

## ***ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОТДАЧИ МАКЕТА ЖИДКОСТНОЙ ОБОГРЕВАЕМОЙ ПАНЕЛИ***

***Аксяитов А.Ш.***

*магистр по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»*

*Мордовский государственный университет*

*Саранск, Россия*

***Кузнецов Д.В.***

*к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетических систем*

*Мордовский государственный университет*

*Саранск, Россия*

**Аннотация:** В статье описывается исследование работы макетного образца жидкостной обогреваемой панели с целью повышения ее коэффициента теплоотдачи. Приведена схема лабораторной установки, имитирующей контур с импульсной циркуляцией теплоносителя через макетный образец панели. Представлены результаты экспериментальных исследований зависимости количества передаваемого тепла от температуры нагрева макета, а также времени нагрева образца при стационарном и импульсном режимах движения теплоносителя.

**Ключевые слова:** Жидкостная обогревая панель, интенсификация теплоотдачи, импульсный режим, ударный узел, количество тепла, расход теплоносителя, температура.

## ***HEAT TRANSFER INTENSIFICATION OF A PROTOTYPE OF A LIQUID HEATED PANEL***

***Aksyaitov A.Sh.***

*master's degree in the direction «Heat power and heat engineering»*

*Mordovia State University,*

*Saransk, Russia*

***Kuznetsov D.V.***

*PhD in Technical science, associate professor department of heat power engineering systems*

*Mordovia State University*

*Saransk, Russia*

**Annotation:** The article describes the study of the prototype of a liquid heated panel in order to increase its heat transfer coefficient. A laboratory setup diagram simulating a circuit with pulsed coolant circulation through a prototype panel is shown. The results of experimental studies of the dependence of the amount of heat transferred on the heating temperature of the layout, as well as the heating time of the sample under stationary and pulsed modes of motion of the coolant are presented.

**Keywords:** Liquid heating panel, heat transfer intensification, pulse mode, shock unit, quantities of heat, coolant flow, temperature.

В России и в мире неуклонно растёт потребление энергии, прежде всего, это связано с обеспечением теплом инженерных систем зданий и сооружений. Решение задач экономного использования тепловой энергии на всех этапах становится все более актуальным и значимым по всей стране.

Основными среди теплотрат здания являются затраты на отопление. Отопление – искусственное, создаваемое с помощью специальных устройств или систем, обогревание помещений с целью компенсации тепловых потерь и поддержание температур на заданном уровне, определяемом условиями комфортного пребывания и жизнедеятельности людей [8].

Системы отопления зданий и сооружений уже многие десятилетия являются объектами анализа, проектирования и усовершенствования, но с появлением новых конструкционных материалов и оборудования, расширения специфических функций систем отопления всегда есть необходимость исследования нововведений, в том числе при внедрении автономных систем.

Разумным решением некоторых проблем отопления является грамотное использование систем жидкостных обогреваемых панелей. Чаще всего это водяное панельное отопление, представляющее собой систему трубопроводов с горячей водой под стеной или напольным покрытием.

Система теплых стен имеет большой потенциал для развития. Дополнительно рассматривая механизм импульсного режима движения теплоносителя в системах, мы можем получить значительное повышение КПД и снижение экономических затрат на очистку трубопровода от шлакования.

Сочетание инновационных решений по теплоснабжению, различных современных материалов и импульсного потока теплоносителя в совокупности дают положительный результат и являются отличной платформой для дальнейших исследований.

Существуют различные методы повышения коэффициента теплоотдачи. Среди них выделяют активные и пассивные методы.

Пассивные методы не требуют дополнительных затрат в энергоснабжении, что позволяет уделять им больше внимания.

Результаты исследований показывают, что сопротивление пограничного слоя является главным фактором, снижающим интенсивность теплопередачи [2]. Для интенсификации теплообмена иногда используют турбулизаторы, разрушающие пограничный слой теплоносителя на наружной поверхности трубы. Применение кольцевых канавок позволяет существенно повышать эффект теплоотдачи от наружной поверхности и интенсифицировать теплообмен в межтрубном пространстве [3]. Параметры турбулизации выбираются для наиболее типичного режима работы теплоотдающей поверхности. Практически для всех интенсификаторов эффективность их применения лежит в достаточно узком диапазоне чисел Рейнольдса [4].

В случае ламинарных и переходных режимов течения теплоносителя значительно увеличить коэффициент теплоотдачи возможно применением канальных змеевиков.

