


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт механики и энергетики
Кафедра теплоэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой
д-р техн. наук, проф.


А.П.Левцев
(подпись)

«___» _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**ГИДРОАККУМУЛЯТОР С ИМПУЛЬСНЫМ ПОДОГРЕВОМ ГОРЯЧЕЙ
ВОДЫ**

Автор магистерской диссертации



М.П.Могдарев

Обозначение магистерской диссертации МД-02069964-13.04.01-06-18

Направление 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Руководитель работы

д-р техн. наук, проф.



А.П.Левцев

Нормоконтролер

ст. преподаватель

18.06.18 

А.И.Лысяков

Рецензент

д-р. техн. наук, проф.



А.В.Котин

Саранск

2018

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт механики и энергетики
Кафедра теплоэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

д-р техн. наук, проф.


А.П. Левцев
(подпись)

«19» 10 2016г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
(в форме магистерской диссертации)

Студент: Могдарев Михаил Петрович

1 Тема: Гидроаккумулятор с импульсным подогревом горячей воды

Утверждена приказом № 8810-с от 19.10.2016 г.

2 Срок представления работы к защите 27.06.2018 г.

3 Исходные данные для научного исследования: техническая документация, диссертационные работы, статьи, СНиПы, ГОСТы, РД.

4 Содержание выпускной квалификационной работы

4.1 Обзор и анализ существующих вентиляционных систем

4.2 Теоретические предпосылки

4.3 Экспериментальная установка

4.4 Экспериментальные исследования

Руководитель работы

подпись, дата инициалы, фамилия



Задание принял к исполнению



подпись, дата

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 80 листов, 9 таблиц, 29 рисунков, 20 использованных источников.

ГИДРОАККУМУЛЯТОР, ТЕПЛООБМЕНИК, УДАРНЫЙ УЗЕЛ,
ЭЛЕКТРОПРИВОД, ИМПУЛЬСНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ, ИЗМЕРЕНИЕ,
ТЕМПЕРАТУРА.


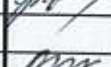


Объектом разработки является сравнительная оценка теплопередачи емкостного теплообменника в традиционном (с неподвижным) и колеблющимся змеевиком..

Цель работы –повышение энерго эффективности емкостного теплообменника на основе создания колебаний поверхности теплопередачи за счет включения ее в контур с импульсной циркуляцией теплоносителя.

В процессе работы проводилось теоретические и экспериментальные исследования емкостного теплообменника.

В результате проведенной работы:

- разработана математическая модель опытной установки;
- разработана функциональная схема лабораторной установки;
- предложена новая конструкция емкостного теплообменника с конусной теплопередающей поверхностью;
- изготовлена экспериментальная установка емкостного теплообменника и проведены испытания;
- получены новые экспериментальные зависимости температуры от времени нагрева при различных частотах прерывания потока греющего теплоносителя.

МД-02069964-13.04.01-06-18				
	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изд.		Могдарев М.П.		
Испр.		Левцев А.П.		
Контр.		Лысяков А.И.		
Исполн.		Левцев А.П.		
Гидроаккумулятор с импульсным подогревом горячей воды			Лит. Лист Листов	
Пояснительная записка			3 80	
ИМЭ, каф. ТЭС, д/о, 213 гр				

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Обзор и анализ видов теплообменников и их конструкций	7
1.1 Общие сведения о теплообменниках.	7
1.2 Существующие способы повышения теплопередачи в емкостных теплообменниках.	8
1.2.1 Емкостной теплообменник содержащий завихрители внутри греющего контура.	8
1.2.2 Емкостной теплообменник с генератором механических колебаний.	12
1.2.3 Использование магниевого анода в емкостном теплообменнике.	14
1.2.4 Емкостной теплообменник содержащий периодические кольцевые выступы на внутренней поверхности теплообменного элемента.	23
1.2.5 Емкостной теплообменник с гидромеханическим преобразователем.	26
1.3 Моделирования колебательных процессов в емкостном теплообменнике.	29
1.4 Цели и задачи исследования	30
2 Теоритические сведения	32
2.1 Разработка математической модели.	33
2.2 Расчет водяного гидроаккумулятора.	40
3 Экспериментальная установка.	45
3.1 Разработка функциональной схемы лабораторной установки.	45
3.2 Выбор методов и средств измерения.	54
3.2.1 Согласующее устройство.	54
3.2.2 Первичный измерительный расхода в греющем контуре	55
3.2.3 Первичный измерительный преобразователь температуры	56

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в схемах горячего водоснабжения (ГВС) все чаще стали использовать схемы с гидроаккумулятором, а при небольших нагрузках емкостные теплообменники. Применение таких схемных решений в системе ГВС позволяет снизить затраты более чем в 2 раза при повышении качества их работы.

Проблемой для большинства водонагревателей косвенного нагрева является низкий коэффициент теплопередачи между двумя поверхностями, а именно между стенкой змеевика, в которой циркулирует горячая вода из системы отопления с температурой порядка 65-70° С и нагреваемой водой в баке, поступающей из системы холодного водоснабжения. Вода нагреваемая от змеевика путем конвекции поднимается в верх бака, в замен которой опускается холодная вода, вытесняемая теплой, и процесс начинается сначала. Весь процесс относительно медленный из за чего вода нагревается не равномерно и относительно долго.

Для решения этой проблемы устанавливают циркуляционный насос и вносят некоторые изменения в конструкцию водонагревателя, но из за этого повышаются затраты на электроэнергию и требуется значительное изменение конструкции водонагревателя. Одним наиболее рациональным решением данной проблемы не требующей внесения больших изменений в конструкцию водонагревателя и дополнительной оплаты за электроэнергию, является создание колебаний греющей поверхности контура водонагревателя и создание возможности вращения змеевика. Колебания змеевика водонагревателя можно создать путем прерывания потока греющего теплоносителя. В результате колебаний змеевика увеличится конвекция между стенками змеевика и нагреваемой водой, что приведет к увеличению теплоотдачи от поверхности змеевика с нагреваемой водой и в итоге уменьшит время нагрева более чем в 2 раза.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 Обзор и анализ видов теплообменников и их конструкций

1.1 Общие сведения о теплообменниках

Конкретных решений теплообменников множество. Все они создаются для конкретных сред, условий и режимов работы, но у всех есть общие признаки, которые их объединяют.

По принципу действия теплообменники подразделяются на рекуператоры и регенераторы. В рекуператорах движущиеся теплоносители разделены стенкой. К этому типу относится большинство теплообменников различных конструкций. В регенеративных теплообменниках горячий и холодный теплоносители контактируют с одной и той же поверхностью поочередно. Теплота накапливается в стенке при контакте с горячим теплоносителем и отдаётся при контакте с холодным, как, например, в кауперах доменных печей.

Теплообменники применяются в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, атомной, холодильной, газовой и других отраслях промышленности, в энергетике и коммунальном хозяйстве.

От условий применения зависит конструкция теплообменника. Существуют аппараты, в которых одновременно с теплообменом протекают и смежные процессы, такие как фазовые превращения, например, конденсация, испарение, смешение. Такие аппараты имеют свои наименования: конденсаторы, испарители, градирни, конденсаторы смешения.

В зависимости от направления движения теплоносителей рекуперативные теплообменники могут быть прямоточными при параллельном движении в одном направлении, противоточными при параллельном встречном движении, а также при взаимно поперечном движении двух взаимодействующих сред. [8]

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Изобретение относится к теплообменной аппаратуре и может быть использовано в энергетической, химической, металлургической и горной промышленности.

Известно, что в конвективных теплообменниках каналы для прохода горячего и холодного рабочих тел чаще всего выполнены в виде гладкостенных труб. При течении загрязненной жидкости на внутренних стенках канала оседают взвешенные вещества, что ухудшает теплообмен.

Для решения поставленной задачи в теплообменнике, включающем каналы для рабочих сред, завихрители, установленные равномерно с шагом t по длине трубы, наклонные лопасти дополнительно снабжены дискретными турбулизаторами в виде кольцевых проволочных стержней, размещенных на оконечностях лопастей и плотно примыкающих к внутренней стенке трубы, при этом отношение диаметра стержня турбулизатора к внутреннему диаметру трубы $d/D = 0,06 - 0,08$, а шаг завихрителя $t = (5 - 7)D$, где D - внутренний диаметр трубы.

Дискретные турбулизаторы, размещенные на оконечностях наклонных лопастей и плотно примыкающие к внутренней стенке трубы, с отношением диаметра стержня турбулизатора к внутреннему диаметру трубы $d/D = 0,06 - 0,08$, и завихрители, установленные с шагом t , определяемым из соотношения $t = (5 - 7)D$, где D - внутренний диаметр трубы, еще больше закручивают поток в пристеночном слое, что позволяет значительно уменьшить отложения взвешенных веществ на внутренних стенках трубы при работе на загрязненных средах и увеличить коэффициент теплопередачи через стенку, отделяющую холодный поток от горячего.

На рисунке 1.1 изображен продольный разрез теплообменника, где t - шаг завихрителя, D - внутренний диаметр трубы, d - диаметр стержня турбулизатора; на рисунке 1.2 - поперечный разрез.

