



## DETERMINATION AND TESTING OF TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF HIGH EFFICIENCY HEAT TRANSFER DEVICES (HEAT PIPES)

A.A. Kholikov <sup>1</sup>, F.S. Kuldosheva <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bukhara Engineering-Technological Institute

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4748767>

### ARTICLE INFO

Received: 1<sup>st</sup> May 2021

Accepted: 5<sup>th</sup> May 2021

Online: 10<sup>th</sup> May 2021

### KEY WORDS

heat pipe, wick, porosity, mesh number, steel, copper, condenser, evaporator, alcohol, water

### ABSTRACT

The article describes the tests and determination of the temperature characteristics of highly efficient heat transfer devices (heat pipes (TT)), which can be used in heat and mass transfer devices, for example, in the process of drying vegetables and fruits. To test and determine the temperature characteristics of TT, a test setup for medium-temperature TT was created and a number of tests were carried out to determine how the dependence of the temperature change of the condenser and the TT evaporator at various angles of inclination, the working fluid, body material, TT wick material was selected, the influence of the number of mesh wick was determined. All characteristics are presented in graphs and tables.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ТЕПЛОВЫХ ТРУБ)

А.А. Холиков <sup>1</sup>, Ф.С.Кулдошева <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Бухарский инженерно-технологический институт

### ИСТОРИЯ СТАТЬИ

Принято: 1 мая 2021 г.

Утверждено: 5 мая 2021 г.

Опубликовано: 10 мая 2021 г.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

тепловая труба, фитиль, пористость, число меш, сталь, медь, конденсатор, испаритель, спирт, вода

### АННОТАЦИЯ

В статье изложено испытания и определения температурных характеристик высокоэффективных теплопередающих устройств (тепловые трубы (ТТ)), которые может быть использовано в теплообменных аппаратах к примеру в процесс сушки овощей и фруктов. Для испытания и определения температурных характеристик ТТ было создано испытательная установка для среднетемпературных ТТ и проведено ряд испытаний для определения как зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя ТТ при различных углах наклона, выбрано рабочая жидкость, материал корпуса, материал фитиля ТТ, определено влияние число меш фитиля. Все характеристики изложено в графиках и таблицах.



## 1. Введение

### Проблемы

энергоресурсосберегающие процессы, а также разработка и внедрение высокоэффективной техники и технологии для развития малого и среднего предпринимательство является актуальной проблемой.

Энергетические затраты на осуществление тепло-массообменных процессов в первичной обработке сырья и в производстве пищевых продуктов составляют до 70% от общей затрачиваемой энергии. Недостаточно эффективно используется солнечная энергия и сбросное тепло в тепло-массообменных процессах, а в производстве отсутствует применение высокоэффективных теплопередающих устройств - тепловых труб (ТТ) [3;-С.13-20, 8;-Ps.7-13, 9;-Ps.24-39, 4;-С.43-50, 6;-С.102-108].

## 2. Цель исследования.

**Тепловая труба** это теплопередающее устройство, способное передавать большие тепловые мощности при малых градиентах температуры. ТТ представляет собой герметизированную конструкцию из теплопроводящего металла частично заполненную жидким теплоносителем (легкоиспаряющаяся жидкость). В ранее ТТ использовалось в космических установках для охлаждения платы, для охлаждения воздуха в некоторых системах, в компьютерной технике и.т.д. [1;-С.10-16, 2;-С.15-44,18;,19;.]

В работах [5;,1;,2;,14;,15;10;,11;,12;,13;] подробно изложено виды и работаспособность ТТ.

В связи с этим одним из основных задач является разработка использования солнечная энергия и сбросное тепло в тепло-массообменных процессах применения высокоэффективных теплопередающих устройств в различных техниках производства. Для этого необходимо исследование применения высокоэффективных теплопередающих устройств в солнечных тепло-массообменных (в сушилках, в выпарных установках и т.д.) установках с научно обоснованным подходом разработки конструкции и применения рабочих агентов в ТТ [3;-С.76-120, 2;-С.182-196, 9;-Ps.40-100, 7;-С.63-67,14;-С.80, 15;-С.202, 16;-С.348.].

