



УДК 621.1.016

**STUDY OF HEAT TRANSFER WITH A PULSING COOLANT FLOW  
IN A SOLAR COLLECTOR MODEL****ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПОТОКЕ  
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА****Vazhanov A.G. / Бажанов А.Г.***s.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.***Glukhov S.N. / Глухов С.Н.***undergraduate of the department of thermal power systems /**магистрант кафедры теплоэнергетических систем**Mordovian State University, Saransk, Bolshevistskaya, 68, 430005**Мордовский государственный университет, Саранск, Большевикская, 68, 430005*

**Аннотация.** В настоящей работе была разработана экспериментальная модель солнечного коллектора. Экспериментальная установка позволяет реализовать работу солнечного коллектора, как в обычном, так и в импульсном режиме течения теплоносителя. Рассчитаны зависимости теплового потока от средней температуры и скорости потока теплоносителя, зависимости теплового потока от частоты гидравлического удара. Было установлено, что с увеличением частоты гидравлического удара, а также с увеличением тепловой мощности тепловой поток возрастает. По мере уменьшения скорости потока теплоносителя температура воды на выходе солнечного коллектора увеличивается.

Также был рассчитан коэффициент теплопередачи при стационарном и импульсном режимах потока теплоносителя. В результате установлено, что коэффициент теплопередачи солнечного коллектора в импульсном режиме на 10% больше, чем в стационарном режиме при исходных идентичных параметрах теплоносителя.

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, ударный узел, коэффициент теплопередачи.

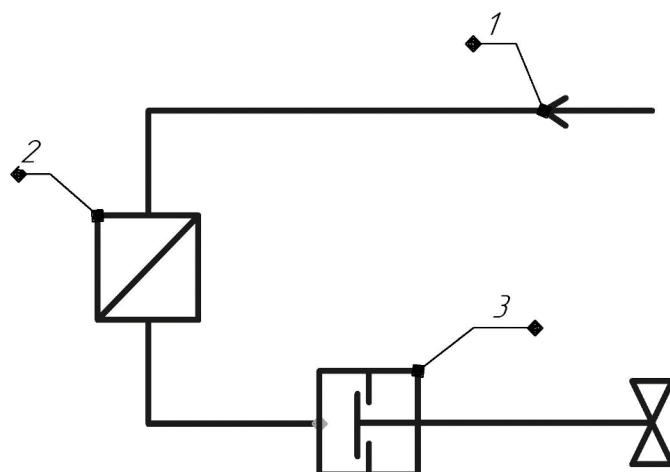
**Введение.**

Солнечные коллекторы нашли широкое применение в системах отопления, горячего водоснабжения. Компактность устройств позволяет устанавливать их на небольшой площади не только в коттеджном поселке, но и в офисе, школе, детском саду. Солнечные коллекторы на сегодняшний день являются наиболее эффективными устройствами для использования солнечной энергии. Если фотоэлектрические панели используют только 14-18% поступающей солнечной энергии, КПД солнечных коллекторов составляет 70-85%. Основной принцип работы заключается в том, что солнечные коллекторы улавливают тепловую энергию, концентрируют и направляют для использования человеком [1-3].

Один из способов повышения теплопередачи солнечного коллектора состоит в вовлечении в цепь ударного узла, благодаря которому стационарный режим потока теплоносителя преобразуется в импульсный поток. Это преобразование может улучшить ряд характеристик производительности: теплоемкость, коэффициент теплопередачи, давление [4-7].

**Эксперимент.**

Цель работы заключалась в разработке экспериментальной модели солнечного коллектора с возможностью работы коллектора, как в обычном, так и в импульсном режиме течения теплоносителя, а также расчете коэффициента теплопередачи при стационарном и импульсном режимах потока теплоносителя. Схема экспериментальной установки представлена на (рис.1, 2).



