

Кенжаев И.Г. – д.т.н., профессор,
Ошский государственный университет
Абдырахман уулу К. – к.т.н., доцент ЮО НАН КР ИПР, лаб. НИЭ,
Абулова Н.Л. – инженер ЮО НАН КР ИПР, лаб. НИЭ

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПОДВОДА ТЕПЛА В ПРОЦЕСС СУШКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

АЙЫЛ ЧАРБА ПРОДУКТЫЛАРЫН КҮН ЭНЕРГИЯСЫН ПАЙДАЛАНУУ МЕНЕН КУРГАТУУ ПРОЦЕССИНЕ ЖЫЛУУЛУКТУ КЕЛТИРҮҮНҮН НАТЫЙЖАЛУУ ЖОЛУН ИШТЕП ЧЫГУУ МАСЕЛЕСИНЕ КАРАТА

ON THE ISSUE OF DEVELOPING AN EFFECTIVE METHOD FOR SUPPLYING HEAT TO THE PROCESS OF DRYING AGRICULTURAL PRODUCTS USING SOLAR ENERGY

Аннотация: На основе проведенного анализа существующих способов подвода тепла к процессу сушки сельхозпродуктов, показаны их теплотехнические характеристики, и на их основе предложен комбинированный способ подвода тепла, позволяющий ускорить процесс сушки и приведена описания оригинальной конструкции солнечной сушильной установки для реализации разработанного способа подвода тепла. Приведены результаты испытаний на промышленном образце разработанной солнечной сушильной установки.

Аннотация: Айыл чарба продукталарын кургатуу процессине жылуулукту келтирүүнүн иштеп жаткан жолдоруна жүргүзүлгөн анализдин негизинде алардын жылуулук техникалык мүнөздөмөлөрү көрсөтүлүп, мунун негизинде жылуулукту келтирүүнүн кургатууну тездетүүгө мүмкүндүк берүүчү комбинацияланган жолу сунушталган. Ошондой эле жылуулукту иштелип чыккан жолун ишке ашыруу үчүн күн нуру менен кургатуучу орнотмонун оригиналдуу конструкциясынын сүрөттөмөсү, бул орнотмонун өндүрүштүк үлгүсүн сыноонун натыйжалары

Abstract: In this article, based on the analysis of existing methods for supplying heat to dried agricultural products, their thermal performance characteristics are shown, and a combined method of heat supply, as well as a new design of a solar drying unit for the implementation of the developed method of heat supply, is developed. The results of tests developed solar drying installation.

Ключевые слова: сушка, радиационно-конвективный способ, установка, продукция, теплоноситель, излучение.

Түйүндүү сөздөр: кургатуу, радиациялык-конвективдик ыкма, продукция, жылуулук алып жүргүч, нурлануу.

Key words: drying, convection, radiation, installation, products, coolant, radiation.

Известно, что сушка сельхозпродуктов является наиболее эффективным способом уменьшения потерь урожая, их длительного хранения и транспортировки. При этом фактором, определяющим рентабельность готовой высушенной продукции, являются затраты на энергоснабжение полного процесса сушки. Обычно на практике в качестве источника энергии используются органические топлива, как уголь, древесина, нефтепродукты и электрическая энергия.

Особое место среди всевозможных энергоресурсов занимает солнечная энергия. Сушка фруктов (яблоко, виноград, слива, абрикос, и т.д.) с использованием солнечной энергии на открытом пространстве является наиболее распространенным и широко применяемым способом. Однако открытая воздушно-солнечная сушка имеет такие недостатки, как запыленность продукции, длительность процесса сушки, неравномерный охват всего периметра продукта солнечными лучами и т.д. Открытая воздушно-солнечная сушка плодоовощной продукции практически не применяется. Поэтому внедрение современных технологий сушки с использованием солнечных сушильных установок(ССУ)

для получения высококачественной сушеной сельхозпродукции является актуальной задачей. В данной работе проведен анализ существующих способов сушки сельхозпродуктов с использованием солнечной энергии, показаны их теплотехнические характеристики. В работе также предложен комбинированный способ подвода тепла к процессу сушки и приведено описание новой конструкции солнечной сушильной установки.

