

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
ТВОРЧЕСТВА УЧАЩИХСЯ

ПРОЕКТ

«Консервирование плодоовощного сырья солнечной энергией»

Автор: Абдуллаев Рамазан Абдулкамалович

**Руководитель: Дебиров Я.А. педагог дополни-
тельного образования РЦНТТУ г. Махачкала.**

Махачкала 2015г.

Описание проблемы. Основным показателем уровня развития любой страны в настоящее время является стабильное обеспечение населения продовольствием в круглый год экологически чистыми сельскохозяйственными продуктами, в том числе и из плодоовощного сырья. Эффективность работы агропромышленного комплекса, учитывая его сезонность, во многом определяется сроком переработки сырья и полуфабрикатов.

Одним из распространенных методов сохранения и переработки сельскохозяйственного сырья и лекарственных растений является сушка. В связи с этим появляется необходимость в разработке новых способов сушки, обеспечивающих высокое качество готового продукта с сохранением всех ценных биологически-активных веществ (разных витаминов и полезных микроэлементов), а также создание условий для более полной переработки собранного урожая [1].

Процесс сушки. Сушка сельхозпродукции и лекарственных растений на открытых площадках (или в тени под навесом с хорошей вентиляцией) для их дальнейшего использования в высушенном виде человечеством производится издавна. Известны также для каждого отдельного вида плодоовощного сырья и лекарственных растений свои различные оптимальные технологии их сушки.

Сушка влажных материалов – это сложный тепло- и массопереносный процесс, слагающийся в виде двух одновременно протекающих процессов: теплофизического и технологического [2].

При теплофизическом процессе сушки происходит «чистое» перемещение тепла и влаги сквозь толщу продукта, а при технологическом - совокупность процессов перемещения влаги и тепла, сопровождающихся химическими, биохимическими и структурными изменениями. Скорость и характер протекания этих процессов в конечном итоге и определяют качество конечного готового продукта.

Главным параметром плодоовощного сырья и лекарственных растений, подвергаемых сушке, является их влажность, которая по объему распределе-

на неравномерно. При сушке влага с внутренней поверхности растений и мякоти оболочки плодов и овощей должна перемещаться через макро- и микрокапилляры на наружную поверхность и затем удаляться конвекцией.

При сборе растения и его увядании жизненные процессы постепенно замедляются, но активность ферментов, под влиянием которых идут многочисленные биохимические процессы, продолжается и иногда даже усиливается. Чтобы предотвратить разрушающую деятельность ферментов или уменьшить ее до минимума следует их консервировать, в том числе и методом сушки [4].

Следовательно, основной задачей сушки является быстрее прекращение в растениях внутренних биохимических процессов, при которых под влиянием ферментов происходит разложение ценных биологически-активных веществ. При уменьшении влаги в растениях от начальной 60 ÷ 80% до конечной 15 ÷ 20% активность ферментов резко снижается. При достижении влажности 10 ÷ 14% деятельность ферментов практически полностью прекращается [4]. Кроме того, благодаря значительному уменьшению в растительной массе влаги, задерживается и прекращается развитие различных плесневых грибов и бактерий, вызывающих порчу сырья.

В настоящее время традиционную естественную (воздушно-солнечную) сушку все более вытесняют эффективные современные виды сушки, в числе которых главное место занимает сушка солнечными лучами (*гелиосушка*). Эффективность данного вида сушки объясняется в первую очередь тем, что для этого используется практически бесплатную (возобновляемую) и экологически чистую солнечную энергию, не требующую сжигания естественных природных топлив со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями. Немаловажным положительным фактором гелиосушки плодоовощного сырья и лекарственных растений является и то, что сезоны их созревания и сушки совпадают с периодом наибольшего поступления солнечной энергии. Кроме того, высушиваемое сырье не подвергается к нежелательному воздействию прямых солнечных лучей, вследствие чего обеспечивается хорошее сохранение цвета и формы плодов и овощей.

Продолжительность сушки исходного сырья в гелиосушилках сокращается в $3 \div 5$ раз по сравнению с воздушно-солнечной сушкой на открытых площадках. Высушиваемое в гелиосушилках сырье не портится ни влагой, ни росой, ни насекомыми, не загрязняется пылью [5]. Питательные вещества в готовом продукте сохраняются значительно лучше.

Технической задачей интенсификации процесса сушки в гелиосушилке является обеспечение постоянного поступления подогретого сухого воздуха на высушиваемое сырье и удаление воздуха, уже насыщенного влагой. Для решения этой задачи сегодня разными авторами предлагается множество вариантов различных гелиосушилок с разнообразными техническими характеристиками. Во всех гелиосушилках для преобразования лучистой энергии Солнца в тепловую энергию (для подогрева воздуха) предусматриваются различные конструкции гелиоприемника с разными формами тепловоспринимающих поверхностей (панелей), а вопрос конвекции решается естественной или принудительной циркуляцией воздуха через сушильную камеру.

