,9 м, площадь - $0,036$ м², длина воздухонагревателя составляет 2,32 м.

9-размеры сушильного шкафа и общий объем составляют – 1,23 х 1,72 х 0,75 м и 1,58 м³ соответственно.

В сушильном шкафу имеются 6 поддонов смещенные друг от друга на разных этажах. Площадь каждого поддона составляет – 0,90 м². Общий вид сушильного шкафа и сушильной установки приведены на рисунках 3, 4 и 5.



Рис. 3. Опытный образец солнечной сушильной установок.
Fig. 3. Solar drying system prototype.



Рис. 4. Расположение поддонов для сушки сельхоз продуктов
Fig. 4. Arrangement of pallets for drying agricultural products

Проведены экспериментальные исследования по определению основных теплотехнических характеристик солнечного коллектора, воздуховода подогретого воздуха, распределение температуры по высоте сушильного шкафа и исследованы температурные режимы установки в природно-климатических условиях г. Ташкента.

Солнечная сушильная установка устанавливалась под углом к горизонту 30 градусов. Интенсивность солнечной радиации измерялась с помощью пиранометра (Pyranometer CMP11, Serial no: 114874 (KIPP & ZONEN, Since 1830, Made in Netherlands).



Получены экспериментальные результаты и анализ

На рисунке 5 приведены результаты измерения интенсивности солнечного излучения в течение дня при различных неделях и месяцах года в условиях г. Ташкента. Максимальное значение интенсивности солнечного излучения достигает 950 Вт/м^2 приблизительно к полудню.

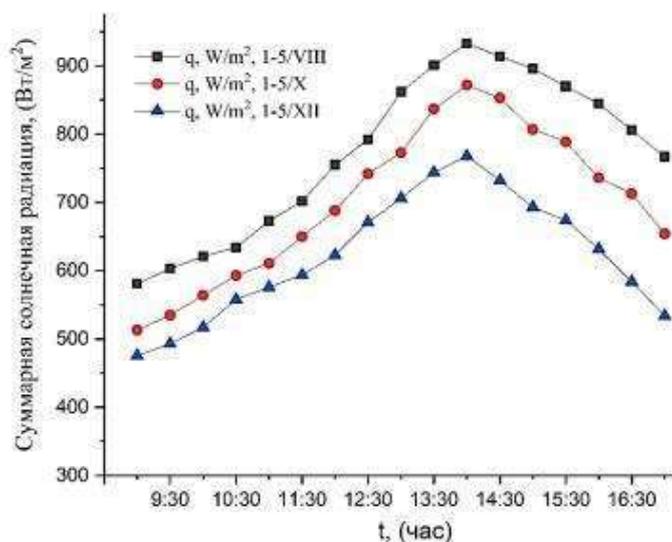


Рис. 5. Интенсивность солнечного излучения в течении дня в течении летне-осенней периода (в условиях г.Ташкента).

Fig. 5. Intensity of solar radiation during the day during the summer-autumn period (in the conditions of Tashkent).

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что при температуре окружающего воздуха $30 \text{ }^\circ\text{C}$ и при среднем значении падающей солнечной радиации 845 Вт/м^2 максимальная температура солнечного коллектора (рис. 6) составляет $75\text{-}77 \text{ }^\circ\text{C}$, температура нагретого воздуха составляет не менее $73 \text{ }^\circ\text{C}$.

