



Статья поступила в редакцию 19.08.21 Ред. Рег. № 09-01-21

The article has entered in publishing office 19.08.21 Ed. Reg. No. 09-01-21

УДК 631.358, 631.56

СПОСОБ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМ И РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛКИ

Мирзаев Ш.М., Кодиров Ж.Р., Ибрагимов С.С.

Бухарский государственный университет
М. Икбол 11, г. Бухара, Республика Узбекистан
тел.: 998943222212 e-mail: qodirov.jobir@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2021.09.030-039

Заключение совета рецензентов: 23.08.21

Заключение совета экспертов: 23.08.21

Принято к публикации: 29.09.21

Продовольственная безопасность является проблемой для человечества в течение длительного периода времени из-за сезонных погодных условий и неустойчивой урожайности. Потери после уборки урожая, сезонная нехватка продовольствия и сельскохозяйственных продуктов, а также глобальное потепление являются движущей силой во всем мире при разработке экологически безопасных решений сохранения продуктов.

Одним из распространенных методов сохранения продовольствия и сельскохозяйственных продуктов является обезвоживание, то есть удаление влаги для продления срока годности продукта, таких как фрукты и овощи и т.д.

В данной статье предлагается способ определения формы солнечной сушилки прямого типа, выбрана форма параллелепипеда с прозрачной крышей, образованной неравносторонними треугольными основаниями. Рабочие поверхности, через которые поступают солнечные излучения на поверхность осушаемого материала, наклонены по отношению горизонта на 38 и 52 градусов, соответственно северной широты региона.

Выбраны концепции, на основе которых разработан расчетный вычислительный метод и определены геометрические размеры элементов сушилки прямого типа. Установлена формула соотношения размеров высоты и длины и, соответственно, ширины сушилки. Разработан метод определения размеров заслонок, предназначенный для поступления воздуха из окружающей среды внутрь камеры и для выхода паровоздушной смеси изнутри камеры сушилки в окружающую среду. Предложенный метод выбора размеров элементов сушилки оптимизируют режим их работы и естественную конвекционную циркуляцию воздуха внутри камеры.

Ключевые слова: Солнечная сушилка, рабочая прозрачная наклонная поверхность, параллелепипед с треугольными основаниями, осушаемый материал, прямое солнечное излучение, рассеивающее солнечное излучение.

METHOD AND METHODS FOR DETERMINING SHAPES AND SIZES OF SOLAR DRYER ELEMENTS

Mirzaev Sh.M., Kodirov J.R., Ibragimov S.S.

Bukhara State University
M. Ikbol 11, Bukhara, Republic of Uzbekistan
tel.: 998943222212 e-mail: qodirov.jobir@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2021.09.030-039



Food security has been an issue for humanity for a long period of time due to seasonal weather conditions and crop yields. Post-harvest losses, seasonal food and agricultural shortages, and global warming are driving forces around the world in developing sustainable solutions. One of the common methods for preserving food and agricultural products is dehydration that is, removing moisture to extend the life of the product, such as fruits and vegetables, etc.

This article proposes an identified method for choosing the shape of a direct-type solar dryer; the shape of a parallelepiped with non-isosceles triangular bases has been selected. The working surfaces, from which solar radiation comes on the surface of the material to be dried, are inclined with respect to the horizon by 38 and 52 degrees, respectively, to the northern latitude of the region.

Concepts were selected, on the basis of which a computational method was developed and the geometric dimensions of the elements of a direct type dryer were determined. The formula for the ratio of the dimensions of the height to the length and, accordingly, to the width of the dryer has been established, and a method for determining the dimensions of the flaps has been developed, designed for the flow of air from the environment into the chamber and for the exit of the vapor-air mixture from the inside of the chamber of the dryer into the environment. Such methods of choosing the sizes of the elements of the dryer create an optimal mode of their operation, and also create a natural convection circulation of air inside its chamber.

Keywords: Solar dryer, working transparent inclined surface, parallelepiped with triangular bases, drying material, direct solar radiation, scattering solar radiation.



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



*Мирзаев Шавкат
Мустакимович
Mirzaev Shavkat
Mustakimovich*

Сведения об авторе: доктор технических наук, профессор кафедры «Физика» Бухарского государственного университета.

Образование: Бухарский государственный университет.

Область научных интересов: солнечная энергетика, термоядерная физика.

Публикации: 104.

Information about the author: Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Physics, Bukhara State University.

Education: Bukhara State University.

Research area: solar energy, thermonuclear physics.

Publications: 104.



*Кодиров Жобир
Рузиматович
Kodirov Jobir
Ruzimatovich*

Сведения об авторе: докторант кафедры «Физика» Бухарского государственного университета.

Образование: Бухарский государственный университет.

Область научных интересов: солнечная энергетика, математическое моделирование.

Публикации: 27.

Information about the author: doctoral student of the Department of Physics, Bukhara State University.

Education: Bukhara State University.

Research area: solar energy, math modeling.

Publications: 27.



*Ибрагимов Салим
Сафарович
Ibragimov Salim
Safarovich*

Сведения об авторе: ассистент кафедры «Физика» Бухарского государственного университета.

Образование: Бухарский государственный университет.

Область научных интересов: солнечная энергетика, электротехника.

Публикации: 20.

Information about the author: Assistant of the Department of Physics, Bukhara State University.

Education: Bukhara State University.

Research area: solar energy, electrical engineering.

Publications: 20.