## 3. Методы и материалы

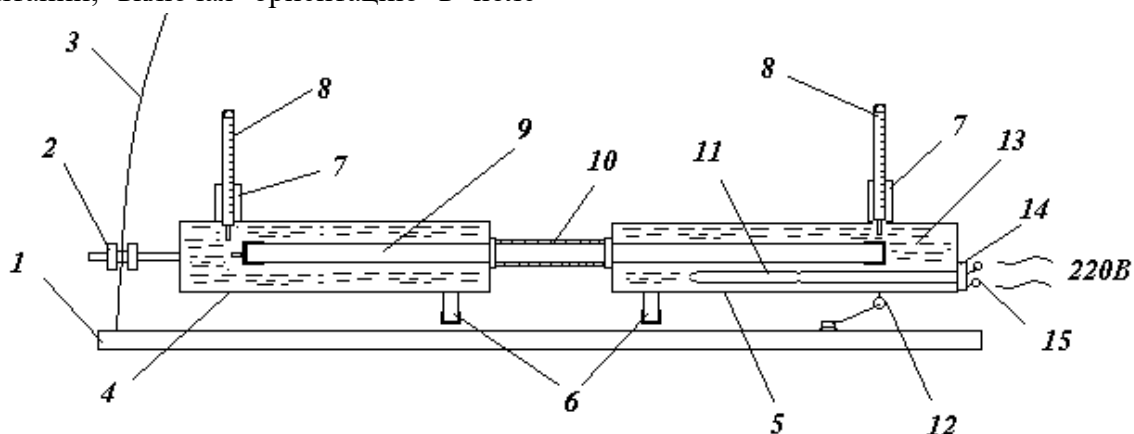
Опытное определение характеристик ТТ также представляет собой необходимый этап работы по созданию изделия с требуемыми свойствами, при этом нужно сказать, что интерпретация результатов испытаний может оказаться затруднительной. Методы испытаний ТТ, предназначенных для использования на теплообменных аппаратах, имеют свою специфику, которая связана с необходимостью определения характеристик ТТ в условиях невесомости на основании данных испытаний, выполненных в технических условиях. Изменение характеристик ТТ осуществляется сравнительно просто и требует для своей реализации обычное оборудование, имеющееся в любой лаборатории, изучающей теплопередачу. [1;-С.145-161, 2;-С.165-182, 5;-Ps.63-67.,17;-Ps.151-166.]

Измерения необходимы для того, чтобы показать, что ТТ отвечает заданным при ее проектировании техническим

условиям. Ограничения передающей способности трубы, образующие своего рода огибающую рабочего диапазона параметров, также могут быть исследованы как и степень изотермичности трубы. Значительное число факторов может быть изучено в результате лабораторных испытаний, включая ориентацию в поле

силы тяжести, рабочую температуру, тепловой поток в испарителе и т.д.

Для изучения влияния температурных характеристик ТТ нами разработана лабораторная экспериментальная установка которая представлена ниже.



**Рис.1. Схема испытательной установки для среднетемпературных ТТ.**

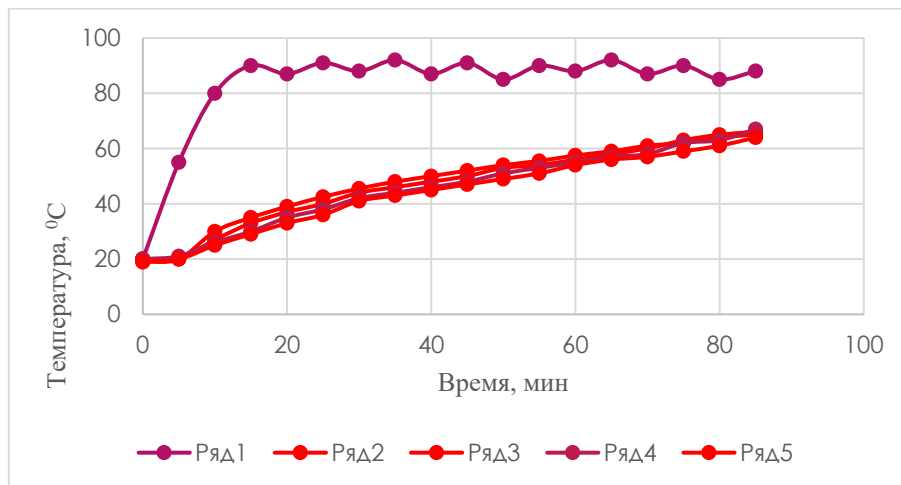
1- станина; 2- крепление; 3- штатив; 4,5- корпуса; 6- патрубки для отлива; 7- патрубки слива; 8- термометры; 9- тепловая труба; 10- тепловая изоляция; 11- нагревательный элемент; 12- шарнир; 13- вода; 14- терморегулирующее устройство; 15- переключатель

Испытательная установка для среднетемпературных ТТ работает следующим порядком. Установка прикреплено к станине 1 с помощью крепления 2 на штативе 3 и шарниром 12. ТТ 9 испарительная часть прикреплено к корпусу нагрева 5 который состоит из патрубки слива 7, нагревательного элемента 11, терморегулирующего устройства 14, переключателя 15, термометра 8 для определения температуры воды внутри корпуса 5, который симулирует поток тепловой энергии с помощью нагревательного элемента 11. Нагревательный элемент 11 с помощью переключателя 15 берет электроэнергию превратив его в тепловую который регулируется терморегулирующим устройством 14, нагревая воды заполненным к корпусу 5. При этом к корпусу 5 помещается 2,83