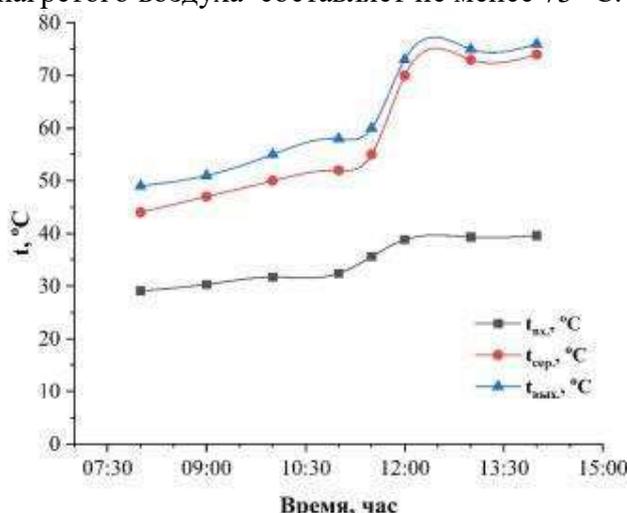


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований температурных характеристик солнечного коллектора при температуре окружающей среды, $t_{\text{oc}} = +30 \text{ }^\circ\text{C}$ (в условиях г. Ташкента)

Fig. 6. Results of experimental studies of temperature characteristics of the solar collector at ambient temperature, $t_{\text{a,t}} = +30 \text{ }^\circ\text{C}$ (in the conditions of Tashkent)

Температура измерялась с помощью ртутного термометра типа: термометр (100250, ТТЖ-М исп. 10.....+200 $^\circ\text{C}$; ц.д. 2 $^\circ\text{C}$, ТУ 25-2021.010-89 ТТ) и контактного термометра

типа: термометр (WTQ-288, 0-120 °C). В обычных климатических условиях г. Ташкента величина скорости холодного воздуха ω находится в пределах 0,05 ÷ 3,0 м/с.

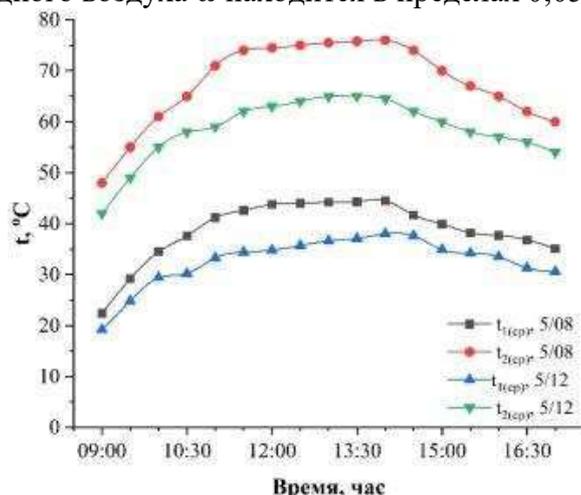


Рис. 7. Температуры воздуха вблизи входа и на выходе воздухонагревателя.
Fig. 7. Air temperatures near the inlet and outlet of the air heater.

На рисунке 7 приведены результаты измерения температуры подогретого воздуха вблизи входа и на выходе воздухонагревателя при различных скоростях холодного воздуха.

На основе анализа суточной динамики метеорологических параметров, температуры на входе и выходе воздухонагревателя произведен расчет теплового потока воздухонагревателя на основе следующих формул предложенных в работе [14, 15]:

$$Q_{пол.} = G_m \cdot c_p \cdot \Delta t \tag{1}$$

$$G_m = G_v \cdot \rho_{воз.} \tag{2}$$

$$Q_{пол.} = G_v \cdot \rho_{воз.} \cdot c_p \cdot (t_{в2} - t_{в1}), \tag{3}$$

где G_m – массовый расход воздуха, кг/с; c_p – изобарная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C); $t_{в1}$ и $t_{в2}$ – температуры воздуха на входе и выходе воздухонагревателя, °C.

Поперечное сечение входного отверстия воздухонагревателя имеет следующие параметры: высота - $a = 0,04$ м; ширина - $b = 90$ см = 0,9 м, площадь – 0,036 м². Объемный расход воздуха через воздухонагреватель (рис. 8) вычислялся по формуле: $G_v = \omega \cdot F_0$.