Введение

Обилие солнечного излучения на поверхности Земли дает разработчикам замечательную возможность использовать экологически чистую солнечную энергию для нужд человечества. Это приводит к замене энергетического топлива в тепловых технологических процессах и к энергосбережению ископаемых топлив.

Перед учеными стоит задача исследовать и разрабатывать малоинерционные установки, работающие на основе солнечного излучения с максимальным преобразованием ее в иные виды энергии: тепловую, электрическую и т.д.

Таблица сокращений

ω	часовой угол
δ	угол солнечного склонения
β	угол наклона рабочей прозрачной поверхности к горизонту
φ	географическая широта
H	высота
L	длина камеры I – ой солнечной сушильной.

1. Анализ аналогов и протипов

Традиционно, обезвоживание достигается применением процессов сушки на открытом воздухе (Рис.1 а) [3] и очень сильно зависит от наличия солнечного света, подверженные негативному влиянию посторонними воздействиями, такими, как пыль и насекомые, птицы и грызуны, повреждение грибами, потери урожая, дождь и погодные условия [4]. Проблемы, возникающие традиционными методами обезвоживания включая воздействие солнечных лучей на продукты питания, в том числе на фрукты и овощи, ухудшение их питательной ценности и другие проблемы, указанные выше, могут быть решены с помощью солнечных установок с замкнутой системой [5]. Из-за высоких потерь фруктов и овощей необходима разработка эффективных и экономичных решений для фермеров, чтобы ограничить послеуборочные потери и сохранить их производство для дальнейшего использования. Солнечная сушка свежих фруктов и овощей использовалась и продолжает использоваться населением в большинстве регионов мира.

Преимуществом использования солнечной энергии является то, что в областях с ярким солнечным светом она обеспечивает устойчивый бесплатный источник энергии, который можно эффективно использовать [6]. Солнечная сушка, если она прово-

дится должным образом, не только сохраняет продукты, но и поддерживает состав питательных веществ в конечном продукте [7].

В различных регионах мира были спроектированы и разработаны многочисленные типы солнечных осушителей, обеспечивающие различные технические характеристики. В основном разработаны три типа солнечных осушителей: солнечные сушилки с естественной и принудительной конвекцией прямого типа; косвенные солнечные сушилки с естественной и принудительной конвекцией; солнечные сушилки, работающие на смешанном режиме [8].

Авторы [6], [7] и [9] в своих обзорных научных статьях сосредоточились на солнечных сушилках прямого типа с естественной конвекционной циркуляцией воздуха внутри камеры солнечной сушилки (Рис.1.б)). Они считают, что эти сушилки по конструкционной модели являются простыми и наиболее экономичным конструкциями. Эти сушилки не требуют никакого вспомогательного оборудования и дешевы по сравнению с другими типами солнечных батарей и сушилок. Также рассмотрены различные типы солнечных осушителей с прямой естественной конвекцией воздуха и различными модификациями конструкции, примененные к ним с целью повышения эффективности.

α	коэффициент использования дна камеры I
V	объем камеры
$\rho_{засл}$	плотность воздуха, поступающая через поверхность входящей заслонки
$\rho_{огр.}$	плотность воздуха, поступающая на внутреннюю ограждающую поверхность камеры
$F_{засл.}$	площадь поверхности заслонки
$F_{огр.}$	площадь ограждающей прозрачной поверхности сушилки

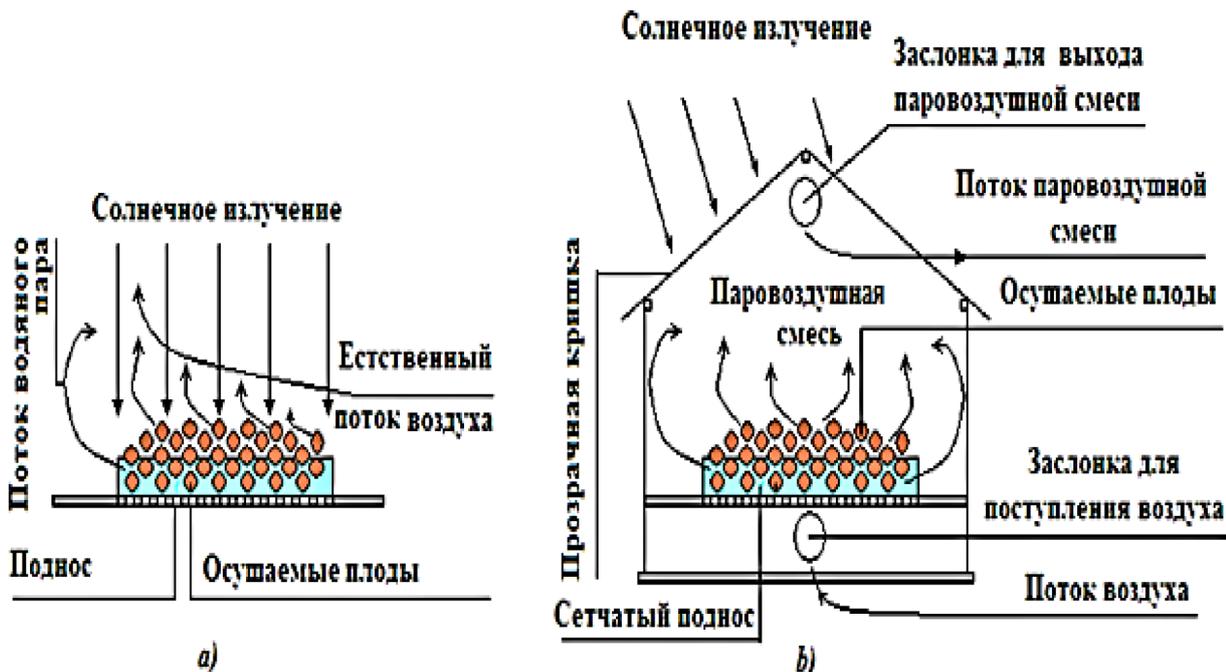


Рис.1. Обобщенные схемы установок прямой солнечной сушки.
Fig. 1. Generalized schemes of direct solar drying plants.