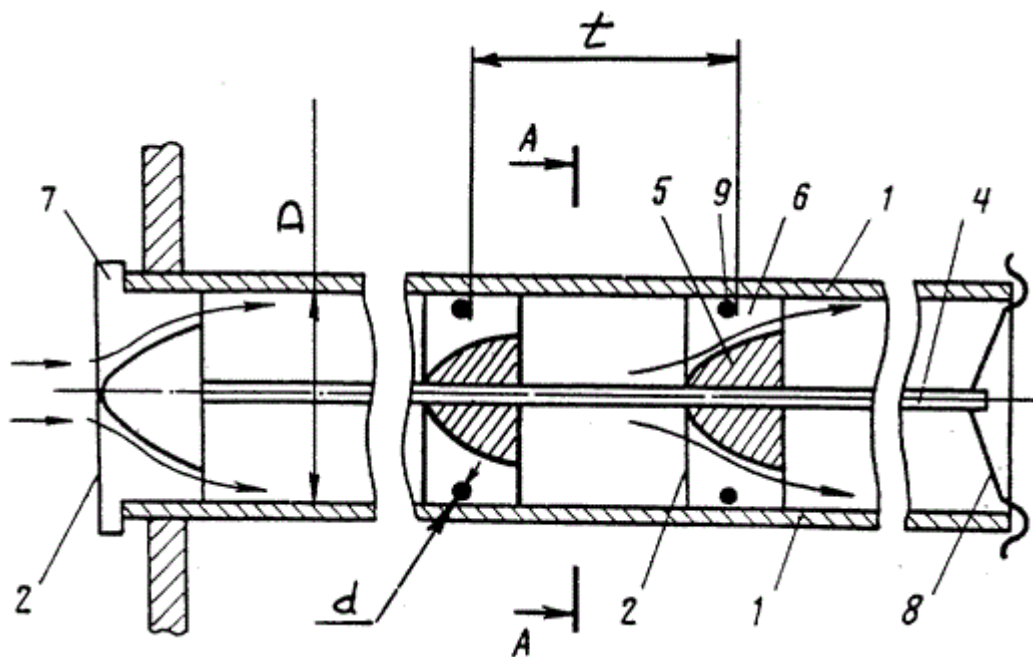


Рисунок 1.1 – Емкостной теплообменник содержащий завихрители внутри греющего контура

Теплообменник содержит трубы 1, завихрители 2, установленные с шагом t по длине трубы, определяемым из соотношения $t = (5 - 7)D$, где D - внутренний диаметр трубы, наклонные лопасти 3. Завихрители 2 с наклонными лопастями 3 укреплены на центральном стержне 4 посредством обтекателей 5. Обтекатели 5 образуют со стенками трубы 1 суживающиеся каналы 6. Стержень 4 закреплен в трубе 1 при помощи выступов 7 первого завихрителя 2 на входе и скобы 8 на выходе. Наклонные лопасти 3 дополнительно снабжены дискретными турбулизаторами 9 в виде кольцевых проволоочных стержней, размещенных на оконечностях лопастей и плотно примыкающих к внутренней стенке трубы, при этом отношение диаметра стержня к внутреннему диаметру трубы $d/D = 0,06 - 0,08$.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

10

пределение нагрузки на конструкцию теплообменника при механических колебаниях, вызванных генератором.

На рисунке 1.3 изображена схема спирального теплообменника.

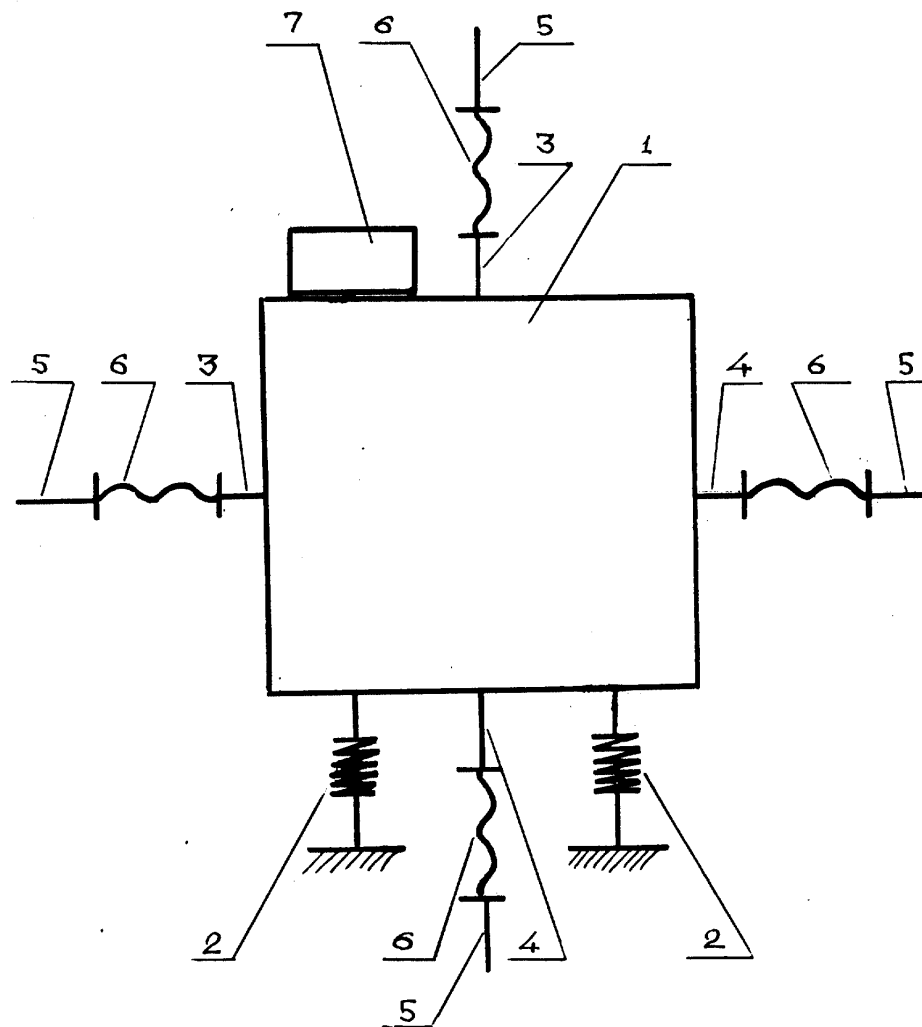


Рисунок 1.3 - Емкостной теплообменник с генератором механических колебаний

Корпус 1 спирального теплообменника установлен на подпружиненные опоры 2, входные 2 и отводящие 4 патрубки подсоединены к трубопроводу 5 посредством гибких гофрированных шлангов 6. Сверху на корпусе 1 теплообменника установлен генератор механических колебаний 7 с регулируемой частотой колебаний.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

13

сгорания топлива проходят внутри стальных труб, а вода и пароводяная смесь - снаружи этих труб. В водотрубном котле продукты сгорания топлива проходят снаружи стальных труб, а вода, пароводяная смесь и пар движутся внутри этих труб. В этом случае поверхностью нагрева является поверхность стальных труб, находящаяся в контакте с водой. Согласно этим определениям внешняя поверхность оболочки трубчатого водонагревателя, контактирующая с водой, тоже является поверхностью нагрева. Для теплообменников, где осуществляется передача тепла, например, от горячей воды к холодной, термин «поверхность теплообмена» является наиболее приемлемым.

В теплоэнергетическом оборудовании накипь встречается в трех основных формах:

- первичной накипи, которая формируется за счет кристаллизации солей из воды на поверхностях теплообмена;
- мелкодисперсного подвижного шлама, формируемого в объеме воды за счет кристаллизации солей из воды на взвешенных частицах, продуктах коррозии водоводов, центрах парообразования и т.д.;
- вторичной накипи, образующейся за счет «прикипания» указанного шлама к поверхностям теплообмена за счет необоснованно завышенного их нагрева. Проблему защиты от вторичной накипи поверхностей теплообмена необходимо решать на этапе проектирования теплоэнергетического оборудования за счет обеспечения оптимального нагрева поверхностей теплообмена, т.к. бороться с вторичной накипью практически невозможно.

В настоящее время проблема защиты и очистки поверхностей теплообмена теплоэнергетического оборудования от первичной накипи решается либо химической водоподготовкой, при которой обеспечивается удаление из воды накипеобразователей, или физическими методами путем изменения кинетики кристаллизации солей из воды, или механическими воздействиями на поверхности теплообмена, такими как магнитострикционные или ультразвуковые колебания и т.п.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

го поля труб превышают параметры внешнего намагничивающего поля пропорционально магнитной восприимчивости материала труб. Магнитная восприимчивость характеризует способность материала намагничиваться в магнитном поле. Для ферромагнитных труб эта безразмерная величина может достигать порядка 10000.

Для создания замкнутой магнитной цепи устройство для осуществления данного способа содержит генераторы внешнего магнитного поля в виде постоянных магнитов или электромагнитов, питающихся постоянным, однополярным пульсирующим или переменным напряжением, установленные на концах труб водонагревателей и коллекторов или трубных досок котлов и теплообменников.

Генераторы внешних магнитных полей, установленные на поверхностях защищаемых труб в местах их контакта с водой, защищены втулками или прокладками, выполненными из защитных неферромагнитных материалов.

Протекание магнитного потока по защищаемым трубам, являющимся составной частью замкнутой магнитной цепи, вдоль их оси обеспечивает достижение максимально возможного по величине вектора намагниченности труб собственного магнитного поля труб с максимальной величиной вектора индукции и, в случае пульсирующего или переменного магнитного поля, достижение значимого эффекта продольной магнитострикции.

Устройство, реализующее предлагаемый способ защиты и очистки поверхностей теплообмена от первичной накипи, можно достаточно просто адаптировать для любого теплоэнергетического оборудования.