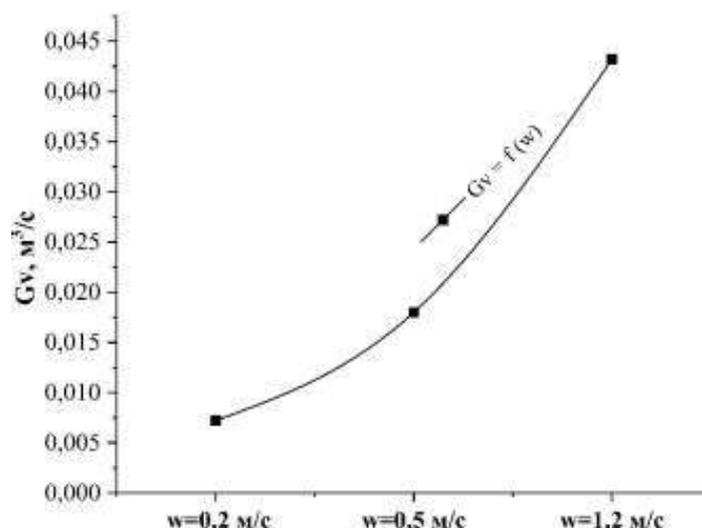


Рис. 8. Зависимость объемного расхода воздуха через воздухонагреватель при трех значениях скорости поступающего воздуха.

Fig. 8. Dependent volume air flow through air heater at three inlet air velocities.



На рисунке 9 приведены экспериментальные результаты разности температуры подогретого и холодного воздуха, а также расчетные результаты теплового потока воздухонагревателя в зависимости от интенсивности солнечной радиации в течении дня.

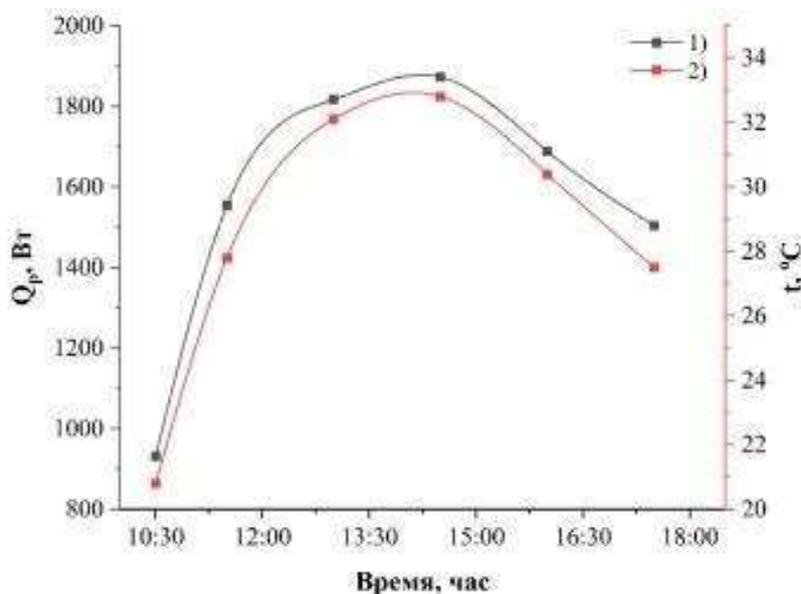


Рис. 9. Экспериментальные результаты разности температуры (1) подогретого и холодного воздуха и расчетные результаты теплового потока (2) воздухонагревателя в зависимости от интенсивности радиации в течении дня.

Fig. 9. Experimental results of temperature difference (1) of heated and cold air and calculation of heat flow (2) of air heater depending on radiation intensity during the day.