2. Солнечные осушители прямого типа с естественной циркуляцией

Как отмечается в работе авторов [8], в солнечных сушилках с естественной конвекционной циркуляцией воздуха осушаемые продукты хранятся в горячих ящиках или в сушильной камере (Рис.1.б)). Метод нагрева продуктов осуществляется прямо, так как солнечное излучение, проникая через прозрачную поверхность (крышки) за счет естественной конвекции нагревает осушаемых продуктов [9].

Чтобы оценить различные типы солнечных сушилок и их различные конструкционные модели усовершенствования авторами [10] рекомендуются оценить производительность на основе следующих параметров:

- физические характеристики сушилки: тип; размер и форма; ёмкость сушилки (плотность загрузки); площадь и количество лотков; удобство погрузки (разгрузки);
- тепловые характеристики сушилок: время высушивания (скорость высушивания); температура осушаемого воздуха и относительная влажность; расход воздуха для осушения продуктов; эффективность сушилки;
- качество сушёных продуктов: сенсорные (цвет, вкус, текстура, аромат) качества; питательные свойства; регидратационная способность; стоимость процесса сушки и срок окупаемости.

М.С.Содха и др. [11] разработали теоретическое и экспериментальное методы исследования сушки солнечного шкафа. Результаты показали, что в нетипичные летние дни мякоть плода манго с исходной влажностью 95% высушалось до 13% за 12 часов солнечного света. Сделан вывод, что сушилки шкафного типа очень полезны в домашних условиях для осушения фруктов и овощей, в развивающихся слабо-развитых странах.

Модификация типовой конструкции сушильного шкафа, которая была оборудована деревянной камерой, рекомендуется С.И. Эзеквем [12]. Эта камера была использована для упорядочения направления входящего воздуха в сушилку. Также был предусмотрен длинный дымоход из фанеры для улучшения естественной конвекции воздуха внутри камеры сушилки. Сообщается, что это сушилка ускоряет скорость сушки примерно в пять раз по сравнению с сушкой на открытом солнце.

Также Е.О. Демодеек и др. [13] спроектирована и изготовлена солнечная сушилка с прямой естественной конвекцией для сушки тапиоки. Путем экспериментов было установлено, что начальное и конечное содержание влаги составило 79% и 10% в сыром виде соответственно. Температура окружающей среды 32°C и относительная влажность 74% с дневной солнечной радиацией 13МДж/м²·день. Для эксперимента разработана сушилка с минимальной площадью коллектора 1,08м².

С. И. Сингх и др. разработали солнечную сушилку, которая представляет собой переносную сушилку с несколькими полками и промежуточным обогревом. Она состоит из четырех основных компонентов стойки с несколькими лотками подвижного остекления, затеняющей пластины и лотком. Многоярусная стойка наклоняется в зависимости от географической широты расположения сушилки. Сушилка портативная с низкой стоимостью, что делает ее рентабельной. Его можно использовать на надомных производствах и труднодоступных местах [14].

Из выше представленных научных статей следует, что проведено всестороннее исследование и установлено, что сушилки прямого типа с естественной конвекцией являются наиболее экономически эффективным типом солнечных сушилок, их легко изготовить и использовать. В сушилках такого типа не используют никакого вспомогательного оборудования, они защищают сушаемые плоды от внешнего загрязнения. Это самая простая форма сушилок, проста в изготовлении, использовании и затратах более чем эффективнее. Также рекомендуются: для дальнейшего повышения эффективности этих сушилок необходимо применять к ним различные методы улучшения и модификации конструкции, такие как сушающие плоды, блоки аккумуляции тепла и т.д. Также в выше представленных статьях экспериментально выявлены повышения разницы температуры до 9°C (разницы парциальных давлений воздуха и паровоздушной смеси) между воздухом окружающей среды и паровоздушной смеси внутри камеры сушилки. За счет разницы температур, внутри камеры сушилки создается естественная конвекционная циркуляция паровоздушной смеси, т.е. воздух из окружающей среды входит в камеру сушилки через входящие заслонки и паровоздушную смесь, а из внутренней камеры сушилки через выходящей заслонки отправляется в окружающую среду.

В представленных выше статьях выявлено, что геометрические размеры элементов солнечных сушилок прямого типа, в том числе размеры входящих и выходящих заслонок выбраны эмпирически.

Основываясь на выше изложенные недостатки, определена цель данной статьи:

- разработать способ определения формы, установить расчетно-вычислительные методы определения размеров элементов конструктивной модели и в том числе определить размеров заслонок назначенных для входящего наружного воздуха и выходящего паровоздушной смеси в солнечных сушилках прямого типа.

Для определения формы и размеров элементов солнечных сушилок необходимо придерживаться следующих условий: солнечному излучению желательнее перпендикулярно падать на рабочую прозрачную поверхность сушилки; солнечная радиация, которая поступает во внутреннее пространство установки, должна максимально аккумулятироваться; дно

установки должна быть максимально изолировано от окружающей среды.