Общим существенным *недостатком* предложенных гелиосушилок является полная или частичная приостановка процесса сушки в ночное время или в пасмурную погоду, если не предусмотреть дополнительный источник энергии (дублер), вследствие чего повышается себестоимость готового высушенного продукта. Обычно в качестве дополнительного источника энергии предлагают различные электронагреватели. Предлагаются также гелиосушилки с тепловыми аккумуляторами, установленными внутри камеры сушки, но и для их зарядки также необходим дополнительный источник энергии.

Цель проекта. Целью проекта являются конструирование гелиосушилки с применением фазопереходного теплового аккумулятора и расчет параметров ее основных узлов и параметров технологического цикла.

Суть решения. Гелиосушилка (рис. 1) состоит из хорошо теплоизолированной со всех сторон сушильной камеры и гелиоприемника с открытыми торцами для прохождения воздуха. Верхний торец гелиоприемника входит снизу прилегающей стенки в открытое пространство объема сушильной камеры. Контейнеры с теплоаккумулирующим составом теплового аккумулятора со-

ставляют одно целое с тепловоспринимающей поверхностью гелиоприемника (рис. 1, 2). Для достижения высоких температур поверхность пластины покрывают специальными спектрально-селективными слоями, активно поглощающими коротковолновое излучение солнца и снижающими ее собственное тепловое излучение в длинноволновой части спектра. А для уменьшения теплопотерь в ночное время через остекление гелиоприемника предусмотрена теплоизолированная крышка (условно не показана на рис. 1)

Тепловоспринимающая поверхность гелиоприемника (2, рис. 1) в светлое время суток нагревается солнечным излучением вместе с теплоаккумулирующим составом в контейнерах до необходимой температуры, как и в обычных плоских солнечных коллекторах. Температура плавления теплоаккумулирующего состава должна быть в диапазоне температур $50 \div 70$ °С, что позволит расплавить его только энергией излучения Солнца. Нагретый в зазорах по обе стороны тепловоспринимающей поверхности воздух (с остеклением (солнечная сторона) и с поверхностью теплоизоляции гелиоприемника (тыльная сторона)) естественной тягой попадает в более холодный внутренний объем сушильной камеры (6, рис. 1). Нагретый от гелиоприемника воздух является не только теплоносителем, но и сушильным агентом. Далее, со всей поверхности днища сушильной камеры равномерно по всему ее объему горячий воздух поднимается вверх, обволакивая и высушивая влажное сырье, разложенное на всех лотках в несколько ярусов по высоте (5, рис. 1). Уже насыщенный влагой горячий воздух по вытяжной трубе (9, рис. 1) удаляется в окружающую среду. В темное время суток для непрерывного продолжения процесса сушки необходимый термический режим в сушильной камере поддерживается за счет тепла, выделяемого при остывании расплавленного теплоаккумулирующего состава в контейнерах теплового аккумулятора.

Для равномерного поступления нагретого воздуха на лотки со всей поверхности днища сушильной камеры в данной гелиосушилке предусмотрен наклонный (с углом наклона примерно 20° к горизонту) металлический лист (4, рис. 1), закрывающий по всей ширине наклонное днище сушильной камеры (с таким же углом наклона к горизонту), и, являющийся продолжением ме-

таллического листа тепловоспринимающей поверхности гелиоприемника (4, рис. 1 и 3, рис. 2). Специально между наклонным металлическим листом днища и противоположной к южной стороне стенки сушильной камеры предусмотрена щель (шириной 5 см) для поступления нагретого воздуха в объем сушильной камеры (рис. 1). Такая конструкция позволяет получать равномерное поступление горячего воздуха со всей поверхности днища в объем сушильной камеры (воздух в объем камеры поступает по всей длине с двух щелей, расположенных понизу противоположных стенок сушильной камеры).

Влажное исходное сырье раскладывается на решетчатые металлические лотки, установленных в несколько ярусов в сушильной камере. Для снятия и размещения этих лотков с тыльной стороны сушильной камеры предусмотрено теплоизолированное дверце (7, рис. 1).

Кроме оптимального теплового режима в гелиосушилках должен обеспечиваться и нормальный режим конвекции. В предлагаемой гелиосушилке это достигается тем, что воздух с открытого пространства естественной тягой свободно проходит через открытый нижний торец по верхнему и нижнему поверхностям тепловоспринимающей поверхности в сушильную камеру и далее через вытяжную трубу сушильной камеры удаляется в наружу. В случае необходимости закрытия открытой щели нижнего торца гелиоприемника предусмотрена заслонка (12, рис. 1).

Тепловые аккумуляторы для гелиосушилок. Для оптимальной сушки каждого из видов плодовоовощного сырья и лекарственных растений в настоящее время разработана своя технология. Температурный режим в диапазоне температур $50 \div 80$ °С для высушиваемого сырья подходит почти всем видам плодовоовощного сырья и лекарственных растений. Отсюда следует, что и температура кристаллизации выбранного теплоаккумулирующего состава тоже должна иметь значение в том же температурном диапазоне. Помимо температуры кристаллизации основным параметром любого фазопереходного теплоаккумулирующего состава является и теплота плавления данного состава.