Техническим результатом изобретения является увеличение в сотни раз времени обработки воды собственным магнитным полем ферромагнитных труб водонагревателей, котлов и теплообменников при относительно высокой температуре и сокращение до нулевого значения интервала времени между обработкой воды и ее нагревом. При этом обработка воды магнитными полями в каждый данный момент времени осуществляется не в пол-

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Нижнее значение указанного соотношения $0,85 \leq d/D \leq 0,98$ выбрано исходя из того, что при дальнейшем его уменьшении не происходит интенсификация теплообмена.

Верхнее значение указанного соотношения $0,85 \leq d/D \leq 0,98$ выбрано исходя из того, что при дальнейшем его увеличении происходит загромождение гидравлического тракта теплообменного элемента, что ведет к росту его гидравлического сопротивления.

Верхнее значение указанного соотношения $0,45 \leq t/D \leq 0,6$ выбрано исходя из того, что при дальнейшем его увеличении практически не происходит интенсификация теплообмена, за счет того, что за счет достаточно большой длины между турбулизаторами, поток успевает стабилизироваться.

Нижнее значение указанного соотношения $0,45 \leq t/D \leq 0,6$ выбрано исходя из того, что при дальнейшем его уменьшении происходит рост гидравлического сопротивления тракта теплообменного элемента.

Сущность изобретения иллюстрируется чертежами, где на рисунке 1.6 показан общий вид теплообменного элемента, на рисунке 1.7 - продольное сечение теплообменного элемента с указанием размеров.

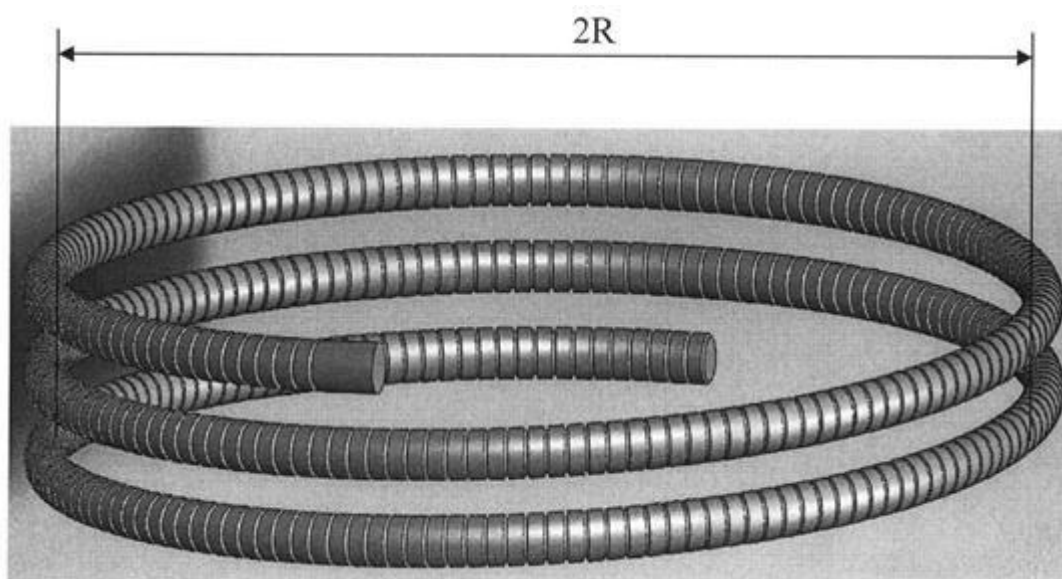


Рисунок 1.6 - Общий вид теплообменного элемента

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

24

может содержать корпус с крышкой, между которыми жестко зажаты концы мембраны, прижатой с помощью возвратной пружины к диску, жестко соединенному со штоком. Гидромеханический преобразователь может содержать сильфон, жестко соединенный с верхним фланцем.

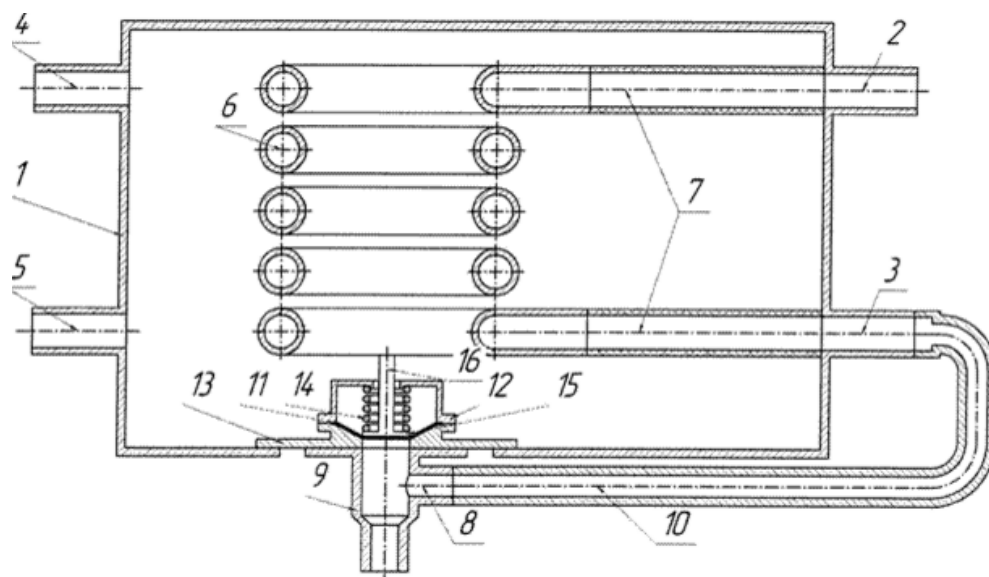


Рисунок 1.8 - Емкостной теплообменник с гидромеханическим преобразователем

Теплообменник содержит (рисунок 1.8) кожух 1 с подводимым 2 и отводящим 3 патрубками греющего контура и отводящим 4 и подводимым 5 патрубками нагреваемого контура. Внутри кожуха расположена трубчатая система, содержащая змеевик 6, концы которого посредством шлангов 7 соединены с подводимым 2 и отводящим 3 патрубками греющего контура. Змеевик 6 жестко соединен с гидромеханическим преобразователем, боковой отвод 8 которого жестко соединен с нижним фланцем 9 и с отводящим 3 патрубком греющего контура с помощью трубы или шланга 10. Гидромеханический преобразователь может быть мембранного типа и включает (Рис. 1.8) мембрану 11, концами жестко зажатую между крышкой 12 и корпусом 13 и прижатую с помощью возвратной пружины 14 к диску 15, жестко со-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

масс металла змеевика 6 и жидкости, как находящейся в нем, так и омывающей его, на границе раздела сред металл - отложения возникает сдвигающий момент, благодаря которому отложения отделяются от поверхности теплообмена.

По сравнению с известным решением предлагаемое позволяет повысить коэффициент теплопередачи в теплообменнике между греющей и нагреваемой средой, снизить металлоемкость конструкции, реализовать эффект самоочищения теплопередающей поверхности. [10]

1.3 Моделирование колебательных процессов в емкостном теплообменнике

В настоящее время существует множество всевозможных программных комплексов и систем автоматического проектирования позволяющих получить довольно точные данные о теплопередачи и о теплопроводности. Все они нашли применение в современном производстве начиная от процесса создания пластмассовой пробки и заканчивая авиастроением и космонавтикой. Но не все эти системы автоматического проектирования доступны обычным пользователям из за сложности их освоения.

Существуют довольно простые в освоении системы автоматического проектирования такие как КОМПАС, SolidWorks, AutoCad и др. но недостатком этих систем является то, что они позволяют получить расчеты в статическом или динамическом процессе, но не в импульсном.

Для моделирования колебаний в контуре косвенного нагрева теплообменника целесообразно применить частотное решение дифференциальных уравнений, при составлении которых удобно применить энергетическую цепь, которая будет подробно рассмотрена в следующем разделе магистерской данной диссертации. [6]

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

1.4 Цели и задачи исследования

Исходя из выше изложенного предстоит решить ряд задач, связанных с разработкой новой конструкции теплообменника, в котором будет реализован повышенный коэффициент теплопередачи в теплообменнике между греющей и нагреваемой средой, снижена металлоемкость и упрощена конструкция теплообменника, а так же наличие эффекта самоочищения теплопередающих поверхностей [2].

Целью проведения экспериментальных исследований является сравнительная оценка теплопередачи емкостного теплообменника в традиционном (с неподвижным) и колеблющимся змеевиком [2].