литра воды, вода нагревается до 80-90 °С при том симулирует тепловой поток энергии. ТТ 9 испарительная часть нагревается и берет тепловую энергию транспортирует изнутри с помощью рабочей жидкости и с помощью КПМ (фитиля) отправляет тепловую энергию через паровой канал к части конденсатора ТТ 9. Внутри ТТ 9 рабочая жидкость набрав тепловую энергию преобразившийся в пар и через паровой канал отправляется к части конденсатора ТТ 9 и там отдав тепловую энергию сам же конденсируется в жидкость, потом конденсирующийся жидкость через фитиль и с помощью гравитационных сил возвращается к испарительной части ТТ 9. Для конденсации пара рабочей жидкости конденсируемый часть ТТ 9 закреплено внутри корпуса 4 который заполнено до 2,33 литра водой чтобы определить сколько

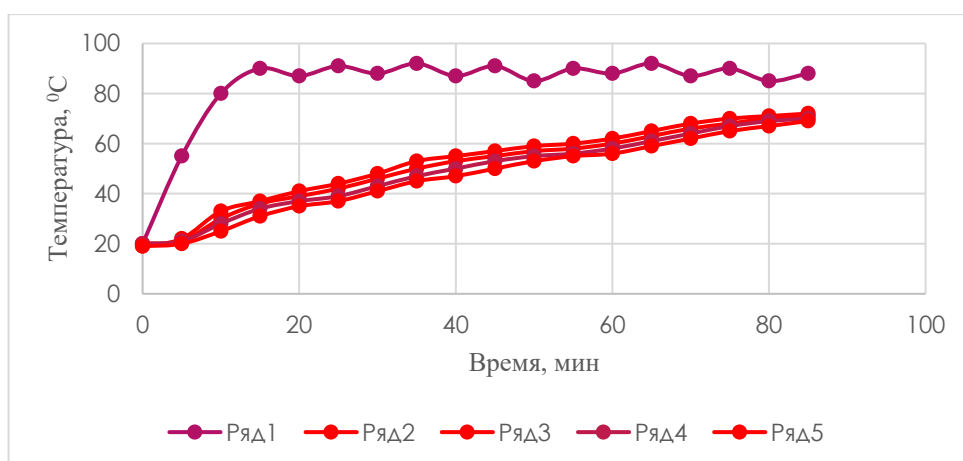
потока тепловой энергии передается через температуры воды. Для проверки работы ТТ 9 при любой ориентации угла наклона с помощью крепление 2 и штатива 3 можно изменит угла наклона. Приведены графики зависимость изменение температуры

конденсатора и испарителя при различных углах наклона, различных материалов фитилей и различных материалов корпуса ТТ (рис.2., рис.3., рис.4., рис.5., рис.6., рис.7., рис.8., рис.9., рис.10.).



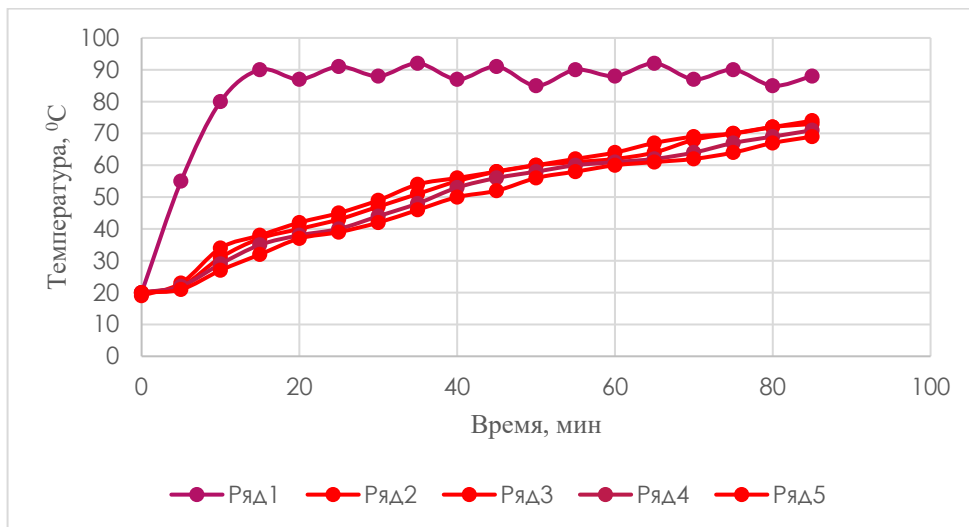
**Рис.2. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, стальной фитиль, толщина фитиля 3 мм, число меш  $N=4800$ , рабочая жидкость вода, диаметр ТТ  $d=20$  мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ  $0^{\circ}$ , Ряд3-уголь наклона ТТ  $30^{\circ}$ , Ряд4- уголь наклона ТТ  $45^{\circ}$ , Ряд5- уголь наклона ТТ  $60^{\circ}$