В настоящее время поиск теплоаккумулирующих материалов, работающих в диапазоне температур до 100 °С, сосредоточен на изучение смесей различных кристаллогидратов и добавок к ним, уменьшающих или устраняющих ряд недостатков чистых кристаллогидратов при использовании их как теплоаккумулирующих материалов: склонность к переохлаждению, быстрый выброс теплоты за счет взрывной кристаллизации, эффект испарения кристаллизационной воды, влияющий на длительность многократного термоциклирования, расслоение и др.

Теплофизические свойства ряда кристаллогидратов, перспективных для применения как теплоаккумулирующие составы тепловых аккумуляторов в гелиосушилках приведены в табл. 1 [6].

Как видно из табл. 1, достаточно высокую теплоту плавления имеет тригидрат ацетата натрия ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Поэтому в настоящее время разработка теплоаккумулирующих составов до 100 °С в основном сосредоточена на подбор смесей кристаллогидратов, одним из компонентов которых является именно $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Для предлагаемой гелиосушилки в качестве теплоаккумулирующего состава выбрана смесь кристаллогидратов тригидрата ацетата натрия и пентагидрата тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) в определенных концентрациях, полученных физико-химическими исследованиями данной двойной системы, с температурой плавления 55 °С, теплотой плавления ($\Delta H_{\text{фп}}$) 208 кДж/кг и плотностью жидкой фазы 1450 кг/м³.

Предложенные методы и инструменты реализации. Для реализации предлагаемой установки в проекте проведены *материальные и тепловые расчеты параметров гелиосушилки*. Техническим заданием расчетной части данного проекта являлось *определение размеров сушильной камеры, выхода высушенной продукции и необходимого количества теплоаккумулирующего материала*.

Для этих расчетов вначале необходимо иметь значения среднесуточной суммарной солнечной радиации ($I_{\text{одн}}$) в летние месяцы, т. к. сезон созревания плодов, овощей и лекарственных растений в основном приходится именно на эти месяцы. Значения среднесуточной суммарной солнечной радиации на не-

подвижную наклонную поверхность с оптимальным углом наклона к горизонту в Махачкале, полученные по данным Гидрометцентра Республики Дагестан [7], приведены в табл. 2. Для проведения конкретных расчетов за расчетное значение средневзвешенной суммарной солнечной радиации возьмем ее среднее арифметическое значение за четыре месяца: с июня по сентябрь. Это значение составило $17,86 \text{ МДж/м}^2$. С учетом КПД гелиоприемника ($\eta_{\text{гп}}$), равного для таких типов гелиоприемников примерно 80%, фактическое значение средневзвешенной суммарной солнечной радиации ($Q_{\text{одн.}}$) составит:

$$Q_{\text{одн.}} = I_{\text{одн.}} \cdot \eta_{\text{гп}} = 17,86 \cdot 0,8 = 14,3 \text{ МДж/м}^2.$$

Определение выхода высушенной продукции и размеров сушильной камеры. Для этих расчетов вначале необходимо задаться некоторыми исходными данными, а именно: подобрать конкретный вид высушиваемого сырья, т.к. для каждого вида сырья разработаны свои оптимальные параметры сушки (температура и влажность высушенной продукции), принятые конструктивные решения теплоизоляции и геометрии основных узлов гелиосушилки. Кроме того, каждый вид исходного сырья содержит и свою вполне определенную естественную влагу. Характеристики сушки некоторых видов исходного сырья, подвергаемых сушке, приведены в табл. 3.

В качестве исходного сырья возьмем абрикос с влажностью до сушки 86% и после сушки 20%, а также с температурой процесса сушки $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Для удобства расчетов примем, что среднее время однодневного солнечного сияния за четыре месяца (июнь - сентябрь) равно 12 часам.

Тогда половина фактического значения тепловой энергии средневзвешенной суммарной солнечной радиации ($0,5Q_{\text{одн.}}$) израсходуется на высушивание абрикоса в светлое время суток, а саккумулированная днем тепловым аккумулятором вторая половина ($0,5Q_{\text{одн.}}$) - на высушивание абрикоса в ночное время суток. Значение суточной саккумулированной тепловым аккумулятором тепловой энергии должно равняться значению энергии, которая необходима для нагрева всей массы теплоаккумулирующего состава во всех контейнерах (на полную разовую зарядку теплового аккумулятора) от 20°C (расчетная ночная температура воздуха) до температуры его плавления ($55 \text{ }^\circ\text{C}$).

