

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ В МАССООБМЕННЫХ
УСТАНОВКАХ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ**

А. А. Холиков

Бухарский инженеро-технологический институт,
Бухара, Узбекистан**Аннотация**

В статье изложена использование тепловых труб в массообменных установках при переработке плодоовощей, выбрано теплоноситель и материал для тепловых труб которые использовано в процесс сушки. Рекомендовано метод создание вакуума в тепловых труб для снижения точки кипения теплоносителя внутри тепловых труб. При экспериментальных данных разработано лабораторная экспериментальная сушильная установка и определено температурный характеристик установки.

Ключевые слова: дистиллированная вода, этиловый спирт, конвекция, сушка, температура, точка кипения, теплоноситель, тепловая труба, фитил, вакуум, энергия.

1. Введение

В Республике наблюдается высокий рост выращивания, переработки сельхозпродукции и производства импортозамещающей продукции. Производство консервов и сушеных сельскохозяйственных продуктов - одна из ведущих отраслей пищевой промышленности в мире. При сушке сельскохозяйственных продуктов используются сложная конструкция, энергозатратные техники и технологии. Соответственно, важно создавать современные методы и технологии с использованием эффективных, энергосберегающих возобновляемых источников энергии, необходимых для производства сушеных плодоовощей на экспорт.

В работе [5] осушитель с принудительной конвекцией с использованием солнечной энергии был разработан для изучения влияния скорости воздушного потока, температуры воздуха 55, 65, 75°C и доли рециркулируемого воздуха. Сушилка была снабжена солнечным воздухонагревателем с плоской пластиной, имеющим как гофры, так и треугольные ребра на пластине абсорбера. Максимальная экономия энергии была достигнута за счет рециркуляции отработанного воздуха. Целью работы [6] исследования было разработать сушилку для прямых солнечных батарей с фотоэлектрическим модулем и оценить ее эффективность в экспериментах с естественной и принудительной конвекцией. Фотоэлектрический модуль обеспечивает электроэнергией восемь охладителей, которые позволяют обновлять воздух внутри оборудования. В этой конфигурации сушилка способна работать независимо от распределительной сети электроэнергии. Эксперимент с конвекцией показал более высокую скорость, и внешние механизмы могли управлять процессом.

Таких конструкции сушильной установки сложна и для создания этих массообменных установок потребуется много капитальных затрат. При этом стараются искать экономичные энергосберегающие технологии, которые представлены в работах [1; с.63-67., 2; Ps.116., 3; Ps.112., 4; с.248., 9; с.348., 11; с.43-50.].

2. Цель исследования.

Целью настоящего исследования является использование тепловых труб (ТТ) в массообменных установках при переработке плодоовощей и выбор теплоносителя для ТТ который будет использовано в процесс сушки. Разработать метод для создания вакуума для снижения температуры кипения теплоносителя в ТТ и исследовать работоспособность ТТ при вакууме. При экспериментальных данных выбрать теплоноситель и материал ТТ а также разработать лабораторный экспериментальный сушильной установки и определить температурный характеристик установки.

3. Методы и материалы

Один из таких является технологии, основанные на возобновляемых источниках энергии, к которому относится и так называемые ТТ. ТТ теплопередающее устройство, способное передавать большие тепловые мощности при малых градиентах температуры. [16; с. 272., 17; с. 207., 18;, 19.] Учитывая высшее указанных недостаток массообменных установок нами предложено использовать ТТ в сушильных установках. Полученные данные при экспериментальных и теоритических для выбора рабочего агента, подходящего для использования ТТ в сушильной установке. [7; с.80., 8; с.202., 10; Ps.151-166.,12; Ps.63-67., 13; с.98-109.,14; Ps.36-46., 15;, 20;]