3. Способ выбора формы парниковой солнечной сушилки прямого типа

Из-за того, что сельскохозяйственные продукты собирают в день их созревания, и сроки их хранения небольшие, поэтому требуются солнечные сушильные установки с максимальной производительностью. Для осуществления такого требования необходимы солнечные сушильные установки с прозрачной поверхностью, по которому на поверхность сушаемых плодов или на поверхность аккумулятора тепла солнечное излучение должен падать перпендикулярно.

Для этого необходимо знать: географическую широту, где планируется установить солнечную сушилку - φ , часовой угол ω , угол солнечного склонения δ , угол наклона рабочей прозрачной поверхности к горизонту β и его азимут установления α .

Отметим, что при достижении перпендикулярного падения солнечного излучения на площадь рабочей прозрачной поверхности солнечной сушилки, аккумулятор быстрее накапливает нужный объем солнечной радиации. Исходя из исследованного массива данных видно, что оптимальным периодом сушки является период в районе даты процесса сушки - 21 декабря (каждого года). При этом, рабочей прозрачной поверхностью считать ту поверхность установки, которая имеет угол наклона по отношению к горизонту $\beta_2 = 90 - \varphi$. Кроме того, привлекательны даты в районе 21 июня (каждого года). Рабочей прозрачной поверхностью считаем ту поверхность сушилки, которая имеет угол наклона по отношению горизонта $\beta_1 = \varphi$.

Например, для города Бухары Республики Узбекистан: $\beta_1 = \varphi = 38^{\circ}$ и $\beta_2 = 90 - \varphi = 52^{\circ}$. Изменение угла солнечного склонения для данного региона в течение года составляет $\Delta\delta = 52^{\circ} - 38^{\circ} \approx 14^{\circ}$. Для данного региона выбираем парниковую солнечную сушилку прямого типа, которая состоит из двух камер: камера I и камера II (Рис. 2). Камера I выполнена в форме параллелепипеда неравносторонними треугольными основаниями $\triangle ABC$ и $\triangle A'B'C'$ ($\angle BAC = 52^{\circ}$, $\angle BCA = 38^{\circ}$), также четырехугольными боковыми поверхностями (рабочими поверхностями) $\square ABB'A'$, $\square BCCB'$ и дно $\square ACC'A'$. Параллелепипед огражден прозрачным материалом (кроме дна $\square ACC'A'$). На каждой прозрачной поверхности треугольного основания параллелепипеда размещены две заслонки (О Вых.). Заслонки снабжены ситом. Рабочая поверхность с углом $\beta_2 = 52^{\circ}$ сушилки 21 декабря (каждого года) ориентируются на Юг, а 21 июня - на Север.

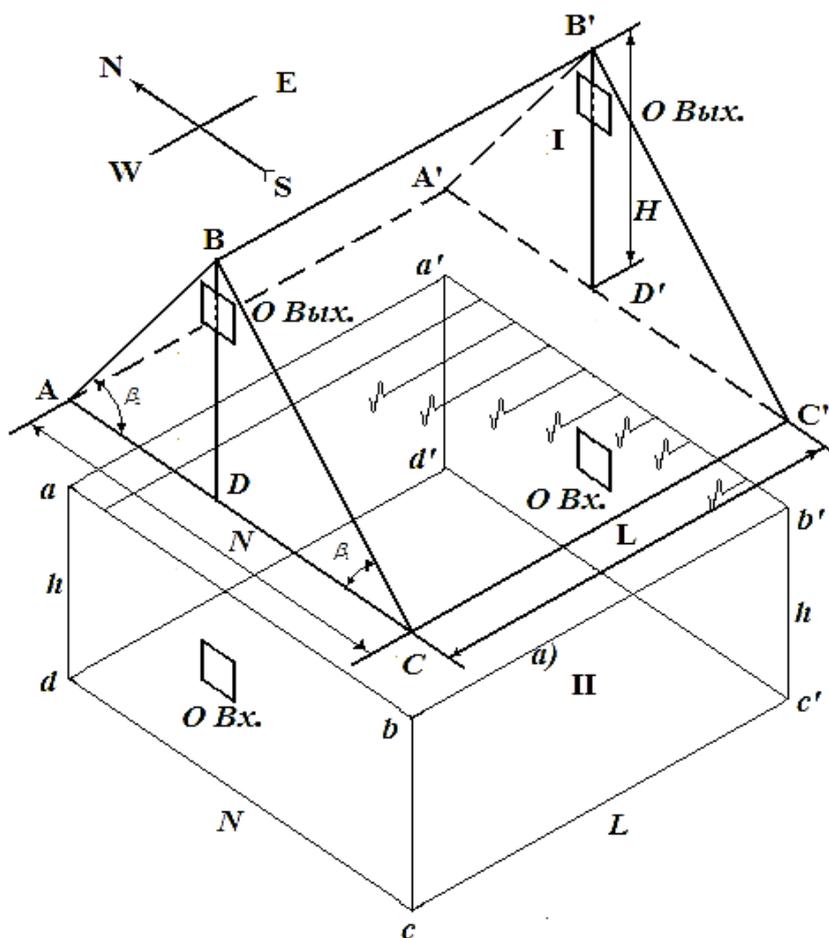


Рис.2.Схема солнечной сушильной установки прямого типа для расчета.
Fig. 2 Scheme of direct type solar drying plant for calculation.