Теперь определим массу свежего абрикоса ($m_{\text{дн}}$), которую можно высушить в сушильной камере за один день. Сущность процесса сушки любого исходного сырья состоит в том, что уменьшается его первоначальная влажность, т. е. уменьшается его масса за счет испарения содержащегося в его структуре воды. Масса воды, испаряемой в процессе сушки одного килограмма свежего абрикоса, определяется просто. Если его первоначальная влажность (W_1) равна 86% (масса воды $1000 \cdot 0,86 = 860$ г), то это значит, что масса сухого вещества равна

$$1000 - 860 = 140 \text{ г.}$$

И при влажности высушенном виде (W_2) 20% оставшаяся в абрикосе масса воды будет

$$20 \cdot 140 : 80 = 35 \text{ г.}$$

Значит, в процессе сушки 1 кг абрикоса испарились

$$860 - 35 = 825 \text{ г (0,825 кг) воды.}$$

Обычно все выпускаемые сегодня солнечные коллекторы имеют стандартные размеры тепловоспринимающей поверхности 1x2 м. И для предлагаемой гелиосушилки примем гелиоприемник этих же размеров с площадью тепловоспринимающей поверхности, равной 2 м².

Далее, необходимо рассчитать тепловые потери гелиосушилки в дневное время через корпус сушильной камеры гелиоприемника. Тепловые потери гелиосушилки рассчитывали по формуле [9]:

$$Q_{\text{пот}} = S_{\text{гс}} \cdot \lambda \cdot \Delta T / \delta,$$

где $Q_{\text{пот}}$ – тепловые потери, Вт, $S_{\text{гс}}$ – площадь поверхности теплопотерь гелиосушилки, м², λ – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, Вт/(м·К), ΔT – разность температур внутри и снаружи корпуса сушильной камеры, К, δ – толщина теплоизоляционного материала, м.

В качестве теплоизолирующего материала для корпуса сушильной камеры и крышки на остекление (в ночное время) принят инновационный жидкий теплоизоляционный материал - *Re-therm* толщиной $\delta = 5$ мм (0,005 м) с коэффициентом теплопроводности 0,0011 Вт/(м·К)[11].

Примем число ярусов лотков с высушиваемым материалом равным четырем. Загрузка свежего сырья на лотки составляет примерно $6 \div 8 \text{ кг/м}^2$. Площадь днища одного лотка составляет $0,35 \text{ м}^2$ ($1 \times 0,35 \text{ м}$). Приняты ширина сушильной камеры равной 50 см и расстояние между лотками по высоте – 25 см. Тогда площадь поверхности сушильной камеры будет равной $5,73 \text{ м}^2$, а общая площадь поверхности теплопотерь гелиосушилки – $7,73 \text{ м}^2$.

Тепловые потери гелиосушилки в дневное время ($S_{гс} = 5,73 \text{ м}^2$; $\Delta T = 55-30 = 25 \text{ К}$) за 12 ч составляют

$$Q_{\text{пот}}^{\text{дн}} = 5,73 \cdot 0,0011 \cdot 25 \cdot 12 \cdot 3600 / 0,005 = 1361448 \text{ Дж (1,36 МДж)}.$$

Зная теплоту испарения воды при $55 \text{ }^\circ\text{C}$, равную 2370 кДж/кг (при давлении насыщенного пара $0,1644 \text{ атм}$) [8], количество тепловой энергии ($q_{\text{уд}}$), необходимой для высушивания 1 кг абрикоса составит

$$q_{\text{уд}} = 2370 \cdot 0,825 = 1955 \text{ кДж/кг (1,95 МДж/кг)}.$$

Отсюда следует, что

$$m_{\text{дн}} = (S_{\text{гп}} \cdot 0,5 Q_{\text{одн}} - Q_{\text{пот}}^{\text{дн}}) / q_{\text{уд}} = (2 \cdot 0,5 \cdot 14,3 - 1,36) / 1,95 = 6,64 \text{ кг},$$

где $S_{\text{гп}}$ – площадь тепловоспринимающей поверхности гелиоприемника, м^2 .

Для расчета массы свежего абрикоса ($m_{\text{ноч}}$), высушиваемого в ночное время, определим тепловые потери гелиосушилки через корпус сушильной камеры и остекление гелиоприемника ночью ($S_{гс} = 7,73 \text{ м}^2$; $\Delta T = 55-20 = 35 \text{ К}$) за 12 ч, которые составляют

$$Q_{\text{пот}}^{\text{ноч}} = 7,73 \cdot 0,0011 \cdot 35 \cdot 12 \cdot 3600 / 0,005 = 2571307 \text{ Дж (2,57 МДж)}.$$

Масса свежего абрикоса ($m_{\text{ноч}}$), которую можно высушить в данной сушильной камере за одну ночь тепловой энергией, запасенной тепловыми аккумуляторами, будет равна

$$m_{\text{ноч}} = (S_{\text{гп}} \cdot 0,5 Q_{\text{одн}} - Q_{\text{пот}}^{\text{ноч}}) / q_{\text{уд}} = (2 \cdot 0,5 \cdot 14,3 - 2,57) / 1,95 = 6,01 \text{ кг}.$$

Суточная масса высушиваемого гелиосушилкой абрикоса ($m_{\text{сут}}$):

$$m_{\text{сут}} = m_{\text{дн}} + m_{\text{ноч}} = 6,64 + 6,01 = 12,65 \text{ кг}.$$

Определение необходимого количества теплоаккумулирующего материала.