На современных видах ССУ подвод тепла к высушиваемому продукту осуществляется конвективным, радиационным и комбинированным способами. Естественно, одновременное использование перечисленных выше способов сушки существенно повышает скорость сушки продуктов. На практике разработан ряд технических решений по эффективному использованию энергии солнца в процессе сушки. В конвективных ССУ, как правило, главным генератором тепла являются солнечные воздухонагревательные коллекторы, откуда в камеру сушки поступает нагретый воздух. Преимуществом данного способа является то, что продукты высушиваются путем омывания их горячим воздухом, с заданными теплотехническими характеристиками. Так как процесс происходит в специальном объеме, продукты не подвергаются воздействию прямых солнечных излучений, содержащих в своем составе ультрафиолетовых излучений, вызывающих у продуктов процесс карамелизации, что приводит к ухудшению в конечном итоге качества получаемой продукции. Однако конвективный способ подачи тепла имеет граничный характер, температура воздуха находится только в предельных нормах, то есть, потенциал в данном способе сушки невысок. Радиационный способ подачи тепла к высушиваемым продуктам отличается высокотемпературностью, что определяет высокий потенциал данного способа. Необходимо отметить, что широкий спектральный состав солнечного излучения не всегда положительно отражается в качестве получаемой продукции. Во избежание снижения качества получаемой продукции на практике применяют радиационный способ подачи тепла путем трансформации солнечных излучений в инфракрасные излучения посредством поглощения солнечных излучений металлическими панелями. Известно, что в процессе сушки температура теплоносителя является важным фактором в обеспечении высоких качеств высушиваемой продукции. Доказано, что теплоноситель с температурой более 70С вызывает авитаминолизацию в продукте, отрицательно влияющую на качество получаемой продукции.

Наиболее перспективным способом, с практической точки зрения является комбинированный способ тепла. При использовании комбинированного способа процесс сушки состоит из трех периодов. Первый период сушки продуктов, как правило, проходит при высоких влажностях продуктов, в данном периоде важен фактор уноса выделенной от продуктов влаги. Унос влаги обеспечивается только потоком воздуха, т.е. горячий воздушный поток, проходя через продукты, поглощает в себя влагу, испаренной от продуктов. Во втором периоде сушки интенсивность испарения влаги замедляется, и для отрыва влаги из продукта уже требуется более высокий тепловой потенциал. В данном случае целесообразно наряду с конвективным способом, имеет практическое значение и применение радиационного способа, именно для дополнительного разогрева продуктов. В третьем периоде сушки влага продуктов остаются на внутренних капиллярах. Для их удаления требуется высокие температуры теплоносителя, что может быть обеспечена путем наличия дополнительных источников инфракрасного излучения.

На основе вышеприведенного анализа нами предлагается комбинированный способ подачи тепла к высушиваемым продуктам, отличающийся от своих аналогов тем, что высушиваемый продукт продольно нагревается конвективным потоком, а сверху, снизу и с боковых сторон нагреваются инфракрасными излучениями, исходящими от дополнительных источников.

Описанные выше способы подачи тепла к высушиваемым продуктам производится в солнечных сушильных установках разных типов. Они отличаются друг от друга по конструкции, по методу трансформации энергии солнечных излучений в тепловую и т.д..

В работах [1,2,3] предложены различные конструкции сушильных установок, широко применяющихся для сушки различных продуктов с учетом особенностей технологических

процессов сушки, а также требований к качеству получаемой продукции. Практические опыты эксплуатации показали, что наибольшая эффективность достигается при использовании ССУ с радиационно-конвективным способом подачи тепла и рециркуляцией теплоносителя в камеру сушки для полного использования теплового потенциала горячего воздуха.

Нами также разработана солнечная сушильная установка [4] с радиационно - конвективным способом подачи тепла. Разработанная нами ССУ отличается от своих аналогов наличием дополнительного источника тепла. Конструктивное исполнение выполнено так, что в камере сушки между двумя теплообменниками (верхней металлической пластинкой и нижним металлическим поддоном) установлены металлические ребра, служащие в качестве источника дополнительного инфракрасного излучения.