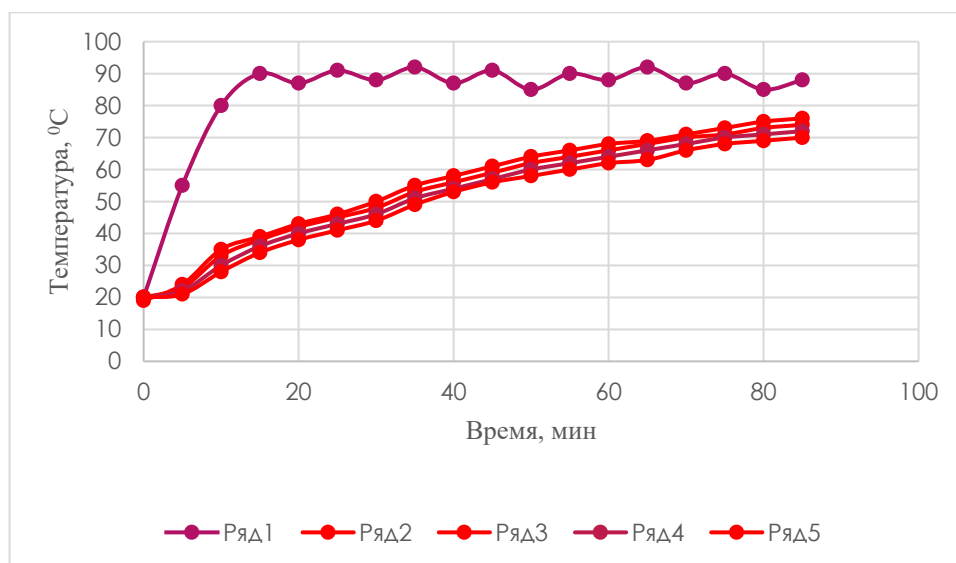
**Рис.3. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, стальной фитиль, толщина фитиля 3 мм, число меш  $N=7870$ , рабочая жидкость вода, диаметр ТТ  $d=20$  мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ  $0^{\circ}$ , Ряд3-уголь наклона ТТ  $30^{\circ}$ , Ряд4- уголь наклона ТТ  $45^{\circ}$ , Ряд5- уголь наклона ТТ  $60^{\circ}$



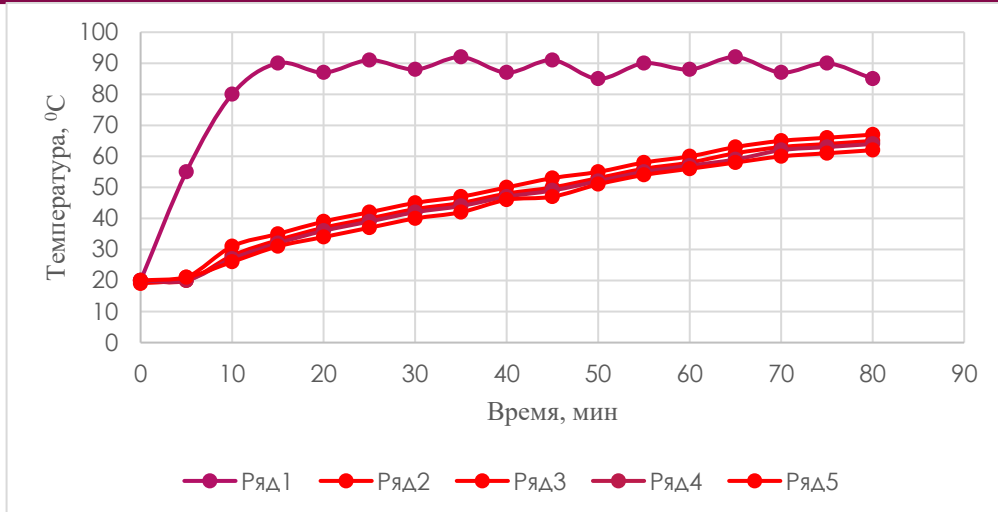
**Рис.4. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, медный фитиль, толщина фитиля 3 мм, число меш N= 4800, рабочая жидкость вода, диаметр ТТ d=20 мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ 0°, Ряд3-уголь наклона ТТ 30°, Ряд4- уголь наклона ТТ 45°, Ряд5- уголь наклона ТТ 60°