Для определения количества фазопереходного теплоаккумулирующего материала вначале рассчитаем изменение удельной энтальпии при переходе этого материала от 20°C до температуры его плавления ($55 \text{ }^\circ\text{C}$). Удельная теплота,

запасаемая фазопереходно-теплоемкостным аккумулятором ($\Delta H_{уд}$) в диапазоне температур $T_1 \div T_{ф.п.}$, можно определить по формуле [10]:

$$\Delta H_{уд} = C_p \cdot \Delta T + \Delta H_{фп} = 1,48 \cdot (55 - 20) + 208 = 259,8 \text{ кДж/кг (0,26 МДж/кг)},$$

где C_p – удельная теплоемкость твердой фазы материала, равная 1,48 кДж/(кг·К). Первое слагаемое в этой формуле учитывает изменение энтальпии твердой фазы, второе – изотермического фазового перехода. Необходимое количество теплоаккумулирующего материала ($m_{ТАМ}$) должно быть не менее

$$m_{ТАМ} = 0,5 Q_{одн} / \Delta H_{уд} = 0,5 \cdot 14,3 / 0,26 = 27,5 \text{ кг.}$$

Общий объем, занимаемый всей массой жидкой фазы теплоаккумулирующего материала, равен

$$V_{ТАМ} = m_{ТАМ} : \rho_{ТАМ} = 27,5 : 1,45 = 18,97 \text{ л.}$$

Расплавленный теплоаккумулирующий состав заливают в семь контейнеров в виде труб овального сечения из нержавеющей стали с объемом каждой по 2,71 л.

И в конце хотелось бы отметить, что предлагаемая конструкция гелиосушилки с тепловым аккумулятором позволяет наиболее равномерно в течение суток использовать энергию солнечного излучения для процесса сушки, устраняя тем самым главный недостаток солнечной энергии – неравномерность ее поступления во времени. Кроме того, длительность полной сушки разных видов исходного сырья составляет примерно 6 ÷ 10 часов в зависимости от выбранного температурного режима, что практически никогда не совпадает с длительностью однодневного солнечного сияния. Следовательно, при отсутствии тепловых аккумуляторов в гелиосушилках практически никогда невозможно и полностью воспользоваться фактической тепловой энергией однодневной суммарной солнечной радиации, вследствие чего значительно снижается вполне возможный выход готовой высушенной продукции.

Ориентировочный расчет экономической эффективности внедрения гелиосушилки

1. Капитальные затраты на изготовление гелиосушилки $K_{изз} = 38 \text{ т. руб.};$
 2. Стоимость монтажных работ $M = 0,2 \cdot K = 0,2 \cdot 38 = 7,6 \text{ т. руб.};$
 3. Общая потребная масса абрикоса в сезон $1520 \text{ кг};$
 4. Стоимость тонны свежего абрикоса $20 \text{ т. р};$
 5. Расходы на приобретение абрикоса $1,52 \cdot 20 = 30,4 \text{ тыс. р.};$
 6. Расходы на содержание гелиосушилки в год $10 \text{ тыс. р.};$
- ИТОГО расходов в первый год** $K = 38 + 7,6 + 30,4 + 10 = \underline{86 \text{ тыс. р.};}$
7. Издержки эксплуатации $I_{экс} = 0,02 \cdot K = 0,02 \cdot 86 = \underline{1,72 \text{ тыс. р.};}$
 8. Выход высушенного абрикоса с 1 кг свежего абрикоса $0,175 \text{ кг};$
 9. Общая масса высушенного абрикоса за сезон $1520 \cdot 0,175 = 266 \text{ кг};$
 10. Стоимость тонны высушенного абрикоса $300 \text{ р.};$
- Общий доход в денежном выражении в первый год:** $3 = 0,266 \cdot 300 = \underline{79,8 \text{ тыс. р.};}$
- Прибыль за счет применения гелиосушилки:** $\Pi = 3 - I_{экс} = 79,8 - 1,72 = \underline{78,08 \text{ т. руб.};}$
- Срок окупаемости гелиосушилки:** $T_{ок.} = 86 : (79,8 : 4) = 4,3 \text{ месяца};$
- Рентабельность капитальных вложений:** $R = 100 \cdot \Pi / K = 100 \cdot 78,08 / 86 = 90,8\%.$

Проведенный расчет экономического эффекта показывает, что применение гелиосушилки целесообразно, экономически и экологически эффективно.

Планы и сроки реализации проекта. Планируются создание и испытание в реальном режиме времени опытного образца предлагаемой гелиосушилки с фазопереходным тепловым аккумулятором на базе полигона «Солнце» филиала Объединенного института высоких температур РАН в Махачкале, который более 30 лет занимается проблемами освоения и внедрения возобновляемых источников энергии. Натурными испытаниями на создаваемой гелиосушилке будут получены фактические данные ее технологического цикла за четыре месяца и определен реальный экономический эффект от ее внедрения. Срок реализации проекта, в который входят составление проекта и конструи-

рование опытного образца гелиосушилки, а также его испытание, составляет 9 месяцев.