Для медной трубы и медного фитиля при использовании теплоносителя 70%-го раствора спирта и числу меш 7870 время при температуре 73,7⁰С составляет 75 мин, а также при таком теплоносителе, как дистиллированная вода, числе меш 4800 время достижения температуры 76,7⁰С составляет 80 мин. Но медь окисляется водой, механическая обработка медных труб сложная и стоимость меди выше. Использование стальной трубы со стальным фитилем является наиболее предпочтительным, чем медной, с точки зрения окисления и расходов для изготовления. Выбор теплоносителя - 70%-ый раствор спирта является предпочтительным, чем вода, т.к. температура кипения воды выше, чем спиртовой раствор, процесс окисления при спиртовом растворе идет медленнее, чем в воде. Таким образом, материалом для ТТ выбираем стальную трубу со стальным фитилем, в качестве теплоносителя используем 70%-ый раствор этилового спирта. Теплоноситель работает при градиенте температуры выше 80⁰С при атмосферном давлении ТТ с 70%-ной спиртовой смесью. Поскольку температура кипения 70% спиртовой смеси составляет 80,72⁰С, в ТТ создается вакуум для снижения температуры кипения. Если внутри ТТ создать вакуум, то температура кипения теплоносителя снизится, что приведет к повышению эффективности работы ТТ.

Для исследования работоспособности ТТ под вакуумом создали лабораторную установку, состоящую из термостойкой колбы 1, тепловой трубы 2, штатива 3 и нагревательного элемента 4 (рис.1.).

Сперва в колбу 1 наливается вода, с помощью нагревательного элемента закипает вода. При этом в штатив 3 закреплен корпус ТТ 2 с открытой верхней крышкой. Во внутрь корпуса ТТ 2 наливается теплоноситель (70%-ый спирт) в количестве 25-30% от общего внутреннего объема корпуса ТТ, согласно в работах [7; с.80., 8; с.202., 10; Ps.151-166.,12; Ps.63-67., 13; с.98-109.]. Теплоноситель доводится до кипения до тех пор, пока из открытой крышки начинают выходить его пары. Пар, вытесняя воздух, заполняет вес объём корпуса ТТ. Выходящие пары из верхней крышки ТТ греют весь корпус ТТ, когда

температура корпуса достигнет до нужного значения, то есть 80-85⁰С, то можно закрыть герметично верхнюю крышку ТТ. После ТТ отсоединяется от штатива и нужно подождать остывания до комнатной температуры.

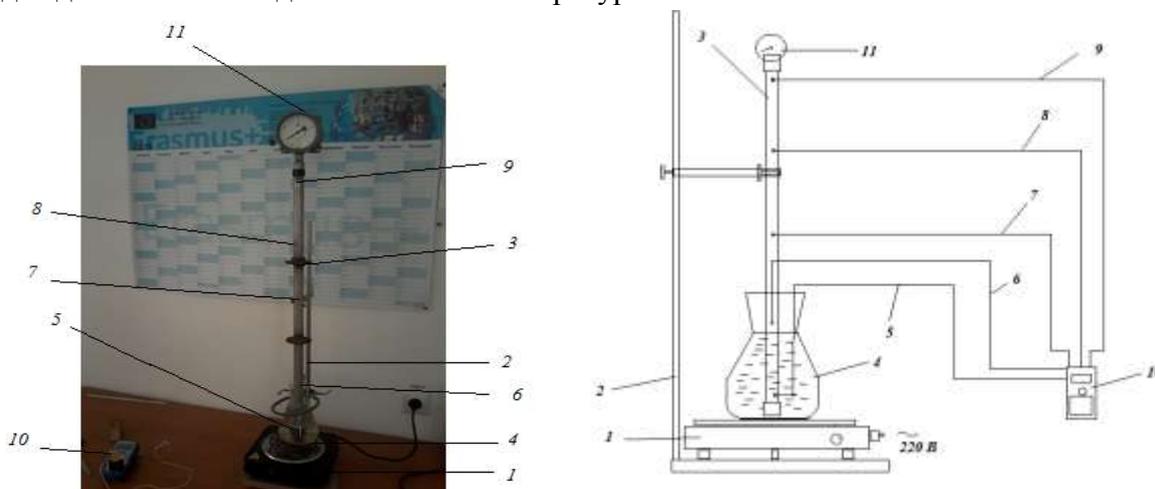


Рис.1. Лабораторная установка для создания вакуума внутри тепловых труб: 1- нагревательный элемент, 2-штатив, 3-ТТ, 4-термостойкая колба, 5,6,7,8,9- точки измерения температуры по длине ТТ с термопарами, 10- мультиметр, 11- вакуумметр