1 - клапан, 2 - теплообменник, 3 - ударный клапан

**Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки**

При открытии впускного клапана 1 вода начинает перемещаться по трубе и течет в теплообменник 2, а ее скорость увеличивается от 0 до некоторого устойчивого значения. Когда достигается определенная скорость потока воды, запорный клапан 3 активируется, и поток начинает замедляться, и кинетическая энергия потока преобразуется в потенциал. Накопление потенциальной энергии потока (заряда) будет зависеть от массы воды. Как только произойдет определенное накопление потенциальной энергии, она будет разряжена в виде обратной волны с гидравлическим ударом.

Ниже приведен внешний вид солнечного коллектора.



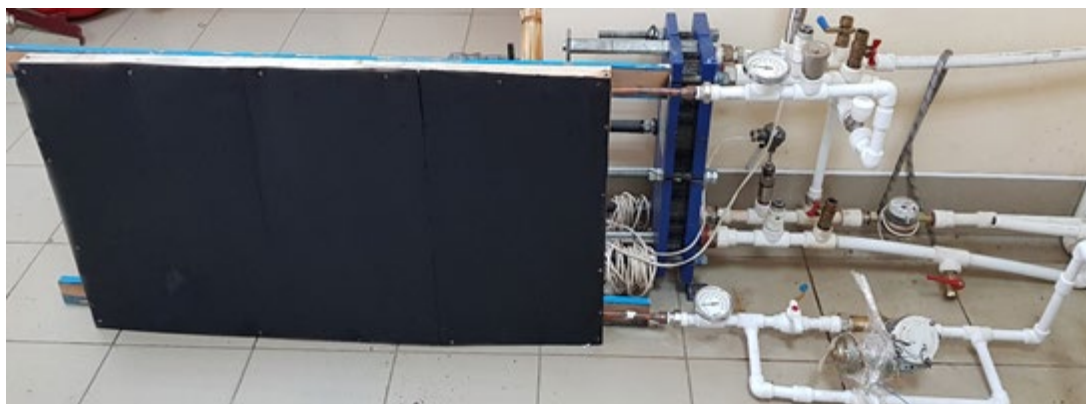
**Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки**

Дополнительное оборудование: инфракрасный обогреватель Centek СТ-6140, датчик температуры, расходомер.

В настоящей работе разработана полезная модель - ударный узел (рис. 3, 4). Он относится к области гидродинамики, гидравлики и машиностроения, где

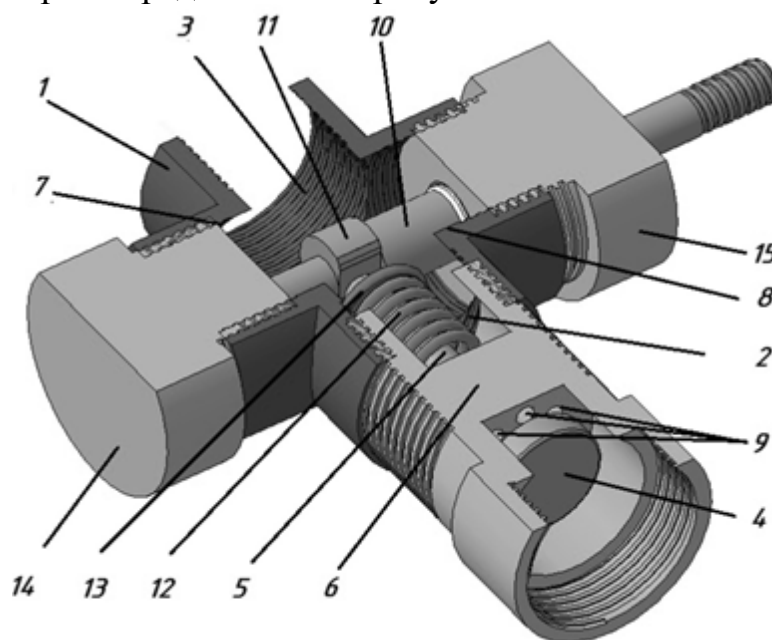


его можно использовать в устройствах различного назначения, использующих эффект гидравлического удара, а также в системах теплоснабжения, где его можно использовать для создания импульсного движения жидкости и интенсификации теплообмена [6, 7].