Выводы. Впервые предложена гелиосушилка с фазопереходным тепловым аккумулятором, контейнеры с теплоаккумулирующим составом которого составляют одно целое с тепловоспринимающей поверхностью гелиоприемника. Конструктивным новшеством является и то, что для равномерного поступления нагретого воздуха с двух сторон поверхности гелиоприемника в сушильную камеру предусмотрен наклонный металлический лист, закрывающий по всей ширине наклонное днище сушильной камеры.

Физико-химическими исследованиями кристаллогидратных солевых систем получен теплоаккумулирующий состав для теплового аккумулятора гелиосушилки с оптимальной температурой плавления ($55\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высокой теплотой плавления (208 кДж/кг).

Определены размеры сушильной камеры, а также количество и размеры лотков для размещения влажного исходного сырья. На конкретном примере исходного сырья (абрикоса) рассчитана его масса, высушиваемая в предлагаемой гелиосушилке в течение одних суток.

Рассчитано количество теплоаккумулирующего материала, достаточное для непрерывного продолжения процесса сушки высушиваемого материала в течение 12 ч ночного времени с сохранением оптимального температурного режима в сушильной камере.

Сезонная производительность предлагаемой гелиосушилки с площадью гелиоприемника 2 м^2 составляет более 1500 кг исходного плодовоовощного сырья.

По сравнению с гелиосушилкой с такими же размерами без теплового аккумулятора предлагаемая гелиосушилка позволяет при прочих равных условиях высушивать, исключая любые приостановки процесса сушки и дополнительных энергозатрат, примерно на 90% больше массы исходного сырья в ночное время.

Предлагаемая гелиосушилка найдет широкое применение для производителей, занимающихся хранением и переработкой различного плодовоовощного сырья или заготовкой лекарственных растений.

Список использованной литературы

1. А.О. Воронова. Сушка плодов и овощей. - М.: Пищевая промышленность, 1978. – 204 с.
2. А.С. Гинзбург. Технология сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 248 с.
3. А.В. Лыков. Теория сушки. – М.: Энергия, - 1968. – 470 с.
4. В.Л. Кретович. Биохимия растений. – М.: Высшая школа, 1986. – 503 с.
5. Качественные характеристики некоторых овощей, высушенных прямыми и непрямыми солнечными лучами (пер. с англ.) / *IndianFoodPaker*. – 1991. 45. - №1. – С. 16 - 22.
6. А.Г. Мозговой, Э.Э. Шпильрайн, М.А. Дибиров, М.М. Бочков, Л.Н. Левина, М.М. Кенисарин. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ / ТФЦ. – М.: ИВТАН, 1990, №2 (82). – С. 3 – 105.
7. <http://www.dagestan-meteo.ru> Среднемесячная инсоляция на наклонной поверхности для Дагестана.
8. А.С. Енохович. Справочник по физике. – М.: Просвещение, 1990. – 384 с.
9. Х. Уонг. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: пер. с англ./ Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.
10. Я.И. Герасимов, В.П. Древинг, Е.Н. Еремин и др. Курс физической химии. Т. 1. Изд. 2-е, исправленное. – М.: Химия, 1969. – 592 с.
11. <http://ecosferakazan.ru/zhidkaya-teploizolyatsiya-re-therm/printsip-deystviya.html> Принцип действия RE-THERM.

Таблица 1

Теплофизические свойства некоторых кристаллогидратов солей

№, п/п	Химическая формула	Температура плавления, °С	$\Delta H_{пл.}$, кДж/кг	$\rho_{ТВ}$, кг/м ³
1.	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	60	159	1705
2.	$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$	51	210	1428
3.	$NaNO_3 \cdot 6H_2O$	53	158	1431
4.	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	78	191	1620
5.	$NaOH \cdot H_2O$	64	272	1705
6.	$NaHSO_4 \cdot H_2O$	60	129	2103
7.	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	49	209	1660
8.	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	52	201	1680
9.	$Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	78	301	2182
10.	$Al(NO)_3 \cdot 9H_2O$	74	155	1552
11.	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	58	153	2014
12.	$Fe(NO)_3 \cdot 9H_2O$	49	191	1710
13.	$FeSO_4 \cdot 5H_2O$	64	200	1890
14.	$NiNO_3 \cdot 6H_2O$	53	152	2050
15.	$CH_3COONa \cdot 3H_2O$	59	272	1453
16.	$KNaC_4H_4O_6 \cdot 6H_2O$	74	181	1750

Таблица 2

Значения среднедневной суммарной солнечной радиации (МДж/м²) на площадку с оптимальным углом наклона в Махачкале

январь	февр.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сентяб.	окт.	нояб.	декаб.	год.
6,37	9,0	12,13	15,48	18,32	20,02	19,62	17,28	14,51	10,69	6,95	5,33	13,0

Таблица 3

Характеристики сушки некоторых видов исходного сырья, подвергаемых сушке.