После закрытия крышки ТТ пары теплоносителя конденсируются внутри ТТ и создают вакуум, что показывает вакуумметр, установленный в корпусе ТТ ($P_0=15,2$ кПа). При таком давлении температура кипения теплоносителя составляет 57,15⁰С. Для измерения изменения температуры вдоль длины ТТ через каждые 150 мм по длине ТТ установили термопары 5,6,7,8,9, управляемые мультиметром 10. При включении нагревательного элемента нагревается вода в колбе 1, тем самым нагревается нижняя испарительная часть ТТ 3. Сигналы от термопар показываются и регистрируются мультиметром 10. Изменение значения давления внутри ТТ замеряется и регистрируется в ручную через каждые 5 мин.

4. Результаты и обсуждение

График результатов опытов приведен на рис.2, 3, 4.

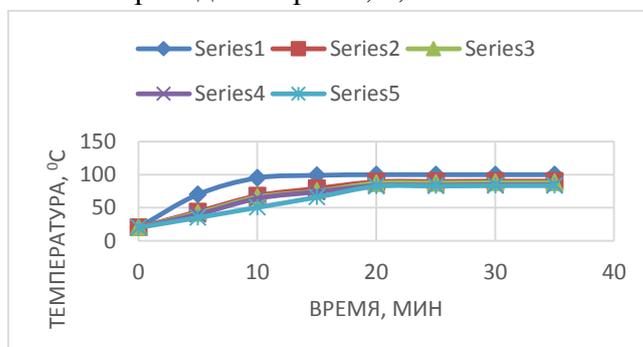


Рис.2. Кривые изменения температуры тепловых труб в различных точках по длине при вакууме $P_0=15,2$ кПа: Корпус ТТ - стальная труба, фитиль стальной,

теплоноситель - спирт 70%, диаметр ТТ $d=20$ мм: 1- термопара 5, 2- термопара 6, 3- термопара 7, 4- термопара 8, 5- термопара 9.

Из рис. 2. видно, что конечная точка 9 температуры корпуса ТТ по длине её в конденсаторной части, при условии в вакууме $P_0=15,2$ кПа, корпусе ТТ стальной трубе, фитиле стальном, теплоносителя - спирт 70%-ый, диаметре ТТ $d=20$ мм за 20 минут достигла $82,5$ °С

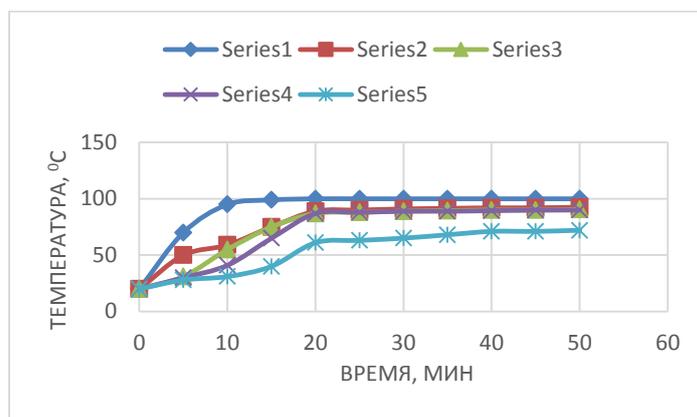


Рис.3. Кривые изменения температуры тепловых труб в различных точках по длине при начальном $P_0=15,2$ кПа: Корпус ТТ - стальная труба, фитиль стальной, теплоноситель - дистиллированная вода, диаметр ТТ $d=20$ мм: 1- термопара 5, 2- термопара 6, 3- термопара 7, 4- термопара 8, 5- термопара 9.