Камера II выполнена в форме параллелепипеда четырехугольными основаниями: $\square abcd$; $\square a'b'c'd'$. Параллелепипед со всех сторон огражден прозрачным материалом (кроме стороны $\square aa'bb'$). Поверхность $\square dd'c'c'$ теплоизолирована от горизонтальной поверхности Земли. На каждой прозрачной поверхности четырехугольного основания параллелепипеда смонтированы две заслонки (О Вых.). Заслонки снабжены ситом.

Камера I и камера II со своими поверхностями $\square ACC'A'$ и $\square a'b'c'd'$ соединяются в одну единую солнечную сушилку прямого типа. Между двумя камерами установлены перегородки, в которых размещаются осушаемые материалы. Каркас обеих камер и перегородок выполняется из деревянных брусков.

4. Расчетно-вычислительный метод определения размеров элементов конструктивной модели солнечной сушилки прямого типа

Для определения геометрических размеров предложен расчетно-вычислительный метод, который основан на концепции установившегося теплового баланса [15] между площадью поверхности аккумулятора тепла и площадью ограждаемой прозрачной поверхности солнечной сушилки. Для расчета выби-

раем конструктивную модель солнечной сушильной установки прямого типа, которая состоит из соединенных между собой двух камер: солнечно-нагреваемая камера I; воздухоподаваемая камера II (Рис.2.).

5. Камера I – ой сушилки, нагреваемая солнцем

Камера I выбрана в форме параллелепипеда, с основаниями неравностороннего треугольника (Рис.2).

Каркас выполнен из деревянных брусков. Каркас камеры I покрывается (ограждается) прозрачным материалом. На дне камеры I размещаются осушаемые плоды. Выбираем $\beta_1 = 38^\circ$ и $\beta_2 = 90 - \varphi = 52^\circ$.

Допустим, что прямая солнечная радиация поступает по наклонной рабочей поверхности площадью $F_{BB'C'C}$ во внутреннюю часть камеры I. Рассеянная солнечная радиация поступает по наклонной поверхности площадью $F_{ABB'A'}$ и по боковым стенкам площадями F_{ABC} и $F_{A'B'C'}$. Дно камеры I площадью $F_{ACC'A'} = F_{дно}$ не доступно для солнечной радиации.

Используя выбранную концепцию, определим коэффициент полезного использования дна камеры I α :



$$\alpha = \frac{F_{\text{дно}}}{F_{\text{опр}}} \quad (1)$$

Коэффициент определяет эффективность выбранного соотношения поверхности осушаемых ма-

териалов $F_{\text{дно}}$ и ограждаемой прозрачной поверхности $F_{\text{дно}}$ камеры I.

Для вычисления площадь поверхности элементов солнечно нагреваемой камеры I сушилки (Рис.2) используем следующие закономерности:

$$F_{ACC'A'} = F_{\text{дно}} = HL \cdot \left(\frac{\text{tg} \beta_1 + \text{tg} \beta_2}{\text{tg} \beta_1 \cdot \text{tg} \beta_2} \right) - \text{площадь поверхности дна}; \quad (2)$$

$$F_{ABB'A'} = \frac{HL}{\sin \beta_2} - \text{площадь наклонной поверхности } ABB'A'; \quad (3)$$

$$F_{BB'C'C} = \frac{HL}{\sin \beta_1} - \text{площадь наклонной поверхности } BB'C'C; \quad (4)$$

$$F_{ABC} = F_{A'B'C'} = \frac{H^2}{2} \left(\frac{\text{tg} \beta_1 + \text{tg} \beta_2}{\text{tg} \beta_1 \cdot \text{tg} \beta_2} \right) - \text{площадь поверхности боковых стенок}; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} F_{\text{опр}} &= F_{\text{дно}} + F_{ABB'A'} + F_{BB'C'C} + 2F_{A'B'C'} = \\ &= HL \cdot \left(\frac{\text{tg} \beta_1 + \text{tg} \beta_2}{\text{tg} \beta_1 \cdot \text{tg} \beta_2} \right) + \frac{HL}{\sin \beta_2} + \frac{HL}{\sin \beta_1} + 2 \cdot \frac{H^2}{2} \left(\frac{\text{tg} \beta_1 + \text{tg} \beta_2}{\text{tg} \beta_1 \cdot \text{tg} \beta_2} \right) - \text{площадь ограждающей} \\ &\text{поверхности установки.} \end{aligned} \quad (6)$$

После подстановки параметров из выражения (2) - (6) в выражение (1) получаем формулу для опреде-

ления коэффициента полезного использования дна камеры I:

$$\alpha = \frac{F_{\text{дно}}}{F_{\text{опр}}} = \frac{HL \left(\frac{\text{tg} \beta_1 + \text{tg} \beta_2}{\text{tg} \beta_1 \cdot \text{tg} \beta_2} \right)}{HL \left(\frac{\text{tg} \beta_1 + \text{tg} \beta_2}{\text{tg} \beta_1 \cdot \text{tg} \beta_2} \right) + \frac{HL}{\sin \beta_2} + \frac{HL}{\sin \beta_1} + H^2 \left(\frac{\text{tg} \beta_1 + \text{tg} \beta_2}{\text{tg} \beta_1 \cdot \text{tg} \beta_2} \right)}; \quad (7)$$

где H – высота, L – длина камеры I солнечной сушильной.