Невозможность корректировки для каждого режима течения теплоносителя является существенным недостатком при использовании пассивных методов повышения коэффициента теплоотдачи.

Активные методы повышения коэффициента теплоотдачи лишены указанных недостатков. Использование того или иного активного метода определяется возможностью его применения в конкретной теплоотдающей поверхности.

Создание пульсаций потока является одним из универсальных способов увеличения коэффициента теплопередачи.

Использование импульсного режима течения теплоносителя в системе положительно сказывается на работе установки в целом. При применении импульсного режима течения теплоносителя одновременно можно ожидать несколько эффектов – увеличение коэффициента теплопередачи потока в зависимости от расхода, частоты и амплитуды пульсаций, самоочищение поверхностей теплопередачи [1; 5].

Нами была разработана функциональная схема экспериментальной установки, представленная на рисунке 1.

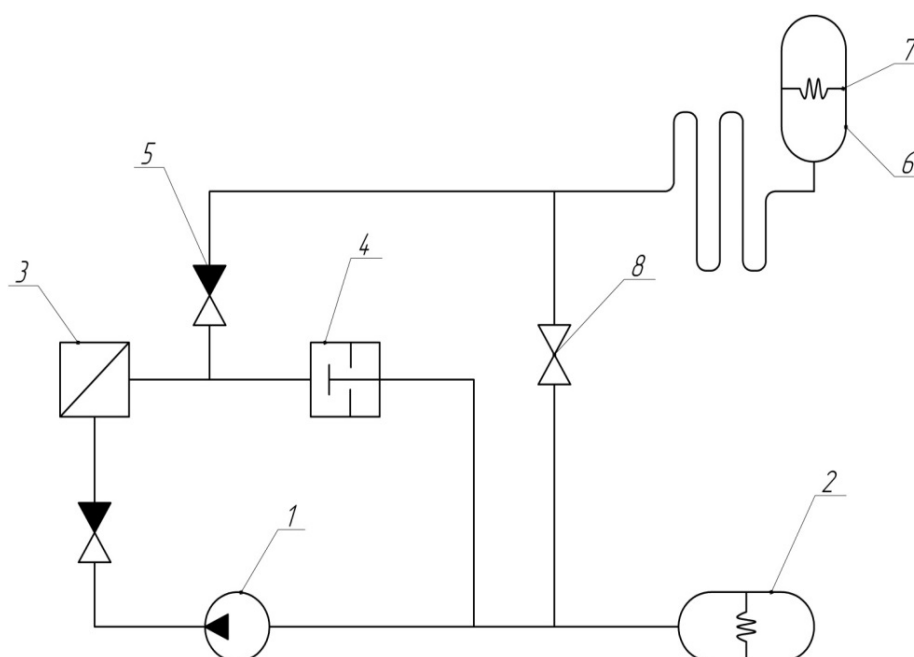


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

[разработано автором]:

1 – насос; 2, 7 – гидроаккумулятор; 3 – теплообменник; 4 – ударный клапан;  
5 – обратный клапан; 6 – датчик давления; 8 – клапан

При включении насоса 1 он начинает поглощать жидкость из аккумулятора 2 и перекачивать ее в теплообменник. Далее поток воды направляется на ударный клапан 4. При достижении определенного расхода клапан 4 закрывается. Далее обратная волна потока воды пойдет по направлению к обратному клапану 5. В результате вода будет поступать в аккумулятор 6 небольшими импульсами. При достижении определенного количества воды в аккумуляторе 7 срабатывает датчик 6, после чего в результате его работы срабатывает клапан 8.

Одним из элементов экспериментальной установки является ударный узел (пульсатор). Ударный узел относится к области гидродинамики, гидравлики, машиностроения, а также к теплоснабжению, где может быть использовано для создания импульсного режима движения жидкости применительно к интенсификации теплообмена в теплоэнергетических установках [6].

Применяемый в схеме установки пульсатор содержит корпус с входным и выходным отверстиями и ударный клапан. Рабочий процесс ударного клапана может быть выполнен с ускорением потока жидкости, что обуславливает необходимость применения в составе ударного узла механизма, выходное звено которого должно двигаться по заданному закону, согласованному с движением механизма клапана [7]. Наиболее простым и компактным для выполнения данной задачи является кулачковый механизм (рисунок 2).