Из рис. 3. видно, что конечная точка 9 по длине её в конденсаторной части температуры корпуса ТТ при условии в вакууме $P_0=15,2$ кПа, корпусе ТТ стальной трубе, фитиле стальном, теплоносителя - дистиллированная вода, диаметре ТТ $d=20$ мм за 20 минут достигла 61 °С.

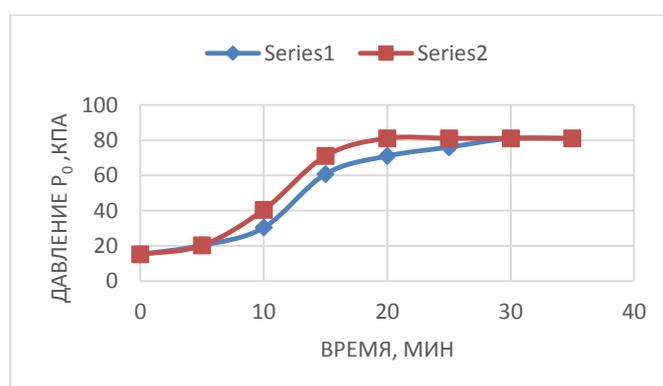


Рис.4. Кривые изменения давления внутри тепловых труб по времени при температуре теплового потока при 100 °С: Корпус ТТ - стальная труба, фитиль стальной, теплоноситель - дистиллированная вода и спирт 70% при диаметре ТТ $d=20$ мм: 1-теплоноситель спирт 70%, 2- теплоноситель - дистиллированная вода
На рис.4. показано, что при температуре подвода тепловой энергии при 100 °С за 30 минут изменение давления внутри ТТ P_0 от $15,2$ кПа изменилось до 81 кПа.

Для исследования процесса сушки сельскохозяйственной продукции разработана и изготовлена сушильная установка с использованием ТТ.

Законы конвекционной сушки продуктов, основанные на энергии генерируемой с помощью тепловой трубы, были изучены на разработанной сушильной установке. Разработанная экспериментальная сушильная установка с применением ТТ приведена на рис.5., 6.