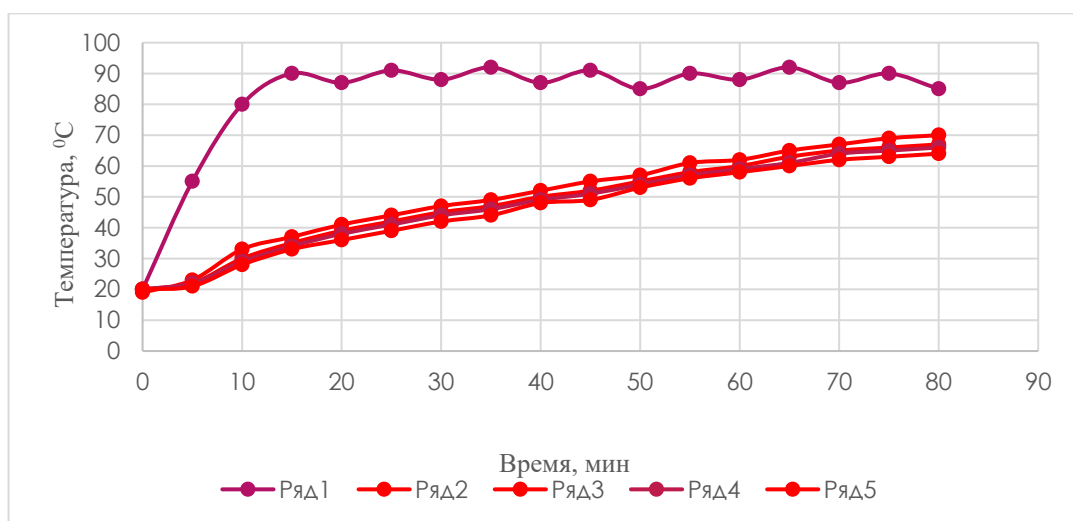
**Рис.5. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, медный фитиль, толщина фитиля 3 мм, число меш N= 7870, рабочая жидкость вода, диаметр ТТ d=20 мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ 0°, Ряд3-уголь наклона ТТ 30°, Ряд4- уголь наклона ТТ 45°, Ряд5- уголь наклона ТТ 60°



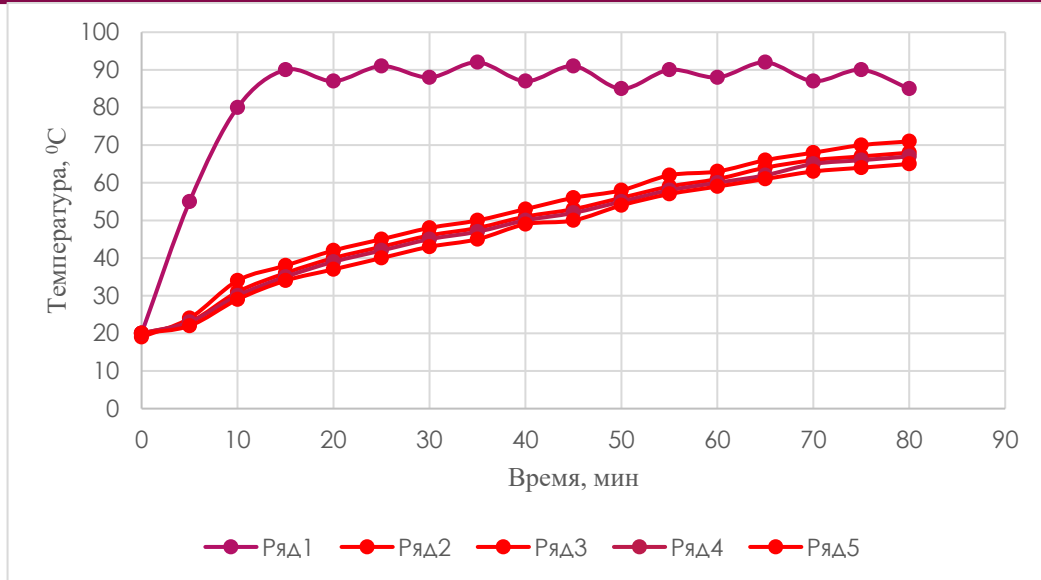
**Рис.6. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, стальной фитиль, толщина фитиля 3 мм, N= 4800, рабочая жидкость спирт 70%, диаметр ТТ d=20 мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ 0°, Ряд3-уголь наклона ТТ 30°, Ряд4- уголь наклона ТТ 45°, Ряд5- уголь наклона ТТ 60°