№ п/п	Высушиваемый продукт	Влажность, %		Температура сушки, °С
		до сушки	после сушки	
1.	Лук репчатый	85	12	70 ÷ 80
2.	Морковь	88	12	70 ÷ 80
3.	Свекла столовая	86	12	70 ÷ 80
4.	Яблоки	87	20	70 ÷ 75
5.	Груши	86	20	80 ÷ 85
6.	Сливы	84	20	40 ÷ 45
7.	Вишни	84	20	60 ÷ 65
8.	Абрикосы	86	20	55 ÷ 60
9.	Виноград	86	20	60 ÷ 65
10.	Лекарственные растения	70 ÷ 90	10 ÷ 15	50 ÷ 60

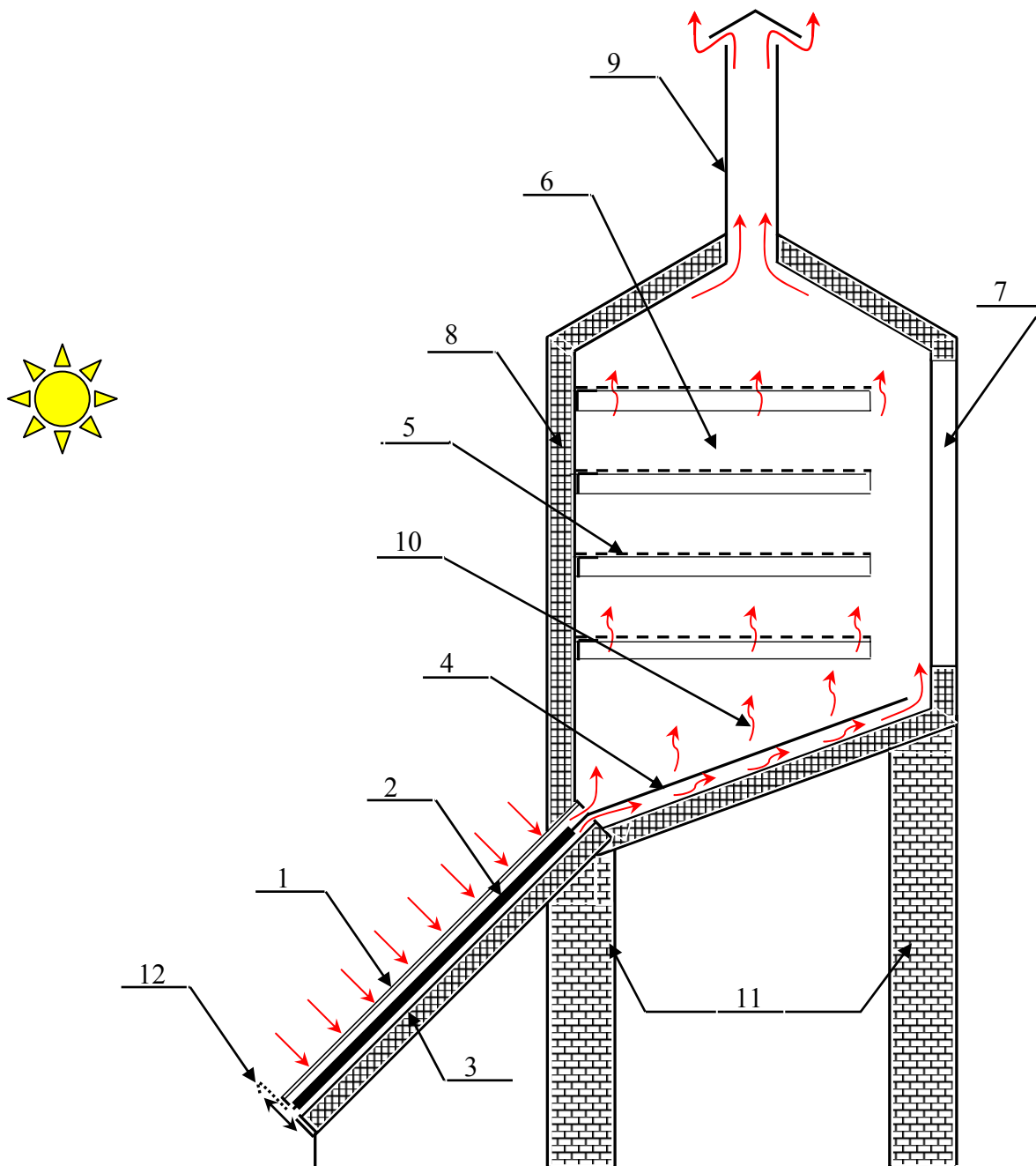


Рис. 1. Гелиосушилка в разрезе

1 – остекление гелиоприемника; 2 – тепловоспринимающая поверхность с контейнерами с теплоаккумулирующим составом; 3 – теплоизоляция гелиоприемника; 4 – наклонный металлический лист на днище сушильной камеры; 5 – решетчатые лотки; 6 – сушильная камера; 7 – дверце; 8 – теплоизоляция сушильной камеры; 9 – вытяжная труба для отвода увлажненного воздуха; 10 – нагретый воздух; 11 – опоры сушильной камеры; 12 – заслонка.