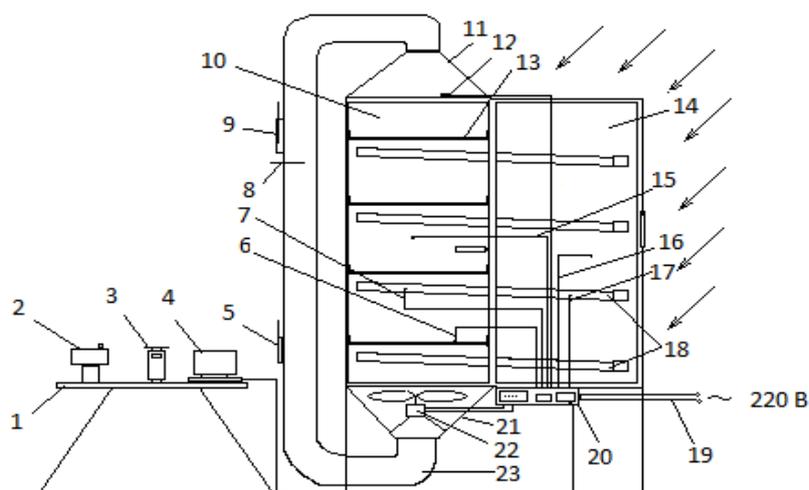


Рис. 5. Схема лабораторной сушильной установки с использованием ТТ

Установка состоит из двух камер: рабочей (сушильной и энергоподводной), вентилятора, пульта управления с контрольно-измерительными приборами, аппаратуры управления и сигнализации. Внутри рабочей сушильной камеры 10 расположены четыре пода 13 изготовленные из нержавеющей сетки и с корпусом из стали. В каждой нижней части пода расположены по три высоких теплопередающих устройства (тепловые трубы-ТТ) 18 под углом $10-12^{\circ}$, изготовленные из стальной трубы с диаметром $15 \times 2,5$ мм, длиной 800 мм, которая берет тепловую энергию солнца из камеры 14. Тепловой поток из камеры 14 поступает через ТТ 18 в сушильную камеру 10 и обеспечивает тепловую энергию. Нижние части камеры 14 и соединенные части камеры 10 изготовлены из металлического листа, а остальные части покрывают раму обычным стеклом для проникновения солнечных потоков энергии. В нижней и верхней частях сушильной камеры 10 закреплены металлические зонты 11 и 21, которые соединены с воздуховодом 23. Дверь сушильной камеры изготовлена из металлического каркаса и стекла для визуального осмотра внутри камеры 10. Остальные части стенки сушильной камеры 10 сделаны из металлического листа и покрыты внутри теплоизоляцией. Воздуховод 23 изготовлен из металлического листа, который обеспечивает рециркуляцию воздуха в камере 10. Для удаления влажного воздуха из камеры 10 в воздуховоде открыты два люка 5 и 9, которые обеспечивают вход сухого воздуха и выход влажного воздуха с помощью шиберов 8. Рециркуляцию теплого воздуха в камере 10, соединенную зонтиками 11, 21 и воздуховодом 23, обеспечивает вентилятор 22, который связан с пультом управления 20.



Рис. 6. Лабораторная сушильная установка с использованием ТТ

Вентилятор дает поток воздуха от 1,5 м/с до 6,5 м/с в зависимости от параметров продукта, воздуха и температуры. Вентилятор подключён к сети через пульт управления 20. Скорость воздуха определяется с помощью ариометра. В пульте управления имеется реле подключения вентилятора, который подсоединен к плате управления типа Arduino Uno, к нему еще подсоединён датчик влажности воздуха и температуры 12 камеры 10 и пять термодпар 6,7,15,16 и 17. Датчик влажности воздуха и температуры 12 определяет температуру верхней части сушильной камеры 10 и влажность камеры и передает данные в плату. Термодпара 6 измеряет изменение температуры внутри продукта, термодпара 7 измеряет изменение температуры ТТ в сушильной камере 10, термодпара 15 измеряет температуры в сушильной камере 10 в средней части, термодпара 16 измеряет изменение температуры в сушильной камере 14, в средней части, а термодпара 17 измеряет температуру ТТ в камере 14. Все полученные данные преобразуются в Arduino Uno, из него передаются данные в ЭВМ 4, который подсоединён к пульту управления, к Arduino Uno. Начальная влажность продукта определяется с помощью сушильного шкафа 2 марки СЭШ-1М. Весы 3 марки ВЛКТ- 500 М предназначены для измерения убыли массы высушиваемого материала. В целях соблюдения норм техники безопасности и заземления к контрольно-измерительным приборам предусмотрена также блокировка.

Таким образом, сушильная экспериментальная установка с использованием ТТ оснащена всей необходимой контрольно-измерительной и регулирующей аппаратурой. Это позволяет при экспериментальных исследованиях процесса сушки плодоовощей получать полную картину тепло и массопереноса.

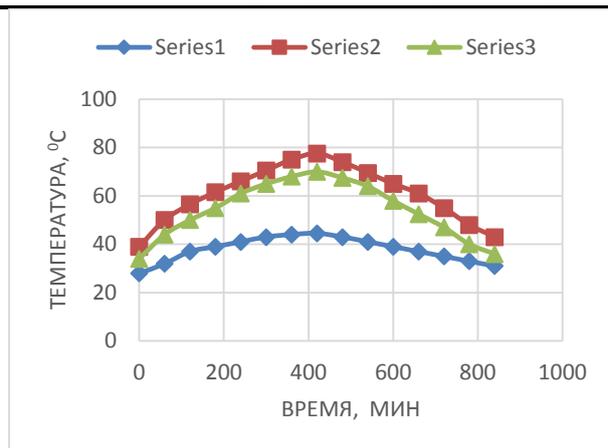


Рис.7. Изменение температуры в сушильной камере: 1-изменение температуры окружающей среды, 2-изменение температуры воздуха теплопередающей камеры, 3- изменение температуры воздуха в сушильной камере.