Выбираем исходные данные углов $\beta_1 = 38^\circ$, $\beta_2 = 52^\circ$ и определяем зависимость коэффициента полезного использования дна камеры I α от H и L :

$$\alpha = \frac{F_{\text{дно}}}{F_{\text{опр}}} = \frac{2,06}{4,94 + 2,06 \frac{H}{L}} \quad (8)$$

По формуле (8) следует:

- при выборе условия: $H = 0$, камера I принимает форму параллелепипеда (с четырехугольными основаниями), т.е. вместо камеры I можно будет исполь-

зовать только камеру II, тогда устанавливается максимальное значение $\alpha_{\text{макс}} = 0,417$;

- при выборе условия: $\frac{H}{L} = 1$ или $H = L$ устанавливается минимальное значение коэффициента полезного использования дна $\alpha_{\text{мин.}} = 0,294$;

- при выборе условия: $\frac{H}{L} > 1$, или $H > L$, устанавливается $\alpha_{\text{мин.}} < 0,294$;

Таким образом, значение коэффициента полезного использования дна предлагаемой камеры I сушилки устанавливается в интервале $\alpha = 0,294 \div 0,417$.

Например, для солнечной сушилки прямого типа со средним коэффициентом использования $\alpha_{\text{ср.}} = 0,36$ и высотой $H = 0,75 \text{ м}$ по формуле (8) определим значения:



$$L = 2,10\text{м}; N = 1,55\text{м}; F_{\text{дно}} = 3,255\text{м}^2.$$

Если осушаемые материалы имеют собственные средние размеры $36\text{мм} \times 33\text{мм} \times 30\text{мм}$, тогда, например, один абрикос на дне камеры I занимает площадь $f = 1188\text{мм}^2 = 1188 \cdot 10^{-6}\text{м}^2$. Количество абрикосов (n) занимающие площадь поверхности дна камеры I $F_{\text{дно}} = 3,255\text{м}^2$ определяется так:

$$n = \frac{F_{\text{дно}}}{f} = \frac{3,255\text{м}^2}{1188 \cdot 10^{-6}\text{м}^2} \approx 0,003 \cdot 10^6 = 3000\text{шт}.$$

Если средний вес одного абрикоса $m_o = 23\text{г} \div 26\text{г}$, тогда вес осушаемого материала в количестве $n = 3000\text{шт}$ будет равен $m = n \cdot m_o = 3000 \cdot 25\text{г} = (75 - 80)\text{кг}$.

Таким образом, на площади поверхности $F_{\text{дно}} = 3,255\text{м}^2$ камеры I можно будет разместить $m = (75 - 80)\text{кг}$ осушаемых абрикосов.

6. Воздухоподаваемая камера II –ой сушилки.

Воздухоподаваемая камера II сушилки выбрана в форме параллелепипеда, с четырехугольными основаниями.

Размеры камеры II.

Ширина M и длина L равны ширине и длине камеры I, высота камеры II равна h .

Для установления размера высоты h камеры II условимся, что объем камеры I (V_I) равен объему камеры II (V_{II}), т.е.: $V_I = V_{II}$; (9)

Объем камеры I (V_I) (см. рис.2) и объем камеры определяем следующим образом:

$$V_I = L \cdot F_{ABC} \quad \text{и} \quad V_{II} = L \cdot M \cdot h. \quad (10)$$

Из условий (9) установим размер высоты h камеры II:

$$h = \frac{F_{ABC}}{M}. \quad (11)$$

7. Расчетно-вычислительный метод определения геометрических размеров заслонки солнечной сушилки.

Предложенная методика, основана на концепции установившегося баланса количества воздуха, входящего через площадь поверхности заслонки

(О Вх.) с количеством воздуха подающегося на внутреннюю площадь ограждающей прозрачной поверхности сушилки, в течение единицы времени.

Если течение воздуха через входящую заслонку внутрь солнечной сушилки считать стационарной, тогда уравнение неразрывности выражается следующим образом:

$$\rho_{\text{засл.}} \cdot v_{\text{засл.}} \cdot F_{\text{засл.}} = \rho_{\text{огр.}} \cdot v_{\text{огр.}} \cdot F_{\text{огр.}} \quad \text{или} \quad \frac{\rho_{\text{засл.}} \cdot v_{\text{засл.}}}{\rho_{\text{огр.}} \cdot v_{\text{огр.}}} = \frac{F_{\text{огр.}}}{F_{\text{засл.}}} \approx \frac{d_{\text{огр.}}^2}{d_{\text{засл.}}^2}; \quad (12)$$

где $\rho_{\text{засл.}}$, $\rho_{\text{огр.}}$ – плотность воздуха, поступающая через поверхность входящей заслонки, плотность воздуха, поступающая на внутреннюю ограждающую поверхность камеры; $v_{\text{засл.}}$, $v_{\text{огр.}}$ – скорость воздуха, поступающая через поверхность входящей заслонки, скорость воздуха, поступающая на внутреннюю ограждающую поверхность камеры;

На основе закономерности, предложенной Г. Кирхгофом «...площадь поверхности отверстия модели абсолютного черного тела $F_{\text{отв.}}$ ($F_{\text{засл.}}$) намного меньше (больше 100 раз меньше) площади внутренней поверхности полости $F_{\text{пол.}}$ ($F_{\text{огр.}}$) [16]:

$$100 \cdot F_{\text{засл.}} \leq F_{\text{огр.}} \quad \text{или} \quad 10 \cdot d_{\text{засл.}} \leq d_{\text{огр.}}. \quad (13)$$

Воспользуясь вышеизложенным методом, установим площадь ограждающей поверхности солнеч-

ной сушильной установки по формуле (6) и определим линейный размер заслонки:

$$d_{\text{засл.}} \leq \sqrt{\frac{F_{\text{огр.}}}{100}} = \frac{\sqrt{F_{\text{огр.}}}}{10}.$$

Рекомендуем установить две заслонки в боковые стенки камеры I солнечной сушилки прямого типа, одна ориентирована на запад, а другая на восток. Остальные две заслонки в боковые стенки камеры II данной сушилки, одна ориентирована на запад, а другая на восток. На каждую боковую стенку камеры размер заслонок принимаем $\frac{d_{\text{засл.}}}{2}$.