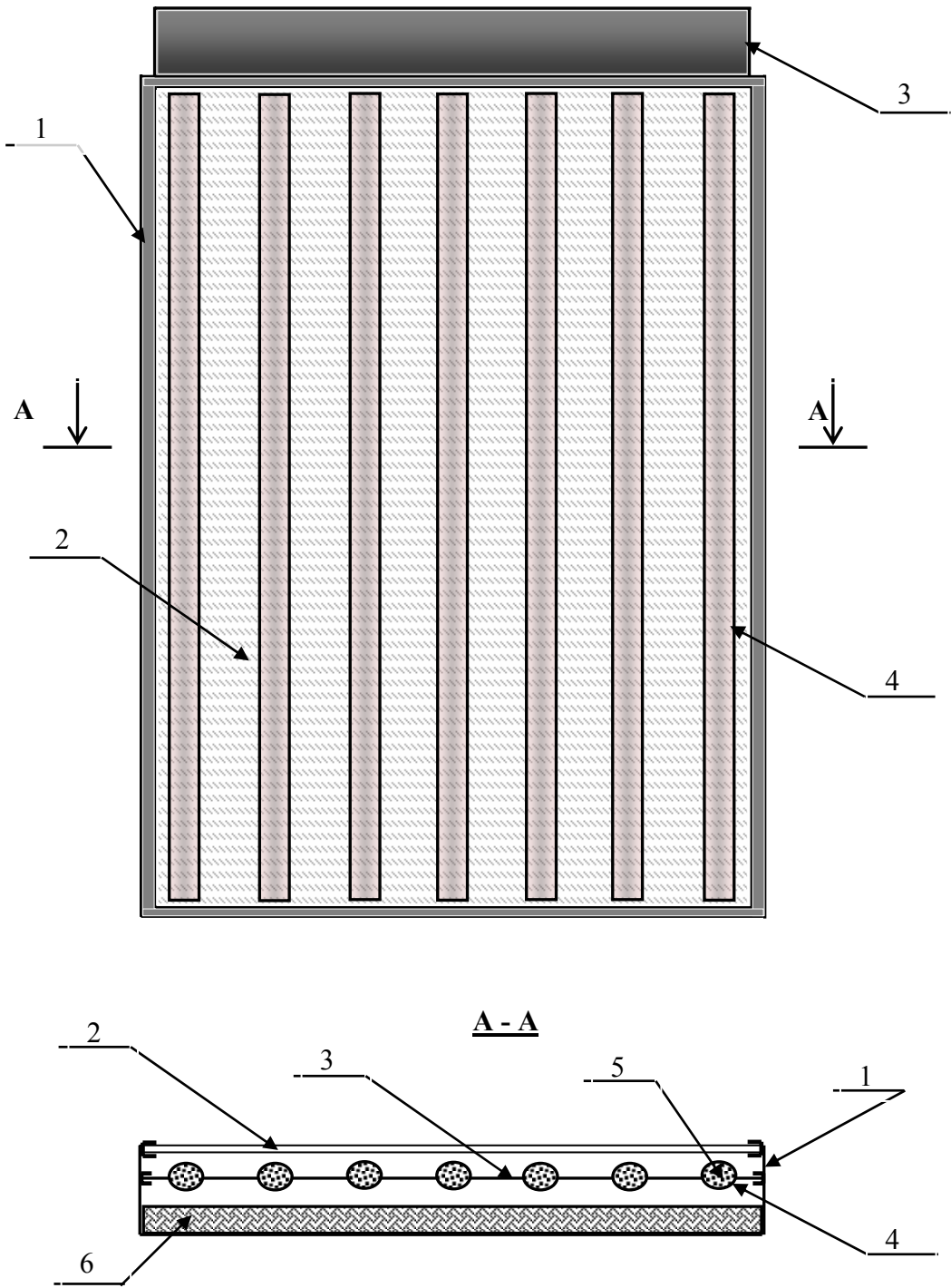


Рис. 2. Общий вид и поперечное сечение гелиоприемника

1 – корпус; 2 – остекление; 3 – металлический лист; 4 – контейнер с теплоаккумулирующим составом; 5 – теплоаккумулирующий состав; 6 – теплоизоляция.



МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ
ДАГЕСТАН

ДИПЛОМ

3 СТЕПЕНИ

награждается

Дибиров, Я. А., педагог
дополнительного образования
РЦНТТУ г. Махакаля,

занявший (ая) 3 место
в республиканском этапе
Всероссийского конкурса авторских
образовательных программ
дополнительного образования детей
в номинации «Научно-техническая».



Министр Ш. Шахов