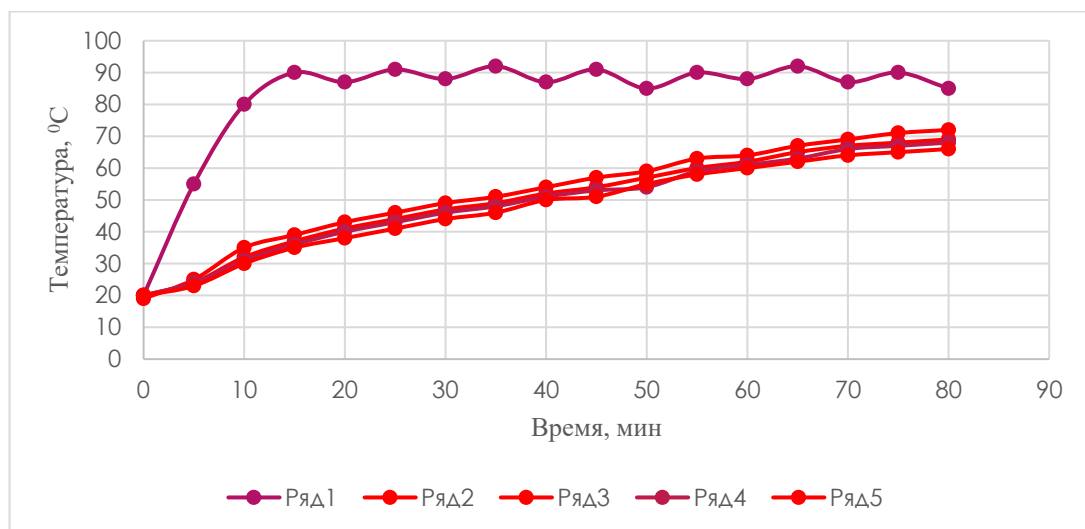
**Рис.7. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, стальной фитиль, толщина фитиля 3 мм, N= 7870, рабочая жидкость спирт 70%, диаметр ТТ d=20 мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ 0°, Ряд3-уголь наклона ТТ 30°, Ряд4- уголь наклона ТТ 45°, Ряд5- уголь наклона ТТ 60°



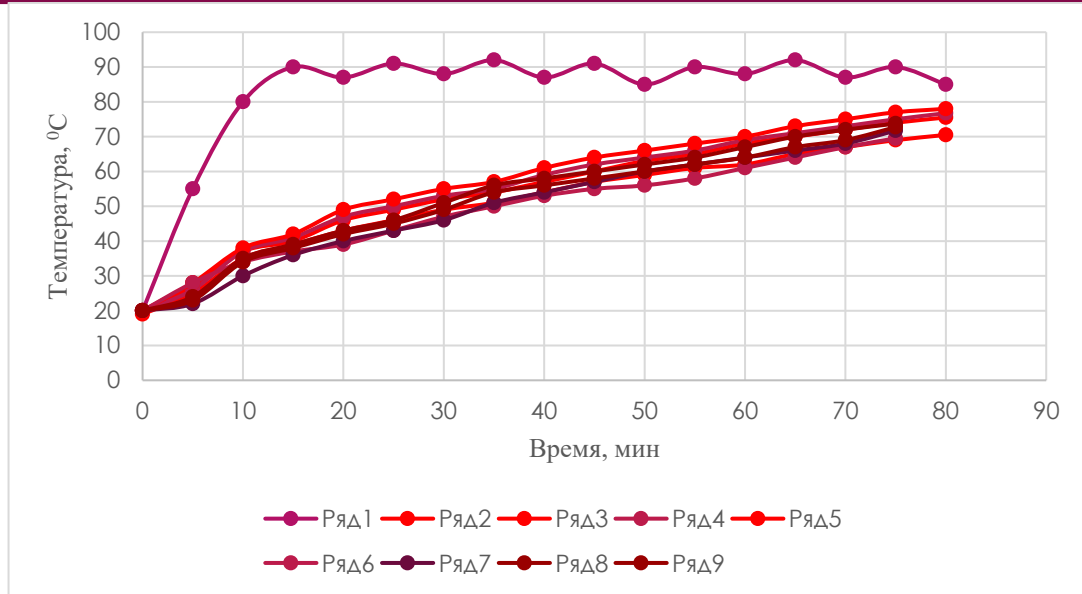
**Рис.8. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, медный фитиль, толщина фитиля 3 мм, N= 4800, рабочая жидкость спирт 70%, диаметр ТТ d=20 мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ 0<sup>0</sup>, Ряд3-уголь наклона ТТ 30<sup>0</sup>, Ряд4- уголь наклона ТТ 45<sup>0</sup>, Ряд5- уголь наклона ТТ 60<sup>0</sup>