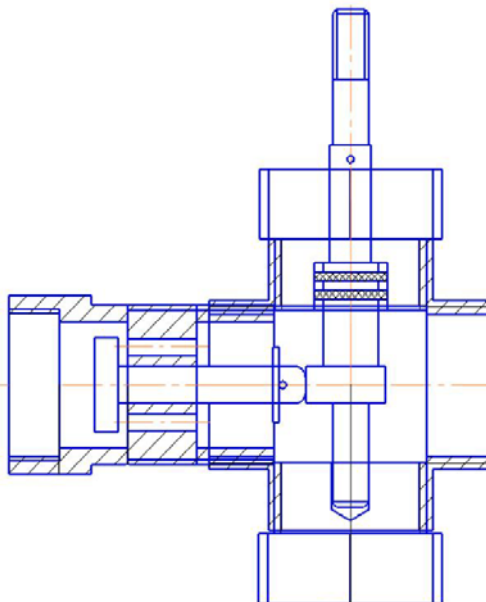
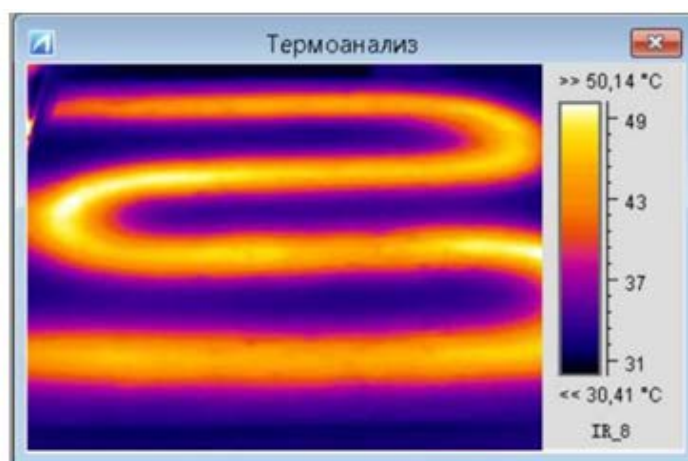


Рис. 2. Схема ударного клапана с кулачковым механизмом привода  
[разработано автором]

На рисунке 3 представлены фото макетного образца жидкостной обогреваемой панели и одна из термограмм исследования температуры наружной поверхности панели, полученной при помощи портативного тепловизора SDS.



а)



б)

Рис. 3. Макетный образец обогреваемой панели (а) и ее термоанализ (б)  
[разработано автором]

Для обработки данных, полученных с помощью тепловизора SDS, использовался программный пакет SatirReportSTD. SatirReportSTD это программа для профессионального анализа инфракрасных изображений. Инструмент программы обеспечивает всестороннюю среду для профессиональной термографии, позволяя создавать детальный анализ. С помощью этой программы были визуализированы термограммы.

Для измерения температуры входа и выхода теплоносителя в обогреваемую панель применяли микропроцессорный измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ200 с датчиками ТПП.

Для измерения расхода в гидравлической сети применялось сужающее устройство (расходомерная шайба). Параметры расходомерного устройства определялись экспериментально. Для измерения расхода была изготовлена диафрагма с внутренним диаметром отверстия 2,0 мм. Измерительный комплекс был встроен в контур экспериментальной установки, диаметр трубопровода в месте установки измерительного комплекса - 15 мм.

Приведем результаты экспериментальных исследований с прототипом модели системы теплых стен.

Количество тепла  $q$ ,  $кВт$ , отдаваемого водой в макетном образце системы теплых стен, определяем по формуле:

$$q = cG(t_{ex} - t_{вых}),$$

где  $c$  – теплоемкость воды  $кДж/(кг \cdot K)$ ;

$G$  – расход потока,  $кг/с$ ;

$t_{ex}$  – температура подачи воды в систему теплых стен,  $^{\circ}C$ ;

$t_{вых}$  – температура воды, выходящей из системы теплых стен,  $^{\circ}C$ .

$$q = 4,179 \cdot 0,145(51,5 - 40,8) = 6,49 \text{ кВт}.$$

Результаты проведенного эксперимента при стационарном и импульсном режиме течения теплоносителя представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