Схематическое изображение предлагаемой ССУ приведена на рис. 1.1. Она состоит из солнечного воздухонагревательного коллектора (СВК) 1, камеры сушки (КС) 2. Они соединены между собой с помощью переходного блока (ПБ) 3 и вытяжной трубы (ВТ) 4.

Все части ССУ устанавливаются на несущей пространственной раме 5.

На рис. 1.2. показана схема камеры сушки и ее элементов. КС состоит из теплоизолированного корпуса 6, внутри которого параллельно друг к другу и на некотором расстоянии друг от друга расположены два металлических листа. Нижний лист выполняет роль поддона 7, на котором, вдоль ее длины, штамповкой сделаны небольшие углубления 8. В этих углублениях и размещаются высушиваемые продукты 9.

Перпендикулярно к поверхности верхнего листа 10, приварены на определенном расстоянии друг от друга стальные пластины - ребра 11, определенной высоты. Ребра имеют такую же длину, как и верхняя пластина. Верхняя сторона листа 10, окрашена в черный цвет для увеличения поглотительной способности. Верхний лист выполнен съемным.

Верхней пластине сделаны небольшие отверстия 12, через определенные расстояния.

Верхняя часть КС покрыта листовым стеклом 13. Стекланный лист, как и верхний металлический лист 10 – съемный.

На одной стороне корпуса КС сделаны отверстия 14, для входа в нее нагретого воздуха из переходного блока 3. На противоположной стороне корпуса КС сделаны отверстия для выхода отработавшего воздуха.

ССУ работает следующим образом: высушиваемые продукты 9 укладываются на нижнем поддоне 7 в углублениях 8. Затем верхняя пластина 10 укладывается на поддон таким образом, чтобы ряды высушиваемых продуктов 9 остались между ребрами 11, верхней пластины 10 и не соприкасаются с продуктами. Горячий воздух поступает в КС из СВК, проходит по каналам прямоугольного сечения, образованным верхней пластиной 10, ребрами 11 и нижней пластиной – поддоном 7. Нагретый воздух по мере движения по каналам омывает и нагревает продукты 9 и одновременно абсорбируя выделяющуюся от продуктов влагу, через вытяжную трубу 4, через отверстия 15 выходит из КС наружу.

Верхний лист 10 нагревается от поглощаемого им солнечного излучения 16, (для простоты показан ход одного условного солнечного луча), поступающего на нее через стеклянное покрытие 13. Ее температура, как показывают наши эксперименты, близка или превышает 100 °С. При такой температуре, согласно закона Вина длина волны максимальной плотности излучения от этих пластин составляет 7,77 мкм [6]. Согласно закона Стефана-Больцмана [6] плотность излучения от такого листа составляет (при степени черноты стального листа 0,97) 1064 Вт/м². Это достаточно большая энергия.

Теплота от листа 10 путем теплопроводности материала (кондуктивный теплообмен) передается ребрам 11. Следовательно, температура ребер (пластин) также близка к температуре верхней части листа 10. Как лист 10, так и ребра 11 при такой температуре достаточно мощно излучают инфракрасное излучение и одновременно нагревают верхние, боковые и нижние части высушиваемых продуктов. На рис. 2, инфракрасное излучение, исходящее от листа 10, и ребер 11, показаны пунктирными линиями. Высушиваемый

продукт нагревается инфракрасным излучением практически со всех сторон. Это приводит к более равномерному нагреву продукта со всех сторон и ускорению процесса его сушки.

Горячий воздух, в зависимости от аэродинамических условий в каналах, частично могут переходить из одного канала в другой через отверстия 12.

Таким образом, в представленном ССУ высушиваемый продукт нагревается как конвективным способом - от нагретого в СВК воздуха, так и инфракрасным излучением, исходящим от листа 10 и его ребер 11.

Предлагаемая ССУ особенно эффективна при сушке объемных (цельных, не разрезанных в виде пластин) продуктов, имеющих круглую форму или подобных к ней (абрикос, вишня, слива, клубника и т.д.).