**Рис.9. Зависимость изменение температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, стальная труба, медный фитиль, толщина фитиля 3 мм, N= 7870, рабочая жидкость спирт 70%, диаметр ТТ d=20 мм**

Ряд1- температура испарителя, Ряд2 –уголь наклона ТТ 0<sup>0</sup>, Ряд3-уголь наклона ТТ 30<sup>0</sup>, Ряд4- уголь наклона ТТ 45<sup>0</sup>, Ряд5- уголь наклона ТТ 60<sup>0</sup>



**Рис.10. Зависимость изменение средней температуры конденсатора и испарителя при различных углах наклона ТТ, медная труба, толщина фитиля 3 мм, диаметр ТТ d=20 мм**

Ряд1- температура воды испарителя, Ряд2 – стальной фитиль, число меш 4800, теплоноситель вода при углах 0°, 30°, 45°, 60°, Ряд3- стальной фитиль, число меш 7870, теплоноситель вода при углах 0°, 30°, 45°, 60°, Ряд4- медный фитиль, число меш 4800, теплоноситель вода при углах 0°, 30°, 45°, 60°, Ряд5- медный фитиль, число меш 7870, теплоноситель вода при углах 0°, 30°, 45°, 60°, Ряд6- стальной фитиль, число меш 4800, теплоноситель спирт 70% при углах 0°, 30°, 45°, 60°, Ряд7- стальной фитиль, число меш 7870, теплоноситель спирт 70% при углах 0°, 30°, 45°, 60°, Ряд8- медный фитиль, число меш 4800, теплоноситель спирт 70% при углах 0°, 30°, 45°, 60° Ряд9- медный фитиль, число меш 7870, теплоноситель спирт 70% при углах 0°, 30°, 45°, 60°

#### 4.Результаты и обсуждение

Из графиков видно, что угол наклона ТТ мало влияет на повышение температуры воды корпуса 5 из него можно сделать вывод что основном влияние на поток тепловой энергии повлияет рабочая жидкость (теплоноситель), толщина фитиля, теплопроводность теплоносителя,

коэффициент теплопередачи материала ТТ и фитиля. Выше указанные графики только для стальных ТТ, все эксперименты ТТ заправлены теплоносители в при атмосферном давлении для сравнения с медных ТТ приведено на следующем таблице. Все эксперименты проводились длиной ТТ от 730-770 мм.





№	Материал ТТ, при толщине фитиля 3мм	Число меш, N	Тепло-носитель	Время повышения температуры воды корпуса конденсатора, мин	Средняя температура воды корпуса конденсатора при углов наклона по времени, °С
1.	Стальной труба, стальной фитиль	4800	вода	85	65,5
2	Стальной труба, стальной фитиль	7870	вода	85	70,5
3	Стальной труба, медный фитиль	4800	вода	85	71,75
4	Стальной труба, медный фитиль	7870	вода	85	73
5	Стальной труба, стальной фитиль	4800	Спирт, 70%	80	64,5
6	Стальной труба, стальной фитиль	7870	Спирт, 70%	80	66,75
7	Стальной труба, медный фитиль	4800	Спирт, 70%	80	67,75
8	Стальной труба, медный фитиль	7870	Спирт, 70%	80	68,75
9	Медная труба, стальной фитиль	4800	вода	80	70,5
10	Медная труба, стальной фитиль	7870	вода	80	75,5
11	Медная труба, медный фитиль	4800	вода	80	76,75
12	Медная труба, медный фитиль	7870	вода	80	78
13	Медная труба, стальной фитиль	4800	Спирт, 70%	75	69,5
14	Медная труба, стальной фитиль	7870	Спирт, 70%	75	71,75
15	Медная труба, медный фитиль	4800	Спирт, 70%	75	72,75
16	Медная труба, медный фитиль	7870	Спирт, 70%	75	73,75

Исходя этих данных нужно выбирать для наших целей которые возможно использовать в солнечном сушилке с использованием ТТ. Берем для анализа трубы изготовлены из меди и медных сеток. Теплопроводность медных

труб и сеток очень хорошая, но найти нужного диаметра с толщиной труб и диаметром проволоки сеток для фитилей найти не легко, окисляется с водой, механическая обработка медных труб сложна. Теперь теплоноситель вода самый



дешевый теплоноситель, теплоёмкость хорошая, но окисляется с контактом металла, температура кипения 100 градусов для наших целей не подходит этот теплоноситель. Остается стальная труба и стальная сетка для фитилей, теплопроводность этого материала чуть меньше от меди широко принимается в производстве и найти таких материалов не затруднить и очень легко поддаются на механическом обработке. Спирт 70% теплоёмкость этого теплоносителя меньше чем вода но найти несложна, меньше окисляется с металлами чем вода. С таблицы можно сделать вывод что для нашего случая нужно выбирать ТТ стальная труба, стальной фитиль с число меш 7870 и теплоноситель спирт 70%.