Температура воды на входе $t_{вх}$ , °C		Температура воды на выходе $t_{вых}$ , °C		Температура панели $t_{ст}$ , °C		Время нагрева $\tau$ , с		Количество отдаваемого тепла $q$ , кВт	
Расход $G=0,145$ кг/с									
Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.
51,5	51,5	40,8	42,1	25	25	0	0	6,48	5,7
51,5	51,5	44	45,8	30	30	288	300	4,5	3,4
51,5	51,5	47	47,9	35	35	900	1050	2,7	2,19
51,5	51,5	49,7	49,9	40	40	3204	3792	1,09	0,97
Расход $G=0,18$ кг/с									
Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.
51,5	51,5	43,8	44,5	25	25	0	0	5,8	5,2
51,5	51,5	46,2	47,2	30	30	282	294	3,46	3,24
51,5	51,5	48,3	48,9	35	35	738	900	2,41	1,95
51,5	51,5	50,1	50,2	40	40	3000	3300	1,05	0,98
Расход $G=0,21$ кг/с									
Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.	Имп.	Стац.
51,5	51,5	45,4	46	25	25	0	0	5,36	4,83
51,5	51,5	47,6	47,7	30	30	240	294	3,42	3,34
51,5	51,5	49,2	49,5	35	35	648	792	2,02	1,75
51,5	51,5	50,2	50,3	40	40	2340	2694	1,14	1,05

По результатам эксперимента были построены зависимости.

На рисунке 4 представлена зависимость количества отдаваемого тепла в макетном образце жидкостной обогреваемой панели от ее температуры при импульсном и стационарном течении теплоносителя и различном его расходе.

На рисунке 5 изображен график времени нагрева макета жидкостной обогреваемой панели до определенной температуры при импульсном и стационарном течении теплоносителя и двух режимах его расхода.



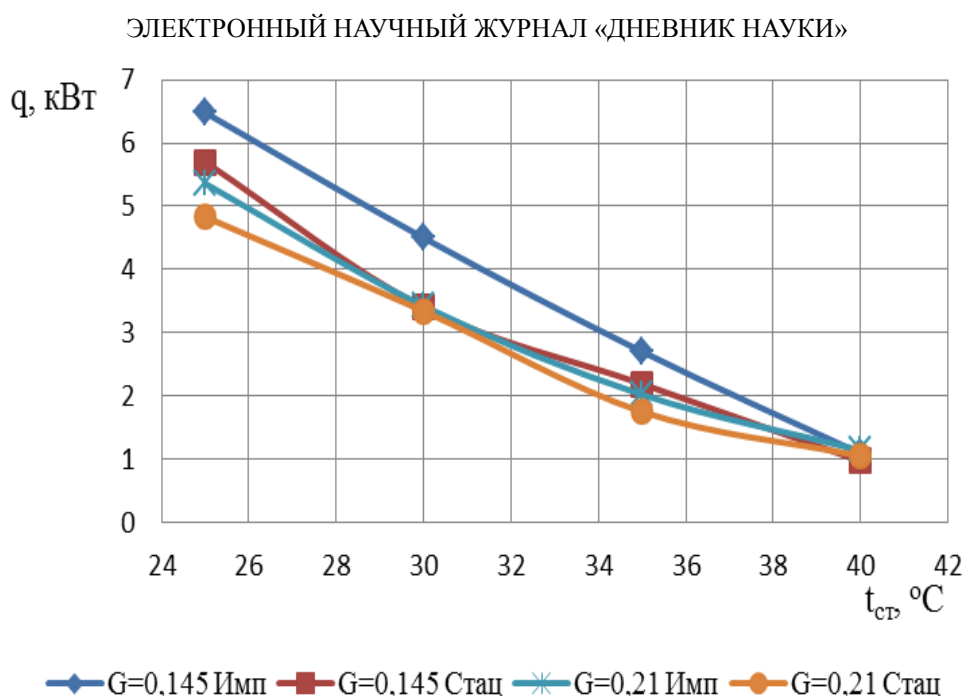


Рис. 4. Зависимость количества передаваемого тепла от температуры нагрева макета жидкостной обогреваемой панели [разработано автором]

Как видно из графика, с увеличением температуры стенки передаваемое количество тепла, отдаваемого нагреваемой водой имеет тенденцию к уменьшению. Это связано с тем, что менее нагретое тело, потребляет большее количества тепла, чем более нагретое. Стоит также отметить, что при одной той же температуре, сравнивая стационарный режим и режим работы установки с ударным узлом, можно сказать, что гидроудар способствует более интенсивной теплоотдаче, тем самым передавая большее количество тепла, чем при стационарном режиме работы. При равных скоростях потока гидроудар способствует более интенсивному теплообмену.

Режим наибольшего расхода теплоносителя в системе не всегда является целесообразным, все зависит от преследуемых целей, и если перед системой теплых стен стоит задача повышения энергоэффективности за счет увеличения теплопередачи, то следует рассмотреть возможность уменьшения теплопотребления системы путем применения импульсного режима течения теплоносителя.