Используя значения плотности потока падающей солнечной радиации, температуры холодного воздуха на входе и подогретого воздуха на выходе воздухонагревателя и была рассчитана полезная энергия воздухонагревателя по формуле [15]:

$$Q_{\text{пол.}} = G_v \cdot \rho_{\text{воз.}} \cdot c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}), \quad (4)$$

где $\rho_{\text{воз.}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$; $c_p = 1,004 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$, c_p – изобарная теплоемкость воздуха; $t_{\text{в1}}$ – температура воздуха на входе воздухонагревателя, соответственно °C; $t_{\text{в2}}$ – температура воздуха на выходе воздухонагревателя, соответственно °C; $t_{\text{в1}} = 43,5 \text{ °C}$; $t_{\text{в2}} = 77 \text{ °C}$. При падающей лучистой солнечной энергии $q_p = 922 \text{ Вт/м}^2$ полезная энергия воздухонагревателя составляла: $Q_{\text{пол.}} = 1872,65 \text{ Вт}$.

Удельная теплопроизводительность солнечного коллектора на основе профилированного алюминиевого листа равна:

$$q_{\text{уд.}} = \frac{Q_{\text{пол.}}}{F} \quad (5)$$

Удельная теплоемкость воздухонагревателя составляла:

$$q_{\text{уд.}} = \frac{Q_{\text{пол.}}}{F} = \frac{1872,65 \text{ Вт}}{2,32 \text{ м}^2} = 807,18 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

При поверхностной площади солнечного коллектора $F = 2,32 \text{ м}^2$, Q_p – излучение, падающее на поверхность коллектора составляло:

$$Q_p = q_p \cdot F = 922 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot 2,32 \text{ м}^2 = 2139,04 \text{ Вт}. \quad (6)$$

Расчет КПД воздухонагревателя производился по формуле:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол.}}}{Q_p} = \frac{G_v \cdot \rho_{\text{воз.}} \cdot c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})}{q_p \cdot F}. \quad (7)$$

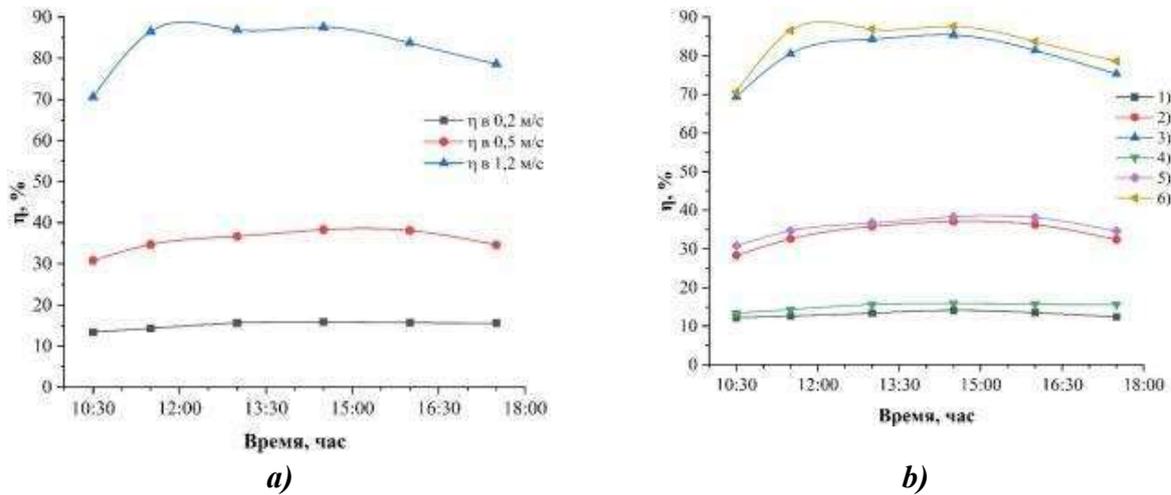


Рис. 10. Зависимость коэффициента полезного действия воздухонагревателя от времени при разных скоростях поступающего воздуха: а) в течении дня, б) в разных периодах года.

Fig. 10. Dependence of the efficiency of the air heater on the time at different incoming air speeds: a) during the day, b) in different periods of the year.