**Рис. 3. Внешний вид ударного узла**

Для создания пульсирующего потока рабочего тела, установлен ударный блок, чертеж которого представлен на рисунке 4.



**Рис. 4. Вид ударного узла в разрезе**

Ударный блок содержит полый корпус 1 с входным 2 и выходным 3 отверстиями для истечения рабочего тела. Ударный клапан 4, жестко закрепленный на штоке 5, установлен во втулке 6 с возможностью возвратно-поступательного движения. Два дополнительных коаксиальных отверстия 7 и 8 выполнены в полу корпуса 1. Втулка 6 выполнена со сквозными каналами 9 для истечения рабочего тела вдоль стержня 5.

Конструкция дополнительно содержит вал 10 с кулачком 11, пружина 12, стопорного кольца 13, центрирующей пробкой 14 и направляющей втулки 15. Втулка 6 жестко соединен с входом 2 полого корпуса 1.



Ударный клапан 4 расположен на входе рабочего тела в сквозные каналы 9 втулки 6. Пружина 10 установлена на штоке 5 и закреплена на нем стопорным кольцом 13 с выхода рабочего тела изчерез каналы 9 рукава 6.

Вал 10 установлен внутри полого корпуса 1 с возможностью вращательного движения, где один конец вала 10 вставлен в центрирующую заглушку 14, закрепленную в первом дополнительном отверстии 7 полого тела 1, а второй конец вала 10 может вращаться внутри полого тела 1 через направляющую втулку 15, установленную во втором дополнительном сквозном отверстии 8 полого тела 1. Кулачок 11 вала 10 соединен со стержнем 5 с возможностью преобразования его вращательно-скользящего движения в возвратно-поступательное движение стержня 5.

Ударный механизм работает таким образом, что свободный конец гильзы 6 сначала соединяется с источником (не указанным на чертеже) подачи рабочего тела, а выход 3 - с приемником (не указан на чертеже) рабочей среда. Вал 10 с наружной стороны полого тела 1 соединен с источником вращательного движения, который для того, чтобы иметь возможность контролировать частоту генерации импульсов величины движения рабочего тела, может изменять свою собственную скорость вращения. Например, это может быть электродвигатель, чья скорость вращения вала контролируется преобразователем частоты и т. д. Этот способ обеспечивает вращение вала 10 в центрирующей пробке 14, установленной в первом дополнительном отверстии 7 полого корпуса 1, и направляющей втулке 15, установленной во втором дополнительном отверстии 8 полого корпуса 1. Когда это происходит, вращение связано с валом 10 кулачка 11. После этого рабочая среда подается через полость тела 1 от источника до приемника.

Когда кулачок 11 вращается, обеспечивается возвратно-поступательное движение стержня 5 во втулке 6, а открытие и закрытие сквозных каналов 9 во втулке 6 осуществляется посредством ударного клапана 4, который жестко прикреплен к стержню 5. Закрытие ударного клапана 5 облегчается под воздействием пружины 12 на растяжение, который установлен на стержне 5 с помощью стопорного кольца 13, а также высокой скоростью напора рабочего тела. Таким образом, рабочее тело, поступающее во втулку 6, проходит через сквозные каналы 9 в открытом положении ударного клапана 4 и поступает на вход рабочего тела 2 полого корпуса 1, а затем покидает его через выпускное отверстие 3. При этом, в этом случае ускорение рабочего тела предусмотрено для последующего создания импульса величины его движения. В то время, когда пространственное положение кулачка 11 обеспечит возможность закрытия сквозных каналов 9 во втулке 6 ударным клапаном 4, произойдет гидравлический удар, энергия которого может быть использована в зависимости от применения ударного узла. После того как пространственное положение кулачка 11 при вращении вала 10 обеспечит последующее открытие сквозных каналов 9 во втулке 6 посредством ударного клапана 4, процесс генерации гидравлического удара будет повторяться в последовательности, описанной выше.