Таким образом, заслонки, установленные в боковые стенки камеры II, предназначены для входа воздуха из окружающей среды в камеру II. Заслонки, установленные в боковые стенки камеры I, предназначены для выхода в окружающую среду паровоздушной смеси из камеры I.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье предложен способ выбора формы солнечной сушилки, который рекомендован для конкретной географической широты региона.

Выбраны концепции, на основе которых разработан расчетный вычислительный метод определения геометрических размеров элементов солнечной сушилки. Установлены соотношения размеров высоты на длину и соответственно на ширину солнечной сушилки прямого типа, также разработан метод определения размеров заслонок, предназначенный для поступления воздуха из окружающей среды внутрь камеры и для выхода паровоздушной смеси изнутри камеры в окружающую среду.

Такой метод выбора размеров элементов солнечной сушилки создает оптимальный режим их работы и способствует естественной конвекционной циркуляции воздуха внутри камеры.

Список литературы

1. <https://solarsoul.net/orientaciya-i-ugol-naklona-solnechnyx-kollektorov>. Ориентация и угол наклона плоских солнечных коллекторов. Опубликовано 27 декабря 2016 г.
2. <https://core.ac.uk/download/pdf/39691439.pdf>. Курейчик Е.П. Закономерности распределения солнечной радиации по поверхности Земли. Белорусский национальный технический университет. Автор: ЕП Курейчик - 2013.
3. Абунде Неба Ф. Джиокап Ноно Й. Моделирование и имитация дизайна: новая модель и программное обеспечение гибридной сушилки солнечной биомассы. *Comput. Chem. Engl.*, Т. 104, с. 128-140, 2017.
4. Мадхлопа А. Нгвало Г. Солнечная сушилка с тепловым аккумулятором и резервным нагревателем биомассы. *Sol. Энергия*, т. 81, нет. 4. С. 449-462, 2007.
5. Ratti C. Mujumdar A.S. Солнечная сушка пищевых продуктов: моделирование и численное моделирование. *Sol. Энергия*, т. 60, нет. 3-4, pp. 151-157, 1997.
6. Яссен Т.А. Аль-Кайем Х.Х. Экспериментальное исследование и оценка гибридной солнечной тепловой сушилки в сочетании с дополнительной сушилкой для рекуперации. *Sol. Energy*, том 134, стр. 284-293, 2016.
7. Бахер Махмуд А. Амер. Хоссейн М.А. Готшалк К. Конструкция и оценка производительности новой гибридной солнечной сушилки для бананов. *Energy Convers. Manag.*, Том 51, № 4, стр. 813-820, 2010.
8. Акинола А.О. Фапету, О.П. (2006). Экзегетический анализ солнечной сушилки смешанного режима. *Журнал технических и прикладных наук*, 1, 205–210.
9. Шафик Х. Экван М.Р. Экспериментальное исследование прямого и косвенного солнечного осушителя биомассы. Департамент машиностроения, Национальный университет Тенага, Каджанг, Селангор, Малайзия. 2017 *IJSRSET | Volume 3 | Issue 5 |*

Print ISSN: 2395-1990 | Online ISSN: 2394-4099
Themed Section: Engineering and Technology.

10. Пранав К. Фадке. Валке П.В. Криплани В. М. Прямой тип природная конвекция солнечная сушилка: обзор. *International Journal Of Advance Research In Science And Engineering* <http://www.ijarse.com> IJARSE, Vol. No.4, Issue No.02, February 201. ISSN-2319-8354(E).

11. Атул Шарма. Чен С.Р. Нгуен Ву Лан. Системы осушения солнечной энергии: обзор. *Обзор возобновляемых и устойчивых источников энергии* 13 (2009) 1185–1210.

12. Огастес Леон М. Кумар С. Бхаттачарья С.С. Комплексная процедура оценки производительности солнечных сушилок для пищевых продуктов, *Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики* 6 (2002) 367.

13. Содха М.С. Данг А. Бансал П.К. Шарма С.Б. Аналитическое и экспериментальное исследование сушилки на открытом воздухе и сушилки шкафного типа. *Управление преобразованием энергии* 1985; 25 (3): 263–71.

14. Ezekwe C.I. Сушка урожая с помощью солнечных нагревателей в тропической Нигерии. *ISES, Форум «Солнечный мир», Брайтон, Великобритания. Оксфорд: Pergamon Press; 1981, стр. 997– 1005.*

15. Diemuodeke I. Проектирование и изготовление сушилки с прямой естественной конвекцией для тапиоки. *Электронный журнал практик и технологий Леонардо* ISSN1583-1078; Выпуск 18, январь-июнь 2011 г. с. 95-104.

16. Сингх С. Сингх П.П. Дхаливал С.С. Портативная солнечная сушилка с несколькими полками. *Возобновляемая энергия* 2004; 29: 753–65.

17. Шобхана Сингх. Субодха Кумара. Сравнительное исследование тепло-вых характеристик солнечных осушителей косвенного и смешанного режима. *Центр энергетических исследований, Индийский технологический институт, Дели, Индия. Международный журнал устойчивого развития энергетики (МЖУРЭ). Том 1. Выпуск 1. Июнь 2012.*

18. Гибин И.С. Котляр П.Е. Модели абсолютного черного тела. *Успехи прикладной физики*. 2019.Т.7. №2 с.188.