При температуре окружающего воздуха 45°C , температура в теплопередающей камере повышалась до 74°C , а в сушильной камере до 68°C . Также при изучении изменения температуры в двух зонах ТТ было установлено, что температура ТТ в зоне конденсатора составила 74°C , а в зоне испарения 80°C .

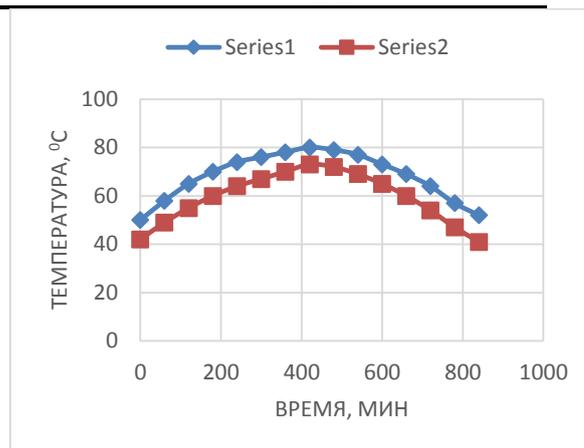


Рис.8. Изменение температуры в зоне испарителя и конденсатора тепловой трубы: 1- изменение температуры корпуса ТТ в зоне испарителя теплопередающей камеры, 2- изменение температуры ТТ в зоне конденсатора.

5. Выводы.

На основе теоретических и экспериментальных исследований определены основные конструктивные и технологические параметры ТТ. Определена мощность теплового потока при ТТ с толщиной фитиля 3 мм составляет 550 Вт, снижение теплового потока до 380 Вт при толщине фитиля 4,5 мм, угол наклона ТТ мало повлиял на повышение температуры окружающей среды с $64,5$ до 78°C , основными факторами, влияющими на поток тепловой энергии, являются рабочая жидкость (теплоноситель), толщина фитиля, теплопроводность теплоносителя, при атмосферном давлении происходит за счет коэффициента теплоотдачи фитиля и материала корпуса ТТ. На основе теоретических и экспериментальных исследований выбраны материалы для ТТ и определены рабочие агенты, используемые в процессе сушки плодоовощей. Материал корпуса ТТ и материала сетки фитиля-сталь, количество меш в фитиле -7870, рабочая жидкость (теплоноситель)-70% спиртовая смесь, внутренний диаметр ТТ 20 мм. Установлена закономерность движения рабочего агента в зоне нагрева и конденсации ТТ. Определено снижение температуры кипения рабочей жидкости при создании вакуума в ТТ ниже атмосферного давления до 15,2 кПа, время повышения температуры сократилось в 4 раза, что приводит к повышению эффективности ТТ в 2 раза, давление внутри ТТ при работе повышается от 15,2 кПа до 81 кПа. Разработана экспериментальная испытательная сушильная установка, повышающая энергоэффективность процесса сушки с использованием ТТ. Определено, что в

течение дня при средней температуре 45°C окружающего воздуха, температура воздуха в камере конденсаторной части ТТ поднялась до 68°C , температура воздуха в испарительной части ТТ поднялась до 74°C , температура корпуса ТТ в камере испарителя поднялась до 80°C , а температура корпуса ТТ в камере конденсатора поднялась до 74°C .

6. Список использованных литератур.