Для этого необходимо решить следующие задачи, а именно:

- провести анализ методов повышения теплопередачи в теплообменниках;
- разработать функциональную схему лабораторной установки гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды, подобрать оборудование и осуществить его монтаж;
- разработать математическую модель гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды в виде энергитической цепи;
- провести конструктивный расчет водяного гидроаккумулятора;
- выбрать методы и средства измерений;
- выполнить планирование эксперимента и програму испытаний лабораторной установки;
- произвести экспериментальные исследования, обработать результаты и получить экспериментальные зависимости температуры горячей воды от времени нагрева при заданных частотах колебаний потока теплоносителя;

Дальнейшая разработка математической модели гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды и расчет водяного гидроаккумулятора представлен в следующем разделе данной магистерской диссертации

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$\begin{aligned}
& + \frac{a_2 b_1 \Omega^5 j + a_2 b_3 \Omega^3 j + a_4 b_1 \Omega^3 j + a_4 b_3 \Omega j + a_1 b_2 \Omega^5 j + a_1 b_4 \Omega^3 j - a_3 b_2 \Omega^3 j + a_3 b_4 \Omega j}{a_2 \Omega^4 + a_4^2 + a_1 \Omega^6 + a_3 \Omega^2} \\
& = \frac{a_4 b_4 + (a_2 b_4 + a_4 b_2 - a_1 b_3 - a_3 b_3) \Omega^2 + (a_2 b_2 - a_3 b_1) \Omega^4 - a_1 b_1 \Omega^6}{a_2 \Omega^4 + a_4^2 + a_1 \Omega^6 + a_3 \Omega^2} + \\
& + j \frac{(a_4 b_3 + a_3 b_4) \Omega + (a_2 b_3 + a_4 b_1 + a_1 b_4 - a_3 b_2) \Omega^3 + (a_2 b_1 + a_1 b_2) \Omega^5}{a_2 \Omega^4 + a_4^2 + a_1 \Omega^6 + a_3 \Omega^2}. \quad (2.9)
\end{aligned}$$

далее разделяем действительную и мнимую части: без j и $c j$

$$U(\Omega) = \frac{a_4 b_4 + (a_2 b_4 + a_4 b_2 - a_1 b_3 - a_3 b_3) \Omega^2 + (a_2 b_2 - a_3 b_1) \Omega^4 - a_1 b_1 \Omega^6}{a_2 \Omega^4 + a_4^2 + a_1 \Omega^6 + a_3 \Omega^2}, \quad (2.10)$$

$$V(\Omega) = j \frac{(a_4 b_3 + a_3 b_4) \Omega + (a_2 b_3 + a_4 b_1 + a_1 b_4 - a_3 b_2) \Omega^3 + (a_2 b_1 + a_1 b_2) \Omega^5}{a_2 \Omega^4 + a_4^2 + a_1 \Omega^6 + a_3 \Omega^2}. \quad (2.11)$$

Далее с помощью с помощью программного комплекса Microsoft Excel найдем значения коэффициентов, амплитудно-частотную и фазо-частотные характеристики цепи.

где

Амплитудно-частотная характеристика цепи:

$$A(\Omega) = \sqrt{U^2(\Omega) + V^2(\Omega)}. \quad (2.12)$$

Фазо-частотная характеристика цепи:

$$\varphi(\Omega) = -\arctg \frac{U(\Omega)}{V(\Omega)}. \quad (2.13)$$

Таблица 2.1 – Исходные данные

m , кг	$l1$, м ³ ·с/Па	$l2$, м ³ ·с/Па	$r1$, Па/(м ³ /с)	$r2$, Па/(м ³ /с)	$r3$, Па/(м ³ /с)	$v1$, м ³ /с	$v2$, м ³ /с	$v20$, м ³ /с
2,6	4,9	6	0,000165	0,000175	0,000185	4,3	5,1	3,5

Средняя температура нагреваемой воды, °С, найдем по формуле:

$$\bar{t}_2 = t'_1 - \frac{t''_2 - t'_2}{\ln\left(\frac{t'_1 - t'_2}{t'_1 - t''_2}\right)} = 80 - \frac{65 - 8,5}{\ln\left(\frac{80 - 8,5}{80 - 65}\right)} = 43,7 \text{ °С} \quad (2.15)$$

Средняя температура греющей воды на выходе из аппарата, °С, найдем по формуле:

$$\bar{t}_1'' = \bar{t}_2 + (t'_1 - \bar{t}_2)e^{-\frac{rF}{G_1 \cdot c_1}} = 43,7 + (80 - 43,7)e^{-\frac{1,06}{0,13 \cdot 4,187}} = 48,7 \text{ °С}. \quad (2.16)$$

Средняя температура греющей воды, °С, найдем по формуле:

$$\bar{t}_1 \approx 0,5(t'_1 + \bar{t}_1'') \approx 0,5(80 + 48,7) = 64,3 \text{ °С}. \quad (2.17)$$

Число Рейнольдса, найдем по формуле:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_1}{\nu_1}, \quad (2.18)$$

где ω_1 – скорость воды в змеевике, м/с, $\omega_1 = 0,52$ м/с;

d_1 – внутренний диаметр трубки змеевика, м, $d_1 = 0,013$ м

ν_1 – кинематическая вязкость воды, м²/с, $\nu_1 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Подставив значения в формулу (2.18), получим

$$Re_1 = \frac{0,52 \cdot 0,013}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 13520$$

Предварительное значение температуры стенки, °С, найдем по формуле:

$$t_{ст} = \frac{\bar{t}_2 + \bar{t}_1}{2} = \frac{43,7 + 64,3}{2} = 54 \text{ °С}. \quad (2.19)$$

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Определяющая температура нагреваемой воды, °С, найдем по формуле:

$$t_{\Gamma} = \frac{\bar{t}_2 + t_{\text{CT}}}{2} = \frac{43,7 + 54}{2} = 48,85 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.20)$$

Число Грасгофа, найдем по формуле:

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot d_{\text{H}}^3 (t_{\text{CT}} - \bar{t}_2)}{\nu^2}, \quad (2.21)$$

где β – температурный коэффициент расширения теплоносителя, K^{-1} ,

$$\beta = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1};$$

g - ускорение свободного падения, m/c^2 , $g = 9,8 \text{ m/c}^2$;

d_{H} - наружный диаметр трубки змеевика, м, $d_{\text{H}} = 0,016 \text{ м}$.

Подставив значения в формулу (2.21), получим

$$Gr = \frac{3,9 \cdot 10^{-4} \cdot 9,8 \cdot 0,016^3 (54 - 43,7)}{(0,5 \cdot 10^{-6})^2} = 6,4 \cdot 10^{-6}$$

Число Прандтля найдем по формуле:

$$Pr = \frac{\nu}{\frac{x}{\rho \cdot c_1}}, \quad (2.22)$$

где x – коэффициент теплопроводности воды, при 21°C , $x = 0,6$;

ρ – плотность воды, кг/м^3 , $\rho = 999,8 \text{ кг/м}^3$.

Подставив значения в формулу (2.22), получим

$$Pr = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{\frac{0,6}{999,8 \cdot 4,187}} = 3,5$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, найдем по формуле:

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Объем аппарата, м³, найдем по формуле:

$$V = \frac{M}{\rho}, \quad (2.26)$$

где M - объем нагреваемой воды, л, $M = 0,03 \text{ м}^3$.

Подставив полученные значения в формулу (2.26), получим

$$V = \frac{30}{999,8} = 0,03 \text{ м}^3.$$

Принимаем диаметр аппарата 0,34 м, тогда его длину, м, найдем по формуле:

$$L = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 0,34^2} = 0,33 \text{ м}. \quad (2.27)$$

Количество змеевиков, найдем по формуле:

$$n = \frac{4G_1}{\pi d_{\text{вн}}^2 \rho \omega} = \frac{4 \cdot 0,13}{3,14 \cdot 0,013^2 \cdot 999,8 \cdot 0,52} = 0,87 \quad (2.28)$$

Принимаем количество змеевиков равное $n=1$.

Длина змеевика, м, найдем по формуле:

$$l_{\text{зм}} = \frac{F}{1 \pi d_{\text{н}}} = \frac{0,151}{1 \cdot 3,14 \cdot 0,016} = 3 \text{ м}. \quad (2.29)$$

Принимаем длину прямого участка колена змеевика 0,01 м.

3 Экспериментальная установка

Для проведения эксперимента, в процессе проведения которого будут получены данные, необходимые для сравнения различных режимах работы гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды и подтверждения повышения коэффициента теплопередачи в теплообменнике между греющей и нагреваемой средой была необходима лабораторная установка. Процесс разработки функциональной схемы лабораторной установки и выбор средств измерений подробно представлены в последующих подразделах данной магистерской диссертации.

3.1 Разработка функциональной схемы лабораторной установки

Экспериментальная установка включает в себя: емкостной рекуперативный теплообменный аппарат поверхностного типа 1, ударный узел 2, электропривод 3, циркуляционный насос 4, котел водогрейный 5, водомер «СГВ-15Д» БЕТАР 6, первичные измерительные термопреобразователи сопротивления «ДТСО 35Л-100М.0.5.60.И» 7, общая схема экспериментальной установки представлена на рисунке 3.1

										Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД-02069964-13.04.01-06-18					

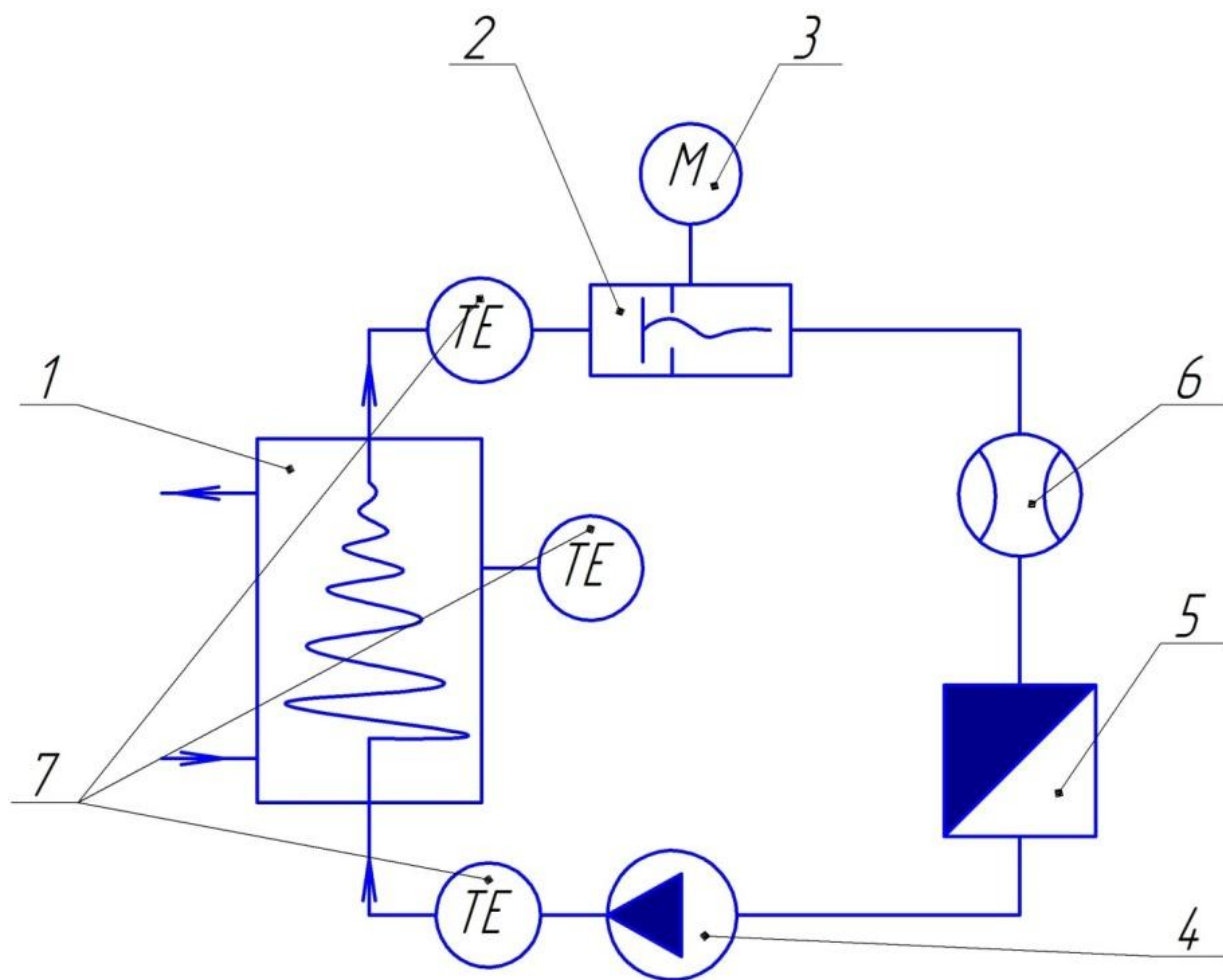


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки

Разработанная система работает следующим образом. Циркуляционным насосом 4 из подающего трубопровода теплоноситель подается в емкостной рекуперативный теплообменный аппарат поверхностного типа 1, затем теплоноситель поступает в ударный узел 3 жестко соединенным с электроприводом 3, который задает частоту работы ударного узла 3, затем проходит через водомер «СГВ-15Д» БЕТАР 6 и далее по обратному трубопроводу в водогрейный котел 5, где он подогревается до расчетной температуры и направляется в подающий трубопровод, после чего цикл повторяется. Так же установлены первичные измерительные преобразователи температуры термопреобразователь сопротивления «ДТСО 35Л-100М.0.5.60.И» 7, которые установлены перед входом в емкостной рекуперативный теплообменный

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

аппарат поверхностного типа 1, на выходе из него и непосредственно в емкостном рекуперативном теплообменном аппарат еповерхностного типа 1.

Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 3.2. Важной частью системы является рекуперативный теплообменный аппарат. Рекуперативный теплообменный аппарат Рисунок 3.3 включает в себя кожух 1 с подводным 2 и отводящим 3 патрубком у нагреваемого контура, внутри которого расположена трубчатая система в виде конусного змеевика 4, установленного вертикально в шарнирных опорах 5, закрепленных на кожухе 1. Конусный змеевик 4 совершает колебательное движение при резких прерываниях потока перед выходным патрубком 6, за счет ударного клапана. Подвод греющей среды к верхней шарнирной опоре осуществляется посредством подводного патрубка 7. [2]

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47



Рисунок 3.2 – Общий вид экспериментальной установки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