### Результаты и их обсуждение.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что с увеличением времени нагрева разность температур на входе и выходе из коллектора возрастает (рис. 5, 6). Причем разность температур при импульсном способе течения теплоносителя на 14% превышает разность температур при стационарном способе. Ниже приведены графики зависимости температуры от времени при 2 режимах с различными скоростями потока. Установлено, что с уменьшением скорости потока в 3.5 раза разность температур при импульсном способе течения теплоносителя возрастает в 2.5 раза, а при стационарном – в 1.3 раза.

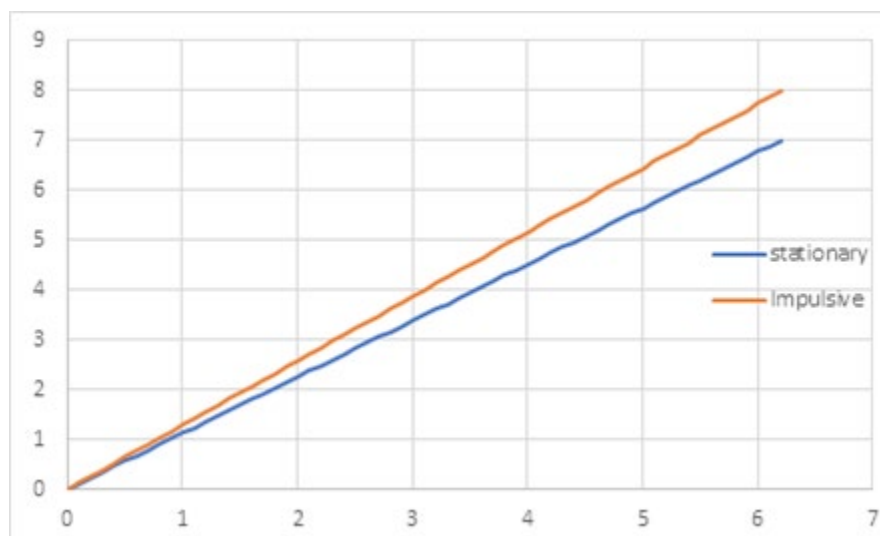


Рис. 5. График разности температур от времени при заданной скорости потока 0,027 л / с

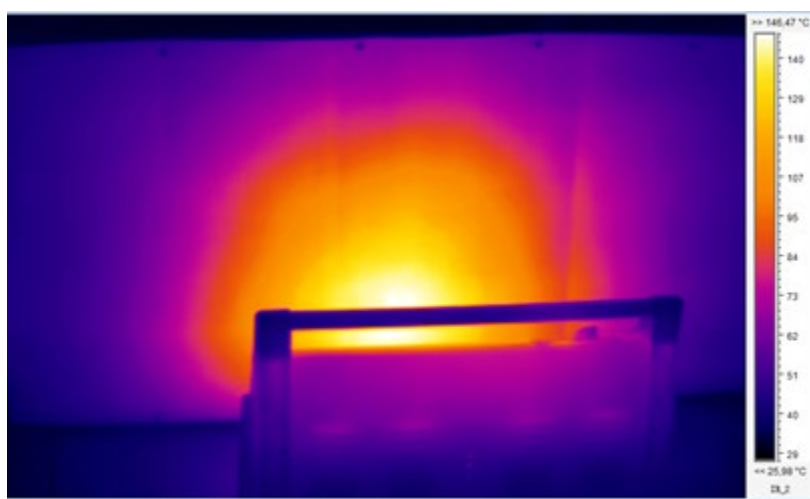


Рис. 6. График разности температур от времени при заданной скорости потока 0,008 л / с