На рисунке 10 приведены результаты экспериментальных данных зависимости коэффициента полезного действия воздухонагревателя от времени в течении дня и разных периодах года при различных значениях скорости воздуха. Как видно из рисунков, коэффициент полезного действия воздухонагревателя находящийся над солнечным коллектором имеет значения в среднем 75-87 % в течение дня, при различных скоростях воздушного потока на входе воздуховода. Большая высота воздуховода (0,25 м) имеет парниковый механизм подогрева, обеспечивает высокую эффективность подогрева воздуха. При этом максимальное значение коэффициента полезного действия воздуховода наблюдается в течении нескольких часов к полудню и показывает высокую эффективность воздухонагревателя солнечной сушильной установки.

Тепловой поток воздухонагревателя в зависимости от интенсивности радиации в течении дня поступает на вход сушильного шкафа, на нижнюю часть второго поддона. Свободное обтекание воздуха вокруг смещенно друг от друга поддонов (рис. 1-10) позволяет равномерную сушку сельхозпродуктов и равномерное распределение температуры по высоте сушильного шкафа, таблица 1 и рисунок 11. Температура теплового потока воздухонагревателя после поступления на сушильный шкаф, из-за расширения объема значительно понижается: от 76 °С до 65 °С. Такая высокая температура внутри сушильного шкафа наблюдается при сравнительно одинаковых площадях входного окна воздухонагревателя и выходного окна сушильного шкафа равной $0,90 \times 0,02 = 0,018 \text{ м}^2$.

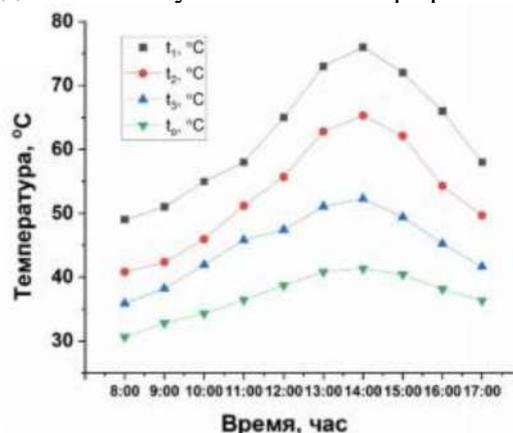


Рис. 11. Результаты экспериментального исследования температур в выбранных точках сушильного шкафа в течение суток.



Fig. 11. Results of the experimental study of temperatures at selected points of the drying cabinet during the day.

Таблица 1

Экспериментально измеренные данные о температуре

Table 1

Experimentally measured temperature data

Время эксперимента, час	t₁, °C	t₂, °C	t₃, °C	t₀, °C
8:00	49	40,8	35,9	30,6
9:00	51	42,3	38,2	32,8
10:00	55	45,9	41,9	34,3
11:00	58	51,2	45,8	36,4
12:00	65	55,7	47,4	38,7
13:00	73	62,8	51,1	40,8
14:00	76	65,3	52,3	41,3
15:00	72	62,1	49,4	40,4
16:00	66	54,3	45,2	38,1
17:00	58	49,7	41,6	36,3

Выводы

В настоящей работе солнечный коллектор изготовлен из цельного, профилированного алюминиевого листа окрашенного в черный цвет, который имеет поглощательную способность солнечной радиации не хуже 0,90 \div 0,94 и высокий коэффициент теплопоглощения, температура на поверхности солнечного коллектора достигает порядка 75-77 °C. Установление воздухонагревателя большой длины 232 см по сравнению размера площади входного окна (0,036 м²) над теплопоглощающим коллектором обеспечивает естественную конвекцию подогретого воздуха под действием архимедовой силы, к выравниванию и повышению температуры подогретого воздуха, обеспечивает высокое значение теплового потока на выходе до 2000 Вт и температуры подогретого воздуха до 75 °C и повышению эффективности теплопоглощения и коэффициента полезного действия воздухонагревателя на уровне 75 – 87 %.