48

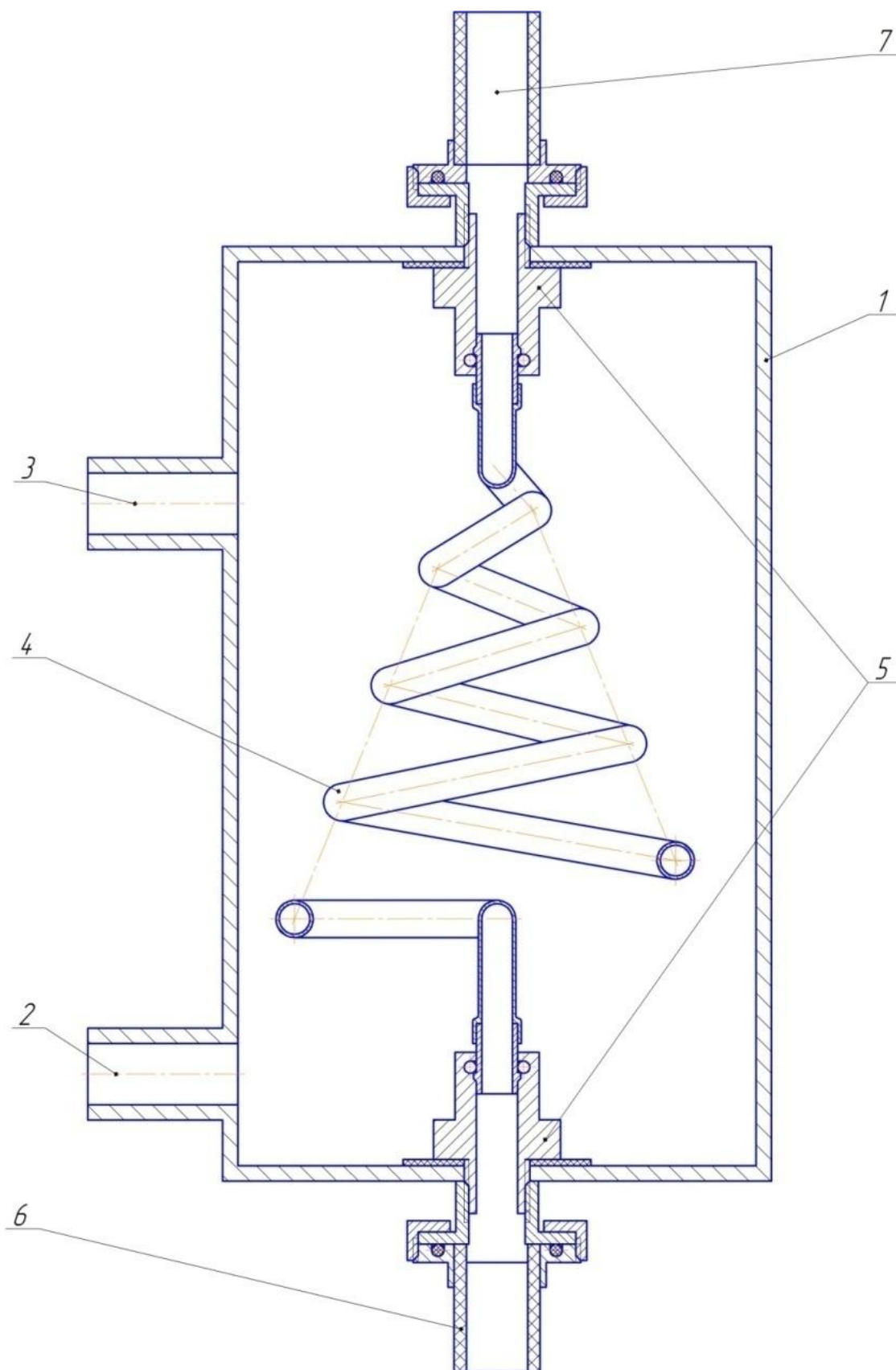


Рисунок 3.3 - Рекуперативный теплообменный аппарат

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

49

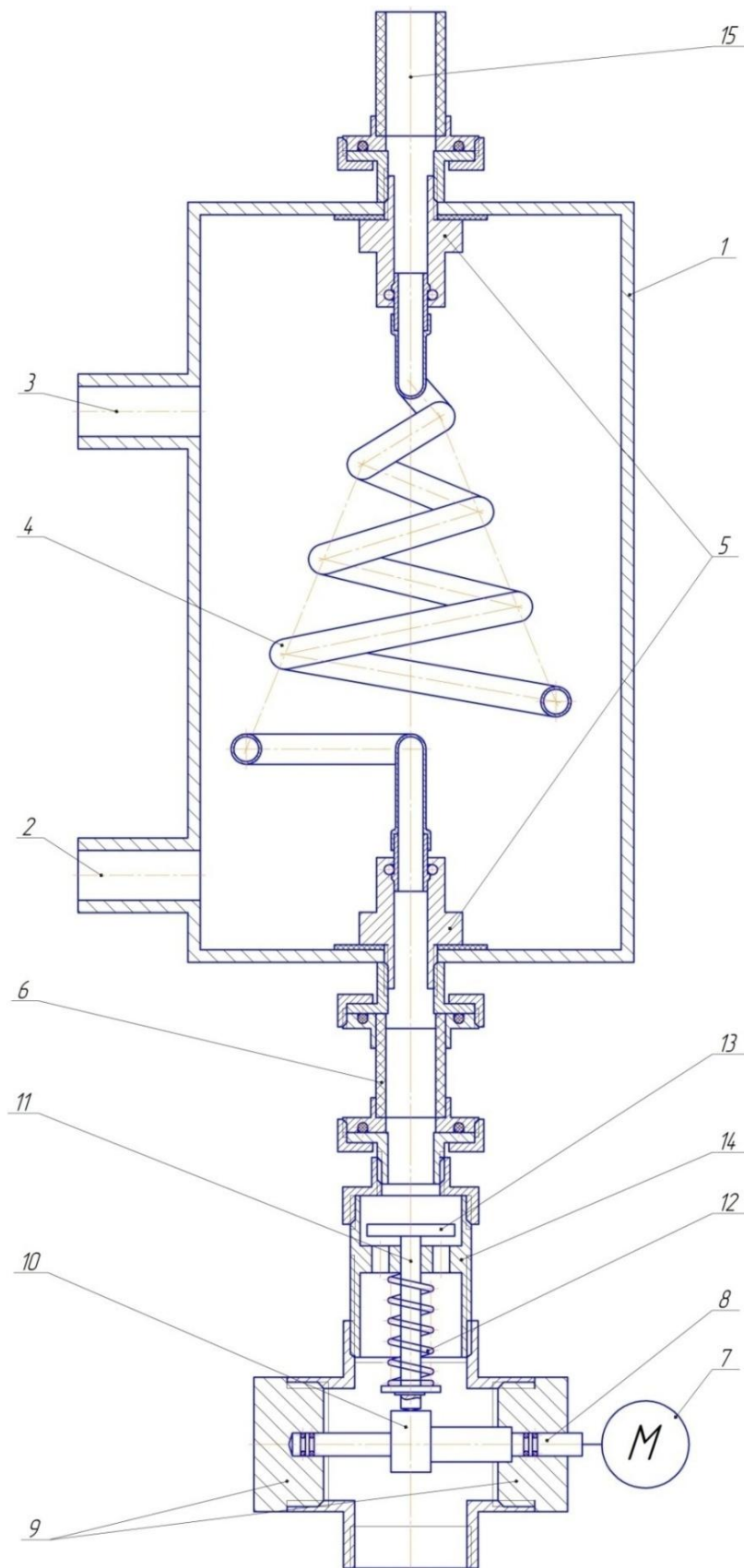


Рисунок 3.4 – Принцип работы рекуперативного теплообменника

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18



Рисунок 3.5 – Конусный змеевик (вид сбоку)



Рисунок 3.6 – Конусный змеевик (вид сверху)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

52

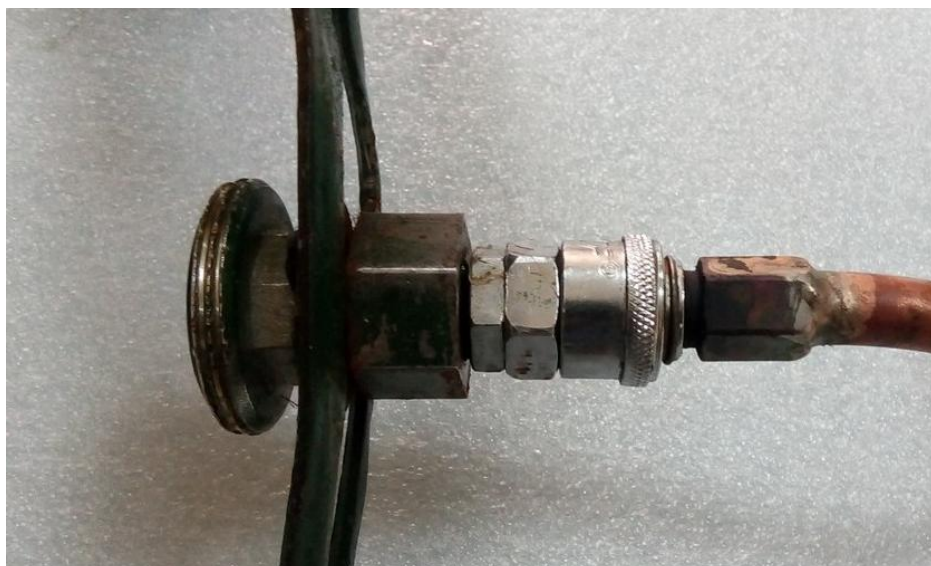


Рисунок 3.7 – Шарнирная опора.



Рисунок 3.8 – Ударный узел.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

53

3.2.2 Первичный измерительный расхода в греющем контуре

Измерение расхода теплоносителя в греющем контуре осуществлялось с помощью водомера «СГВ-15Д» бетар (рисунок 3.10), который имеет дистанционный выход для автоматизированных систем учета энергоресурсов. Единицей измерения служит кубический метр. На данный момент зарегистрирован и сертифицирован Госреестром Российской Федерации



Рисунок 3.10 – Водомер «СГВ-15Д» БЕТАР

Основные технические характеристики водомера «СГВ-15Д» бетар представлены в таблице 3.1.

3.2.4 Программный комплекс LGraph

Программный комплекс. LGraph предназначен для регистрации (просмотр и хранение в цифровом виде) аналоговых сигналов, поданных на входы различных устройств сбора данных производства ЗАО Л-КАРД. Одновременно может быть задействовано несколько устройств подключенных как непосредственно к компьютеру так и через сеть по протоколу TCP/IP.

Основные возможности программы LGraph:

- возможность производить сбор данных одновременно от 100 различных устройств производства Л-КАРД;
- для каждого устройства АЦП может обеспечиваться ввод данных до 16 каналов в режиме дифференциального подключения;
- возможность находясь в одном месте собирать данные с LTR-крейтов, расположенных в любой точке планеты где есть интернет;
- программа поддерживает синхронизацию записи данных на различных компьютерах с помощью подключенного GPS-модуля и т.д.

										Лист
										58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД-02069964-13.04.01-06-18					

4 Экспериментальные исследования

4.1 Планирование эксперимента

При выборе области эксперимента, прежде всего надо оценить границы областей определения факторов. При этом должны учитываться ограничения нескольких типов. Первый тип — принципиальные ограничения для значений факторов, которые не могут быть нарушены ни при каких обстоятельствах. Например, если фактор — температура, то нижним пределом будет абсолютный нуль. Второй тип — ограничения, связанные с технико-экономическими соображениями, например, со стоимостью сырья, дефицитностью отдельных компонентов, временем ведения процесса. Третий тип ограничений, с которым чаще всего приходится иметь дело, определяется конкретными условиями проведения процесса, Например, существующей аппаратурой, технологией, организацией. В реакторе, изготовленном из некоторого материала, температуру нельзя поднять выше температуры плавления этого материала или выше рабочей температуры данного катализатора. Оптимизация обычно начинается в условиях, когда объект уже подвергался некоторым исследованиям. Информацию, содержащуюся в результатах предыдущих исследований, будем называть априорной (т. е. полученной до начала эксперимента). Мы можем использовать априорную информацию для получения представления о параметре оптимизации, о факторах, о наилучших условиях ведения процесса и характере поверхности отклика, т. е. о том, как сильно меняется параметр оптимизации при небольших изменениях значений факторов, а также о кривизне поверхности. Для этого можно использовать графики (или таблицы) однофакторных экспериментов, осуществлявшихся в предыдущих исследованиях или описанных в литературе. Если однофакторную зависимость нельзя представить линейным уравнением (в рассматриваемой области), то в многомерном случае, несомненно, будет существенная кривизна. Обратное утверждение, к сожалению, не очевидно.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

4.2 Планирование и результаты эксперимента в различных режимах

4.2.1 Планирование и результаты эксперимента в стационарном режиме

В качестве исходных параметров теплоносителя были приняты:

- объем подогреваемой воды 30 л;
- расход теплоносителя 0,5 м³/ч;
- температура теплоносителя в падающем патрубке 80° С;
- начальная температура подгрееваемой воды 8,5° С;
- температура наружного воздуха 20° С;
- замеры температуры производилсь с периодичностью 1 мин.

Первый эксперимент проводился без прерывания теплоносителя в подводящем трубопроводе, т.е. в традиционном (с неподвижным змеевиком) режиме.

Проведение замеров температуры подогреваемой воды в кожухе теплообменника от начальной температуры, равной 8,5° С, до нормативной, равной 65° С, а так же температуру теплоносителя в отводящем патрубке. Замеры температуры проведены с периодичностью в 1 минуту. Для этого засекалось время нагрева от начальной температуры, равной 8,5° С, до нормативной, равной 65° С.

Полученные данные заносились в таблицу и обрабатывались с помощью программного комплекса MicrosoftExcel. В результате эксперимента полученные следующие данные, представленные в таблице 4.1, и на рисунке 4.1, а так же время нагрева от начальной температуры до нормативной порядка 36 минут.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Таблица 4.1 – результаты эксперимента при стационарном режиме.