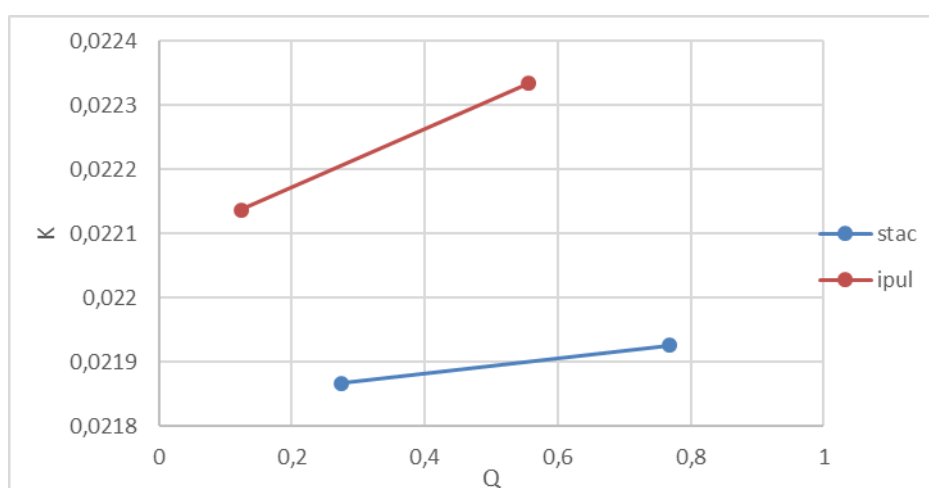
В работе, используя закон Ньютона – Рихмана, проведен расчет коэффициента теплопередачи солнечного коллектора при ламинарном и импульсном течении теплоносителя с разными расходами (рис. 7, 8):

$$Q = K \cdot (t_{нов} - t_{тепл.}) \cdot F$$

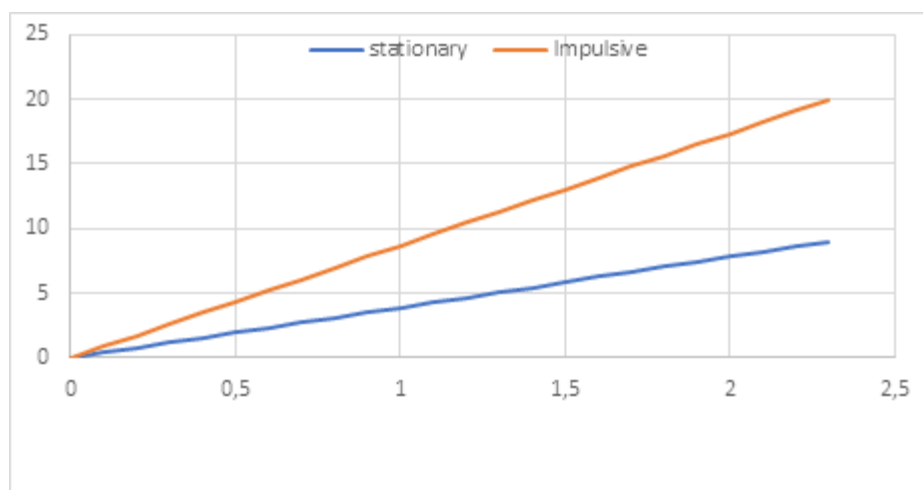


$F$  - площадь поверхности коллектора при данной температуре,  $Q$  - мощность нагрева обогревателя,  $t_{нов}$  - температура на поверхности коллектора, определяемая при помощи тепловизора,  $t_{средн} = (t_{вх} + t_{вых})/2$  - средняя температура теплоносителя,  $t_{вх}$  - температура теплоносителя на входе в коллектор,  $t_{вых}$  - температура теплоносителя на выходе из коллектора,  $K$  - коэффициент теплопередачи солнечного коллектора.