Согласно закону Ламберта, интенсивность излучения с поверхности максимальна в направлении перпендикуляра на данной точке поверхности [5], то есть от ребра 11, исходит максимальное излучение по направлению боковых сторон продуктов.

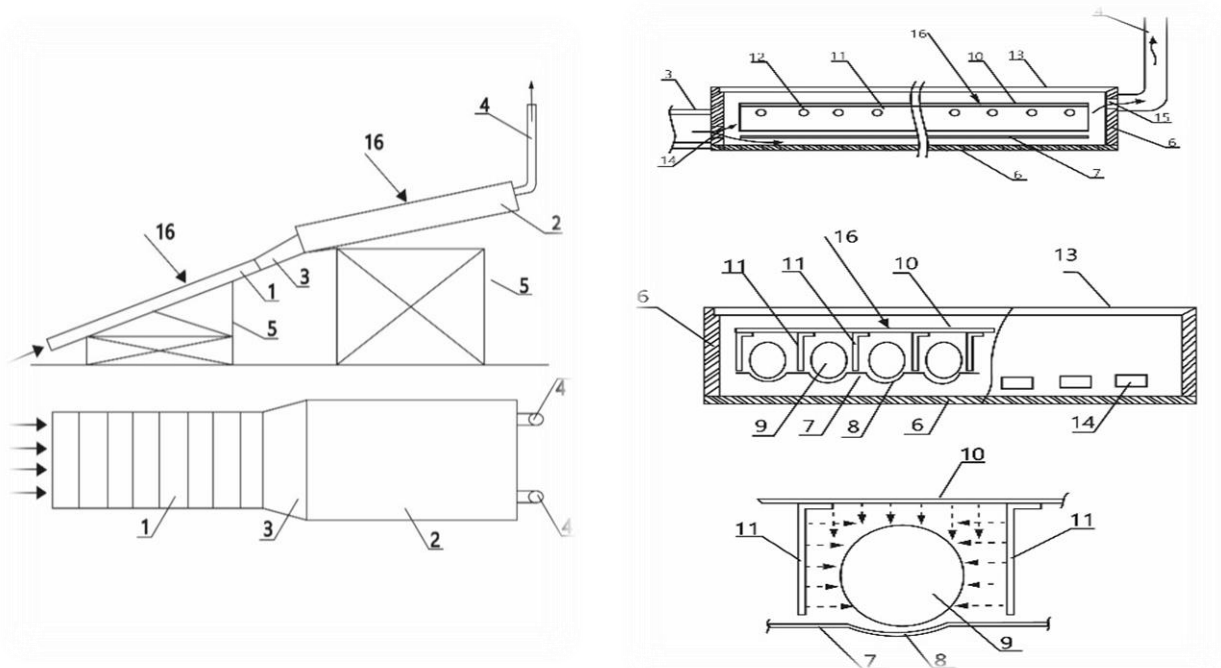


Рис.1. Схема КС ССУ «Термика»

2. Блок Схема ССУ «Термика»

Благодаря тепловому излучению от металлических элементов в камере сушки, а также направленному каналному потоку горячего воздуха предлагаемой установкой обеспечивается высокая скорость сушки и высокое качество получаемой продукции.

Испытания по определению технико-эксплуатационных характеристик установки прошли на экспериментальной базе Кыргызско-Узбекского университета. На рисунке 3 показан общий вид установки. Ее габариты 2,5x1,5x2. На рисунках 4 и 5 приведены результаты испытания установки.



вид установки. Ее габариты 2,5x1,5x2. На рисунках 4 и 5 результаты испытания

Рис. 3. Общий вид ССУ «Термика»

На рисунке 4 представлены результаты экспериментов при сушке абрикоса с косточкой и яблока. Урюк относится к категории пленочных продуктов. Однако, в отличие, например, от винограда в процессе сушки косточка абрикоса, на наш взгляд, должна повысить скорость распространения температуры по объему высушиваемого продукта. Скорость сушки в данном случае на 5-10% выше относительно других типов ССУ, и на 55-60% выше относительно воздушно-солнечной сушки.

Из рисунка видно, что при сушке яблока, скорость сушки в ССУ «Термика» на 2,2 раза выше относительно сушки на открытом пространстве.