Выбранный ТТ теплоносителем спирта 70% работает на температурном градиенте с выше 80 °С при атмосферном давлении внутри ТТ. Температура кипения 70% того спирта 80,72 °С.

### **5.Выводы.**

Испытания температурных характеристик ТТ проводилось на

испытательной лабораторной установки где показано на рис 1. Все эксперименты проводились длиной ТТ от 730-770 мм с диаметром трубы 20 мм. Экспериментальные данные показало, что использование ТТ для сушки плодов и овощей материал корпуса ТТ и материал фитиля нужно подбирать стальную а теплоносителя 70%го этилового спирта и заполнения этого теплоносителя как показано в литературах нужно заполнить 25-30% от общей вместимости внутри ТТ. Угол наклона ТТ в различных углах мало влияет на теплоперенос. Определено что в конденсаторной части ТТ температура меньше 10-15% от испарительной части ТТ. Это можно объяснить влияние окружающей среды, термическое сопротивление металлов, гидравлические сопротивления пара и жидкости. Выбранный ТТ теплоносителем спирта 70% работает на температурном градиенте с выше 80 °С при атмосферном давлении внутри ТТ. Температура кипения 70% того спирта 80,72 °С, чтобы уменьшить температуры кипения нужно создать вакуум внутри ТТ.

### **Литературы:**

1. Дан.П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы. Пер.с англ.Ю.А.Зейгарника:-М.: Энергия, 1979 г.272 с.
2. Чи.С. Тепловые трубы: Теория и практика/ Пер.с англ. В.Я. Сидорова .-М.: Машиностроение, 1981.-207 с.
3. Сафаров А.Ф., Гафуров К.Х., Хикматов Д.Н., Холиков А.А. Энергосберегающие технологии при переработке плодов и овощей. Бухара. Издательство: Дурдона, 2013. - 248 с.
4. 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.
5. 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.



6. Холиков А.А. Иссиқлик қувурларда ностационар энергия ташишни тақик этиш. “Фан ва технологиялар тараққиёти” (Развитие науки и технологии) Бухоро 2018й 4 қисм.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. GongmingXin<sup>a</sup>PengZhang<sup>a</sup>YanChen<sup>a</sup>LinCheng<sup>ab</sup>TengHuang<sup>b</sup>HongyiYin<sup>b</sup>. Development of composite wicks having different thermal conductivities for loop heat pipes. Applied Thermal Engineering. Volume 136, 25 May 2018, Pages 229-236
11. MahboobeMahdavi<sup>a</sup>SaeedTiari<sup>a</sup>SvenDe Schampheleire<sup>b</sup>SonggangQiu<sup>c</sup>. Experimental study of the thermal characteristics of a heat pipe. Experimental Thermal and Fluid Science. Volume 93, May 2018, Pages 292-304
12. PrameshRegmiHarrisWong. Heat and mass transfer in a cylindrical heat pipe with a circular-capillary wick under small imposed temperature differences. International Journal of Heat and Mass Transfer .Volume 120, May 2018, Pages 228-240
13. M.Vijayakumar<sup>a</sup>P.Navaneethakrishnan<sup>b</sup>G.Kumaresan<sup>c</sup>R.Kamatchi<sup>d</sup>. A study on heat transfer characteristics of inclined copper sintered wick heat pipe using surfactant free CuO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. Volume 81, December 2017, Pages 190-198
14. 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. Том1, 80 стр.
15. 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. 202 стр.
16. 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, 348 стр.
17. 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.
18. K Gafurov, B Muhammadiev, S Mirzaeva, F Kuldosheva. OBTAINING EXTRACTS FROM PLANT RAW MATERIALS USING CARBON DIOXIDE. Food Science and Technology, 2020



19. N. Z. Sharipov. ANALYSIS OF THE PROCESS OF PREPARING OILSEEDS FOR OIL PRODUCTION. ACADEMICIA An International Multidisciplinary Research Journal. Vol. 10, Issue 11, November 2020. p. 2075-2079

20. N.Z. Sharipov, S. A. Bo'ronov, Soliev F. Analysis of the process of preparation of local soybean seeds for oil. International Journal of Discourse on Innovation, Integration and Education (IJDIE). Vol. 3 No. 2 (2021). p. 227-229

21. <http://www.trizminsk.org/e/21102100.htm>

22. <http://engineeringssystems.ru/teploviye-trubi>