В результате установлено, что коэффициент теплопередачи солнечного коллектора в импульсном режиме на 10% больше, чем в стационарном режиме при исходных идентичных параметрах теплоносителя (рис. 8).



**Рис. 7. Поверхность нагрева солнечного коллектора при ламинарном движении при скорости потока 0,027 л / с**



**Рис. 8. Зависимость коэффициента теплопередачи от расхода при 2 режимах течения теплоносителя**

#### Закключение и выводы.

Разработана функциональная схема лабораторной установки с импульсной подачей теплоносителя в солнечный коллектор.

Разработана экспериментальная модель солнечного коллектора. Предложен метод увеличения теплообмена в солнечном коллекторе.



Экспериментальная установка позволяет реализовать работу солнечного коллектора, как в обычном, так и в импульсном режиме течения теплоносителя.

Разработана математическая модель тепловой схемы солнечного коллектора на основе энергетической цепи. Рассчитаны фазо-частотные и амплитудно-частотные характеристики энергетического контура солнечного коллектора.

Рассчитаны зависимости теплового потока от средней температуры и скорости потока теплоносителя, зависимости теплового потока от частоты гидравлического удара. Было установлено, что с увеличением частоты гидравлического удара, а также с увеличением тепловой мощности тепловой поток возрастает.

По мере уменьшения скорости потока теплоносителя температура воды на выходе солнечного коллектора увеличивается.

Также был рассчитан коэффициент теплопередачи при стационарном и импульсном режимах потока теплоносителя. В результате установлено, что коэффициент теплопередачи солнечного коллектора в импульсном режиме на 10% больше, чем в стационарном режиме при исходных идентичных параметрах теплоносителя.

По результатам работы предложено использовать метод импульсной подачи теплоносителя в качестве одного из способов увеличения теплопередачи солнечных коллекторов.

#### Литература:

1. Галицейский Б.М., Рыжов Ю.А., Якуш Е.В. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках. М.: «Машиностроение», 1978.

2. Гонейм А.А., Оптимизация производительности солнечного коллектора, оснащенного различными конструкциями сотовой ячейки с квадратными ячейками. Int. J. of Thermal Science. 44 (2005) p. 95-105.

3. Костенюк В.В. Математическая модель полимерного солнечного коллектора // Техника холодильной техники. - 2010. - №8. - С. 34-40.

4. Левцев А.П., Импульсные системы теплоснабжения и водоснабжения. Саранск: изд-во Мордов. университета, 2015. - 172 с. Левцев А.П., Макеев А.Н., Макеев Н.Ф., Норватов Ю.А., Галянин А. Обзор и анализ конструкций ударных клапанов для создания гидравлического удара // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - №2. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20925>

6. Левцев А.П., Кудашев С.Ф., Макеев А.Н., Лысяков А.И. Влияние импульсного режима течения теплоносителя на коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменнике системы горячего водоснабжения // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 2. [www.science-education.ru/116-12664](http://www.science-education.ru/116-12664).

*Abstract. In this work, an experimental model of a solar collector was developed. The experimental setup makes it possible to realize the operation of the solar collector, both in the usual and in the pulsed regime of the coolant flow. The dependences of the heat flux on the average temperature and flow rate of the coolant, the dependence of the heat flux on the frequency of water*



*hammer are calculated. It was found that with an increase in the frequency of water hammer, as well as with an increase in thermal power, the heat flux increases. As the flow rate of the coolant decreases, the water temperature at the outlet of the solar collector increases.*

*The heat transfer coefficient was also calculated for stationary and pulsed modes of the coolant flow. As a result, it was found that the heat transfer coefficient of the solar collector in the pulsed mode is 10% higher than in the stationary mode with the initial identical parameters of the coolant.*

**Key words:** *solar collector, shock unit, heat transfer coefficient*

Статья отправлена: 29.10.2020 г.

© Бажанов А.Г.