References

1. <https://solarsoul.net/orientaciya-i-ugol-naklona-solnechnyx-kollektorov>. Orientatsiya i ugol naklona ploskikh solnechnyx kollektorov. Opublikovan 27 dekabrya 2016 g.
2. <https://core.ac.uk/download/pdf/39691439.pdf>. Kureichik E.P. Zakonomernosti raspredeleniya solnechnoi radiatsii po poverkhnosti Zemli. Belorus-skii natsional'nyi tekhnicheskii universitet. Av-tor: EP Kureichik - 2013.
3. Abunde Neba F. Dzhiokap Nono I. Modelirovanie i imitatsiya dizaina: novaya model' i programmnoe obespechenie gibridnoi sushilki solnechnoi biomassy. *Comput. Chem. Engl.*, Т. 104, с. 128-140, 2017.



4. Madkhlopa A. Ngvalo G. Solnechnaya sushilka s teplovym akkumulyatorom i rezervnym nagrevatelem biomassy. Sol. Ehnergiya, t. 81, net. 4. S. 449-462, 2007.
5. Ratti C. Mujumdar A.S. Solnechnaya sushka pishche-vykh produktov: modelirovanie i chislennoe modeli-rovanie. Sol. Ehnergiya, t. 60, net. 3-4, pp. 151-157, 1997.
6. Yassen T.A. Al'-Kaiem KH.KH. Ehksperimental'noe issledovanie i otsenka gibridnoi solnechnoi teplovoi sushilki v sochetanii s dopolnitel'naya sushilka dlya rekuperatsii. Sol. Energy, tom 134, str. 284-293, 2016.
7. Bakher Makhmud A. Amer. Khossein M.A. Gottshalk K. Konstruktsiya i otsenka proizvoditel'nosti novoi gibridnoi solnechnoi sushilki dlya bananov. Energy Convers. Manag., Tom 51, № 4, str. 813-820, 2010.
8. Akinola A.O. Fapetu, O.P. (2006). Ehkzegeticheskie analiz solnechnoi sushilki smeshannogo rezhi-ma. Zhurnal tekhnicheskikh i prikladnykh nauk, 1, 205–210.
9. Shafik KH. Ehkvan M.R. Ehksperimental'noe issledovanie pryamogo i kosvennogo solnechnogo osushitelya biomassy. Departament mashinostroeniya, Natsional'nyi universitet Tenaga, Kadzhang, Selangor, Malaiziya. 2017 IJSRSET | Volume 3 | Issue 5 | Print ISSN: 2395-1990 | Online ISSN: 2394-4099 Themed Section: Engineering and Technology.
10. Pranav K. Fadke. Valke P.V. Kriplani V. M. Pryamoi tip prirodnaia konvektsiya solnechnaya sushilka: obzor. International Journal Of Advance Research In Science And Engineering <http://www.ijarse.com> IJARSE, Vol. No.4, Issue No.02, February 201.ISSN-2319-8354(E).
11. Atul Sharma. Chen S.R. Nguen Vu Lan. Sistemy osusheniya solnechnoi ehnergii: obzor. Obzor vozobnovlyaemykh i ustoichivykh istochnikov ehnergii 13 (2009) 1185–1210.
12. Ogastes Leon M. Kumar S. Bkhattachar'ya S.S. Kompleksnaya protsedura otsenki proizvoditel'nosti solnechnykh sushilok dlya pishchevykh produktov, Obzory vozobnovlyaemoi i ustoichivoi ehnergetiki 6 (2002) 367.
13. Sodkha M.S. Dang A. Bansal P.K. Sharma S.B. Analiticheskoe i ehksperimental'noe issledovanie sushilki na otkrytom vozdukhie i sushilki shkafnogo tipa. Upravlenie preobrazovaniem ehnergii 1985; 25 (3): 263–71.
14. Ezekwe C.I. Sushka urozhaya s pomoshch'yu solnechnykh nagrevatelei v tropicheskoi Nigerii. ISES, Forum «Solnechnyi miR», Braiton, Velikobritaniya. Oksford: Pergamon Press; 1981, str. 997– 1005.
15. Diemuodeke I. Proektirovanie i izgotovlenie sushilki s pryamoi estestvennoi konvektsiei dlya tapioki. Ehlektronnyi zhurnal praktik i tekhnologii Leonardo ISSN1583-1078; Vypusk 18, yanvar'-iyun' 2011 g. s. 95-104.
16. Singh S. Singh P.P. Dkhalival S.S. Portativnaya solnechnaya sushilka s neskol'kimi polkami. Vozobnovlyaemaya ehnergiya 2004; 29: 753–65.
17. Shobkhana Singh. Subodkha Kumara. Sravnitel'noe issledovanie teplo-vykh kharakteristik solnechnykh osushitelei kosvennogo i smeshannogo rezhi-ma. Tsentr ehnergeticheskikh issledovaniy, Indiiskii tekhnologicheskii institut, Deli, Indiya. Mezhdunarodnyi zhurnal ustoichivogo razvitiya ehnergetiki (MZHUREH). Tom 1. Vypusk 1. Iyun' 2012.
18. Gibin I.S. Kotlyar P.E. Modeli absolyutnogo chernogo tela. Uspekhi prikladnoi fiziki. 2019.T.7. №2 s.188.

Транслитерация по BSI