1. Холиков А.А., Мирзаева Ш.У., Рахматов У.Р. Расчет конвективной сушильной установки с применением тепловых труб. "UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ" Электронный научный журнал №10 (67), Москва 2019, с.63-67.
2. Gafurov K., Hikmatov D., Kholiqov A.A., Safarov O. Energy resource-saving technologies in processing of fruits and vegetables. Monograph. Publishing house "Durdona" Bukhara. Protocol №3 dated 29.11.2019. "Шарқ -Бухоро" МЧЖ босмахоноаси 2019й. Ps.116.
3. Gafurov K.Kh., Hikmatov D.N., Kholikov A.A., Safarov O.F. Application of heat pumps and heat pipes in the food industry. Monograph. Publishing house "Durdona" Bukhara. Protocol №3 dated 01.07.2020. "Шарқ -Бухоро" МЧЖ босмахоноаси 2020 й. Ps.112.
4. Сафаров А.Ф., Гафуров К.Х., Хикматов Д.Н., Холиков А.А. Энергосберегающие технологии при переработке плодов и овощей. Бухара. Издательство: Дурдона, 2013. – с. 248.
5. P.N.Sarsavadia. Development of a solar-assisted dryer and evaluation of energy requirement for the drying of onion. Renewable Energy Volume 32, Issue 15, December 2007, Ps. 2529-2547
6. Letícia Ferraresi Hidalgo^a Mariana Nascimento Candido^b Karina Nishioka^b José Teixeira Freire^a Gustavo Nakamura Alves Vieira^b. Natural and forced air convection operation in a direct solar dryer assisted by photovoltaic module for drying of green onion. Solar Energy. Volume 220, 15 May 2021, Ps. 24-34
7. Холиков А.А., Мирзаева Ш.У. Расчет конденсирующей части высокоэффективного теплопередающего устройства. Международная научно- практическая конференция "Интеграция современных научных исследований в развитие общества" 28-29 декабря Россия, г. Кемерово-2016г. Том 1, с.80.
8. Холиков А.А., Гафуров К.Х. Исследование теплопроводности тепловых труб. «Инновации в индустрии питания и сервисе» электронный сборник материалов III Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» Краснодар, 25 октября 2018 г. с.202.
9. Холиков А.А., Мирзаева Ш.У., Фатуллаев Ш. Подсистемы аккумулирования тепла. "Новые решения в области упрочняющих технологии: взгляд молодых специалистов" сборник научных статей международной научно- практической конференции 22 - 23 декабря Курск-2016 г. Том 2, с.348.
10. Kholikov A.A., Quldosheva F.S. Testing And Determining The Temperature Characteristics Of Heat Pipes (HP). The American Journal of Applied Sciences, 2020. 2 (11), Ps.151-166.
11. Ибрагимов Р.Р., Холиков А.А., Абдурахмонов О.Р., Кобилов Х.Х. Пути решения энергетических затрат технологических процессов. Москва. /Вестник развития науки и образования. №3 2003, с.43-50.

12. Alijon Abdiraupovich Kholikov, Hamrokul Kuvandikovich Sayidov, Murodjon Hamidjonovich Beshimov. Analysis of Mathematical Models and Influence of Constructions of High Efficient Heat Transfer Devices. / Mathematical Modelling and Applications. Science Publishing Group Ps:63-67 Published Online: Dec. 13, 2017.
13. Холиков А.А., Кулдошева Ф.С. Определения и испытания температурных характеристик высокоэффективной теплопередающих устройств(тепловых труб)// Eurasian journal of academic research, 2021. Volume 1. May. с.98-109.
14. Kholikov A.A., Jumaev J. Planning and conducting experiments of the drying process using heat pipes.// European Scholar Journal (ESJ), Vol.2 №3, March 2021. Ps.36-46.
15. Alijon Kholikov, Jura Jumaev, Doniyor Hikmatov, Khamid Kuvvatov. Optimization of onion drying process parameters using the full factorial experiment method// IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 848 (2021) 012010 doi:10.1088/1755-1315/848/1/012010
16. Дан.П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы. Пер.с англ.Ю.А.Зейгарника:-М.: Энергия, 1979. с.272.
17. Чи.С. Тепловые трубы: Теория и практика/ Пер.с англ. В.Я. Сидорова -М.: Машиностроение, 1981. с.207.
18. <http://www.trizminsk.org/e/21102100.htm>
19. <http://engineeringssystem.ru/teploviye-trubi>
20. А.А. Холиков, Д.Н. Хикматов, Ф.С. Кулдошева. Применение метода полного факторного эксперимента для оптимизации параметров процесса сушки лука с использованием тепловых труб// Academic research in educational sciences 3 (3), 452-467