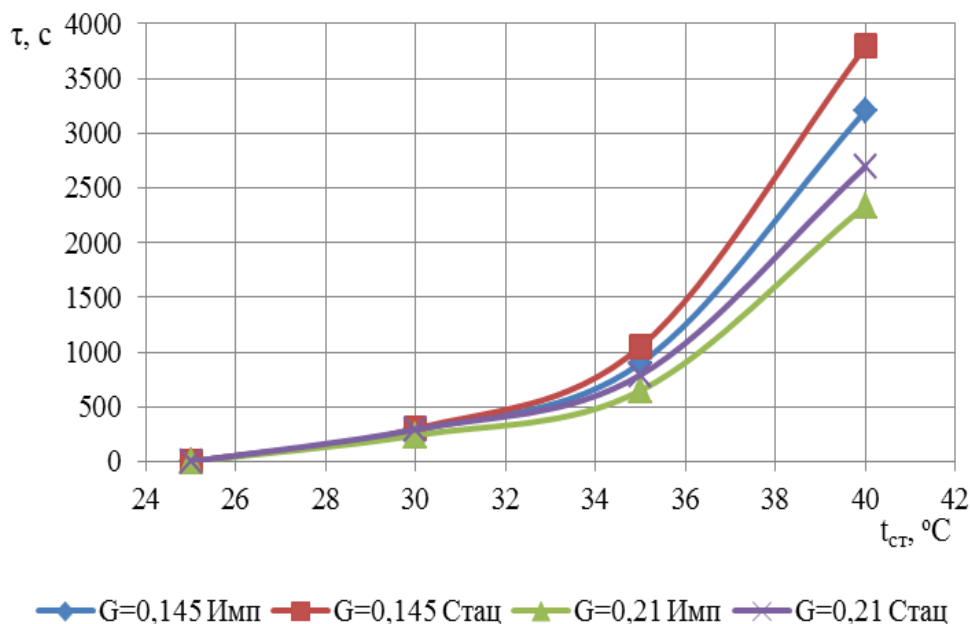


Рис. 5. Время, необходимое для нагрева макета жидкостной обогреваемой панели до определенной температуры [разработано автором]

Установлено, что при одинаковых энергетических затратах в макетном образце теплых стен при наличии в схеме гидравлического удара нагрев панели до температуры 40 градусов происходит значительно быстрее, чем без гидравлического удара. Гидравлический удар помогает системе быстрее достичь желаемой температуры. Так же следует обратить внимание на то, что увеличение расхода теплоносителя уменьшило время, необходимое для макета тепловой стены.

На основании экспериментальных данных можно сделать вывод, что представленная система может значительно увеличить скорость нагрева жидкостной панели, а также снизить энергозатраты на нагрев.

#### Библиографический список:

1. Галицей Б.М. Тепловые и гидродинамические процессы в колебательных потоках / Б.М. Галицей, Ю.А. Рыжов, Е.В. Якуш. – М.: Машиностроение, 1977. - 256 с.

2. Горшенин А.С. Методы интенсификации теплообмена: учеб. пособие / А.С. Горшенин. Самара. Самар. гос. техн. ун-т, 2009. - 82 с.: ил.

3. Интенсификация теплообмена: учеб. пособие / [В.Н. Белозерцев и др.]. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018 – 208 с.: ил.
4. Ларин Н.С. Теплотехника. Раздел «Теплопередача» : учеб. пособие / Н.С. Ларин, Д.В. Кузнецов. - Саранск: Тип. «Рузаевский печатник», 2013. - 68 с.
5. Левцев А.П. Импульсные системы тепло- и водоснабжения: монография / А.П. Левцев, А.Н. Макеев: под общ. ред. д-ра техн. наук проф. А.П. Левцева. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. - 172 с.
6. Левцев А.П., Макеев А.Н., Макеев Н.Ф., Нарватов Я.А., Голянин А.А. Обзор и анализ основных конструкций ударных клапанов для создания гидравлического удара // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - № 2-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23253>
7. Наумкин Н.И. Теория механизмов и машин и ее приложение в АПК: учебник / Н.И. Наумкин, Н.В. Раков, В.Ф. Купряшкин; под общ. ред. П.В. Сенина, Н.И. Наумкина. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. - 220 с.
8. Сканави А.Н. Отопление: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство» / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. - М.: АСВ, 2002. - 576 с.

*Оригинальность 81%*