Стационарный режим.				
Время, Т, мин	Температура на входе в змеевик, t1, °С	Температура на выходе из змее- вика, t2, °С	Температура внутри бака, tбак, °С 1 Гц	Разница температуры на входе и на выходе из змеевика, Δ, °С
0	80	70,6	8,5	9,4
1	80	70,9	12,1	9,1
2	80	71,8	15,4	8,2
3	80	72,7	20,1	7,3
4	80	73,9	24,6	6,1
5	80	73,2	26,9	6,8
6	80	73,5	28,5	6,5
7	80	73,6	31	6,4
8	80	74	33	6
9	80	74,4	34,9	5,6
10	80	74,8	36,8	5,2
11	80	75,1	38,5	4,9
12	80	75,2	40,2	4,8
13	80	75,4	41,7	4,6
14	80	75,7	43,4	4,3
15	80	75,9	44,7	4,1
16	80	76	46,5	4
17	80	76,3	47,5	3,7
18	80	76,6	48,8	3,4
19	80	76,6	50,1	3,4
20	80	77	51,4	3
21	80	77,4	52,5	2,6
22	80	77,6	53,8	2,4
23	80	77,8	54,8	2,2
24	80	77,6	55,7	2,4
25	80	77,4	57	2,6
26	80	77,5	57,6	2,5
27	80	77,9	58,7	2,1
28	80	78,3	59,5	1,7
29	80	78,6	60,4	1,4
30	80	78,4	61,1	1,6
31	80	78,2	61,9	1,8
32	80	78,2	62,7	1,8
33	80	78,3	63,3	1,7
34	80	78,8	63,9	1,2
35	80	78,9	64,5	1,1
36	80	79,1	65	0,9

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

63

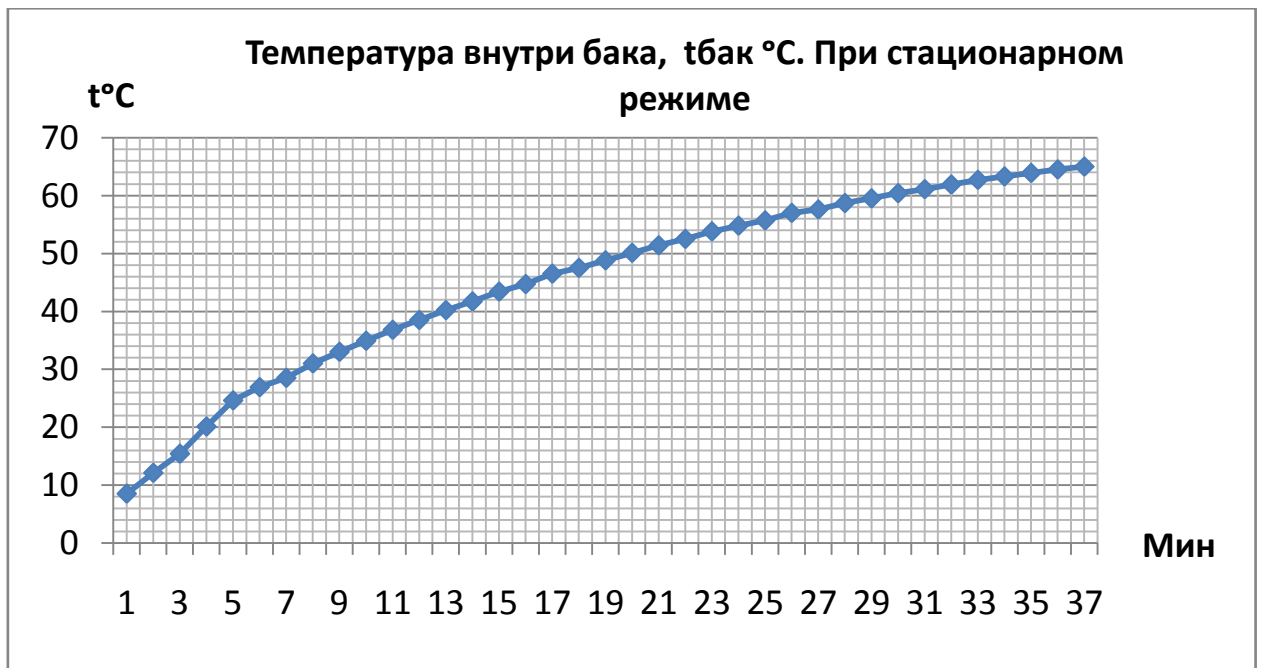


Рисунок 4.1 – График зависимости температуры от времени, при стационарном режиме

Как видно из полученного графика нагрев, от начальной температуры, равной 8,5 °С, до нормативной, равной 65 °С, за период времени равный 37 минут происходил по зависимости, близкой к экспотенциальной. Средняя разница температуры на входе и на выходе из змеевика, составила 3,9 °С.

4.2.2 Планирование и результаты эксперимента в импульсном режиме, (частота 1 Гц)

В качестве исходных параметров теплоносителя были приняты:

- объем подогреваемой воды 30 л;
- расход теплоносителя 0,5 м³/ч;
- температура теплоносителя в падающем патрубке 80 °С;
- начальная тепмпература подгреваемой воды 8,5 °С;

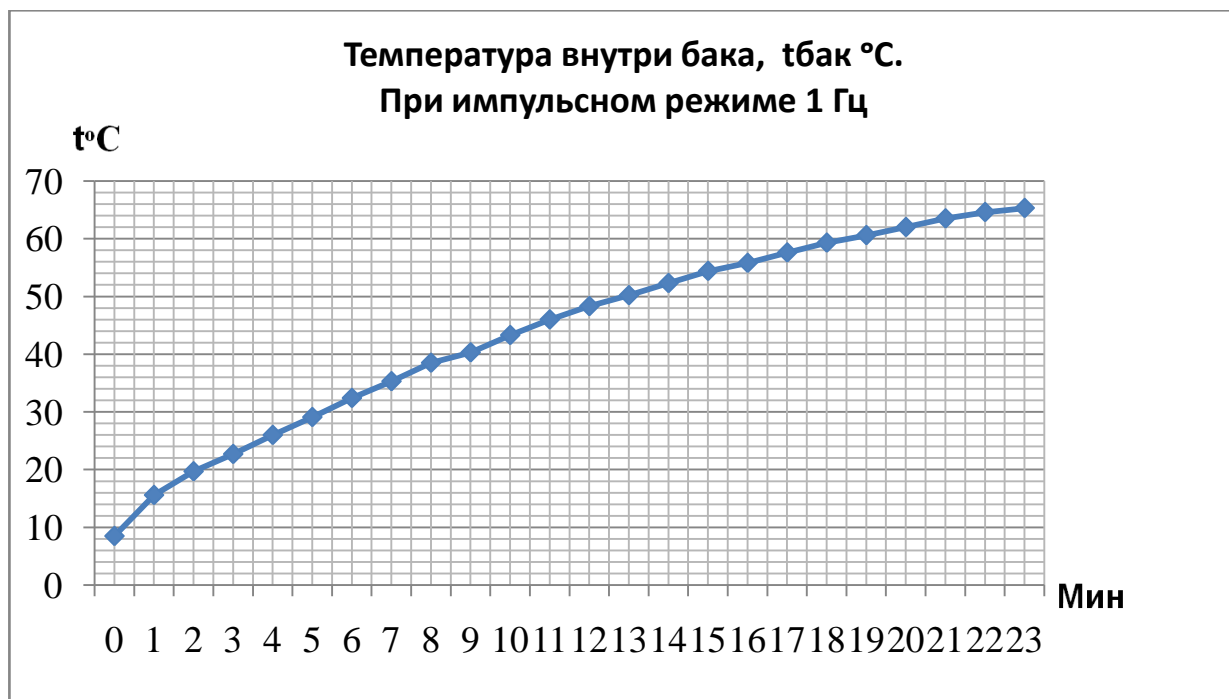


Рисунок 4.2 – График зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 1 Гц

4.2.3 Планирование и результаты эксперимента в импульсном режиме, (частота 2 Гц)

В качестве исходных параметров теплоносителя были приняты:

- объем подогреваемой воды 30 л;
- расход теплоносителя 0,5 м³/ч;
- температура теплоносителя в падающем патрубке 80 °С;
- начальная температура подгреваемой воды 8,5 °С;
- температура наружного воздуха 20 °С;
- замеры температуры производилсь с периодичностью 1 мин.

Первый эксперимент проводим с частотой прерывания теплоносителя в подводящем трубопроводе равной 2 Гц.