На рисунке 5 приведены результаты сушки курута, диаметрами 15-20мм, имеющего шаровидные формы. Курут имеет белый цвет и в отличие от предыдущих объектов сушки имеет высокие коэффициенты отражения. Однако, благодаря наличию активной поверхности испарения и всестороннему нагреву, наблюдается высокая скорость сушки.

Анализируя результаты испытаний, можно отметить, что разработанная установка с конструкционной возможностью осуществить всесторонний нагрев высушиваемых продуктов, позволяет ускорить процесс сушки в среднем на 10-15% относительно базовых ССУ, и до 2,2 раза

относительно воздушно-солнечной сушке с учетом особенностей высушиваемого продукта.

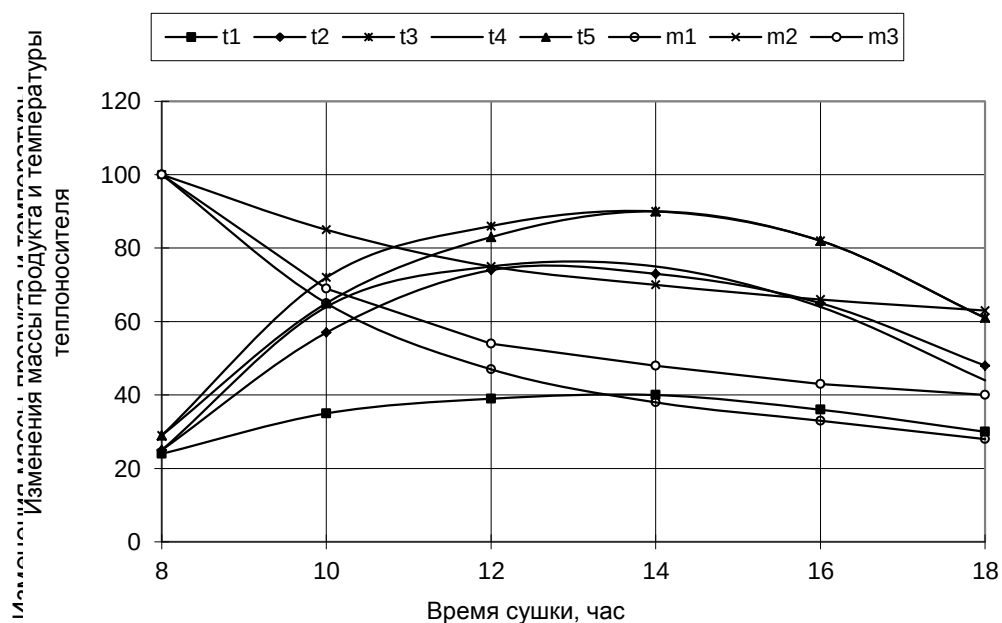


Рис.4. Результаты испытаний ССУ "Термика" на примере сушки абрикоса и яблока.

Литература:

1. Amer B.M., Hossain M.A., K. Gottschalk. Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana, 2013, Energy Conversion and Management 51(4):813-820, <http://DOI:10.1016/j.enconman.2009.11.016>
2. Ayustaningwarno, F., Dekker, M., Fogliano, V. et al. Effect of Vacuum Frying on Quality Attributes of Fruits, Food Eng Rev (2018) 10: 154, <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9178-x>
3. Ozgen, F. Experimental investigation of drying characteristics of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.), Heat Mass Transfer (2015) 51: 343, <https://doi.org/10.1007/s00231-014-1397-y>
4. Умаров Г.Г., Мирзияев Ш.М., Юсупбеков О.Н. Гелиосушка сельхозпродуктов. -Ташкент, Фан, 1995, -С.151.
5. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоиздат, 1991. –С.208.
6. Исманжанов А.И., Абдырахман уулу К., Абулова Н.Л. Солнечная сушильная установка «Термика» Патент КР. №120.
7. ДрагановБ.Х., Кузнецов А.В., Рудопашта С.П. Теплотехника. Применение теплоты в сельском хозяйстве.- М.: Агропромиздат, 1990, -С.459.