Тепловой поток воздухонагревателя в зависимости от интенсивности радиации в течении дня поступает на вход сушильного шкафа, на нижнюю часть второго поддона. Свободное обтекание воздуха вокруг смещенно друг от друга поддонов (рис. 1–10) позволяет равномерную сушку сельхозпродуктов и равномерное распределение температуры по высоте сушильного шкафа (рис. 11). Температура теплового потока воздухонагревателя после поступления на сушильный шкаф, из-за расширения объема значительно понижается: от 76 °C до 65 °C.

Литература

- [1] Fudholi S.A., Sopian K., Ruslan M.H., Alcoul M.A., Sulaiman M.Y., Review of solar dryers for agricultural and marine products, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14; pp. 1-30, 2010.
- [2] Taheri O., Mobadersani F. New technologies of solar drying systems for agricultural and marine products, Conference Paper February 2012, The 1st Middle-East Drying Conference (MEDC2012), Mahshar, Iran, February 19-20, 2012.
- [3] Kalogiron S.A., Solar Thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science (PECS), vol. 30; pp. 231-95, 2004.



- [4] Narayana V.R., Gawthaman R., Kaviyarsan S., Rajjasekar V., Study of Thermal Efficiency Enhancement in Solar Tunnel drier, International journal of Engineering Research and Technology, vol. 4, no. 02, February, 2015
- [5] Balladin D.A., Chang Yen I., McGaw D.R., Headley O. Solar drying of West Indian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizome using a wire basket dryer, *Renewable Energy*, vol. 7, no. 4, April 1996, pp. 409-418.
- [6] Balladin D.A., Headley O., Evaluation of solar dried thyme (*Thymus vulgaris* Linne) herbs, *Renewable Energy*, vol. 17, pp. 523-31, 1999.
- [7] Зулпонов Ш.У., Самандаров Д.И., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э., Исследование сушки коконов тутового шелкопряда в солнечной сушилке, *Universum: технические науки*, vol. 12, no. 93. 2021.
- [8] Ekechukwu O.V., Norton B., Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology, *Energy Conversion and Management*, vol. 40, no. 6, pp. 615-655, 1999.
- [9] Yogesh D. Kokate, Prasad R. Baviskar, Kaushik P. Baviskar, Pranav S. Deshmukh, Yash R. Chaudhari, Kalpit P. Amrutkar, Design, fabrication and performance analysis of indirect solar dryer, *Materialstoday: Proceedings*, 10 December, 2022.
- [10] Atul Sharma, C.R. Chen, Nguyen Vu Lan, Solar-energy drying systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 6-7, pp. 1185-1210, 2009.
- [11] Hadibi T., Boubekri A., Mennouche D., Benhamza A., Abdenouri N. 3E analysis and mathematical modelling of garlic drying process in a hybrid solar-electric dryer, *Renewable Energy*, vol. 170, June 2021, pp. 1052-1069.
- [12] Абдурахманов К.П., Усманов Б.Ш., Тахиров У.Х., Патент на полезную модель, “Солнечная сушильная установка”, UZ. № FAP 01770, 30.12.2021.
- [13] Abdurakhmanov K.P., Takhirov U.X. Air heater efficiency of solar drying plant for agricultural products. *Материалы II Международной научно-практической конференции «Вопросы сельского хозяйства, экологии, пищевого производства и дистанционного зондирования земли»*. E3S Web of Conferences 392, 01040 (2023) RSE-II-2023, pp. 1-8.
https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/29/e3sconf_rse-ii-2023_01040.pdf
- [14] Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. Пер.: с англ. М.: Энергоиздат. 1982. 80 с.
- [15] Узаков Г.Н., Хужакулов С.М. Исследование температурных режимов гелио воздушонагревательной установки для систем термической регенерации адсорбентов. *Гелиотехника*. №1. 2017. 40-43 с.

Correspondence: Takhirov Ulugbek Kholmiraevich - senior lecturer

E-mail: takhirov.ulugbek@gmail.com