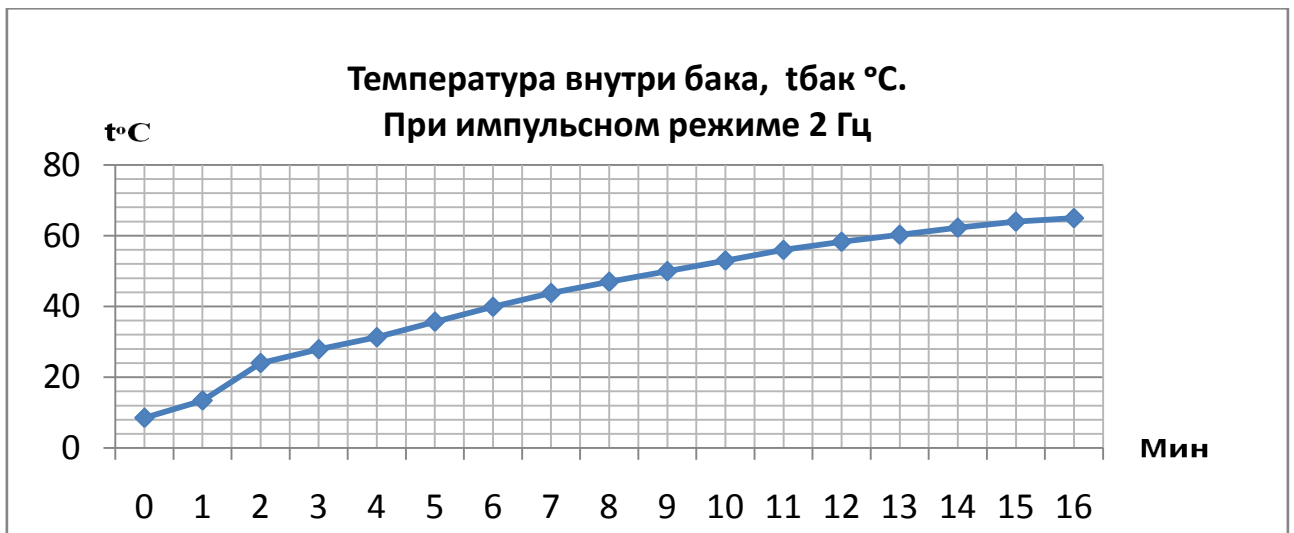


Рисунок 4.3 – График зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 2 Гц

Как видно из полученного графика нагрев, от начальной температуры, равной 8,5° С, до нормативной, равной 65° С, происходил за период времени равный 16 минут, при частоте 2 Гц происходит более интенсивно, чем при частоте 1 Гц, по зависимости, близкой к экспотенциальной. Средняя разница температуры на входе и на выходе из змеевика, составила 9,7° С.

4.2.4 Планирование и результаты эксперимента в импульсном режиме, (частота 3 Гц)

В качестве исходных параметров теплоносителя были приняты:

- объем подогреваемой воды 30 л;
- расход теплоносителя 0,5 м³/ч;
- температура теплоносителя в падающем патрубке 80° С;
- начальная тепмпература подгреваемой воды 8,5° С;
- температура наружного воздуха 20° С;

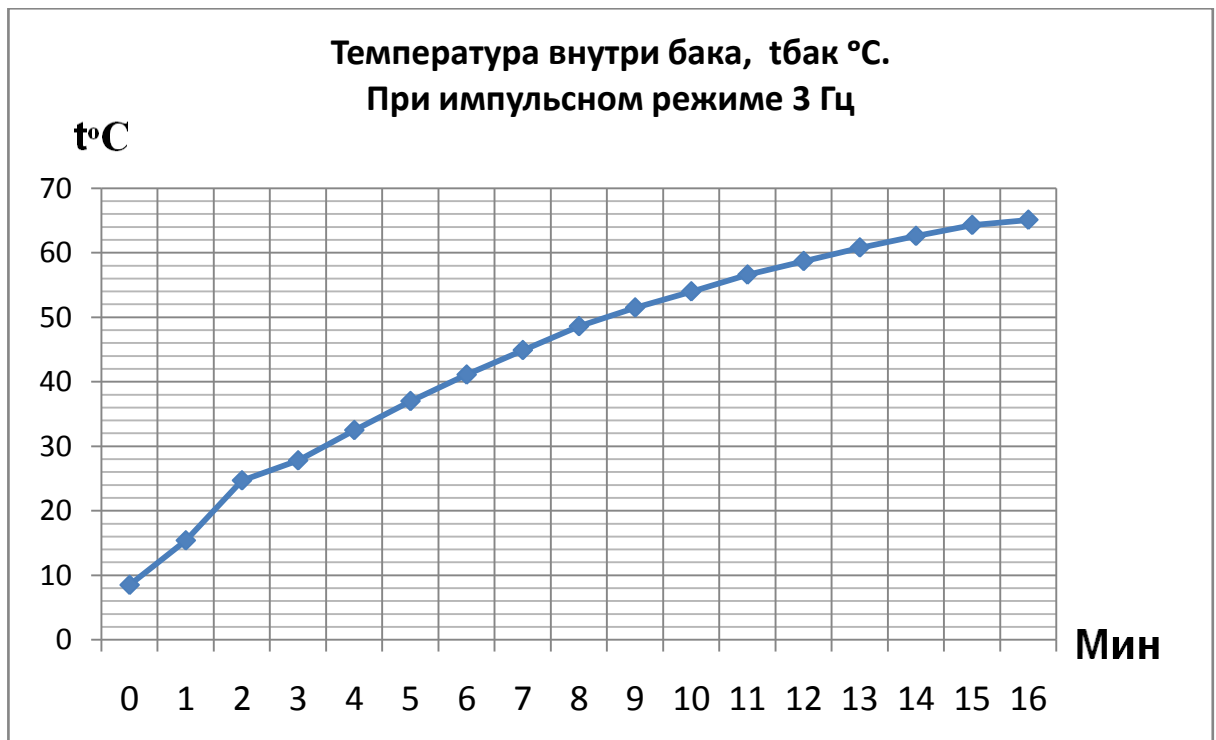


Рисунок 4.4 – График зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 3 Гц

Как видно из полученного графика нагрева, от начальной температуры, равной 8,5° С, до нормативной, равной 65° С, происходил за период времени равный 16 минут, как и при частоте 2 Гц, по зависимости, близкой к экспотенциальной. Средняя разница температуры на входе и на выходе из змеевика, составила 11,4° С.

4.2.5 Сравнительная оценка теплопередачи емкостного теплообменника

В результате проведенных экспериментов, были получены данные по четырем режимам работы: стационарному, импульсному с частотой 1 Гц, импульсному с частотой 2 Гц, импульсному с частотой 3 Гц. Все полученные данные занесены в таблицы (Таблица 4.1-4.4) и были получены следующие резуль-

функцию выбирают такой, чтобы она была максимально удобной для последующих расчетов. Основной подход к решению этой задачи заключается в том, что функция $\hat{f}_i(x)$ выбирается зависящей от нескольких свободных параметров c_1, c_2, \dots, c_n , значения которых подбираются из некоторого условия близости $f(x)$ и $\hat{f}_i(x)$.

Для аппроксимации функции выберем наиболее подходящий режим работы, с наилучшей интенсивностью теплопередачи, а именно импульсный режим с частотой 2 Гц, представленный на рисунке 4.3.

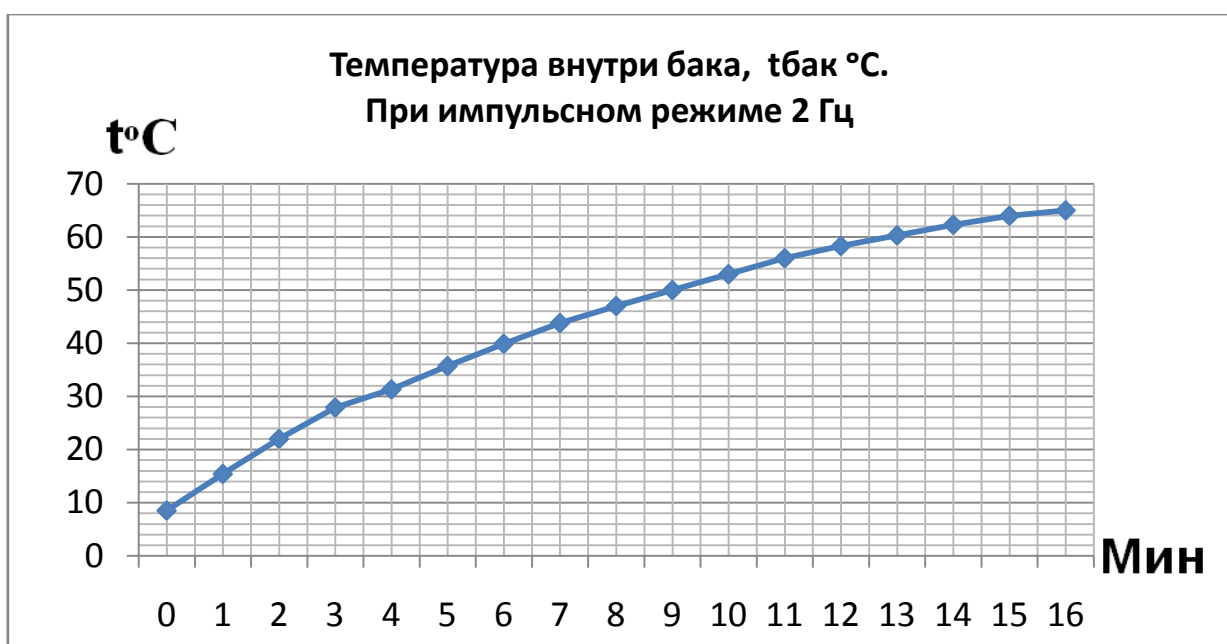


Рисунок 4.3 – График зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 2 Гц

Аппроксимацию функции выполним с помощью программного комплекса MicrosoftExcel, для этого выберем полиномиальную аппроксимацию со степенью равной двум. Результаты моделирования представлены на рисунке 4.6.

Как видно из полученного рисунка (рисунок 4.6) аппроксимируемая функция близка к экспоненциальной и имеет вид:

$$y = a_1 + a_2x + a_3x^2$$

В нашем случае формула приняла такой вид:

$$y = -0,156x^2 + 6,236x + 3,826$$

Так же уровень достоверности составляет $R^2 = 0,998$, что является хорошим показателем, так как он максимально близок к 1.

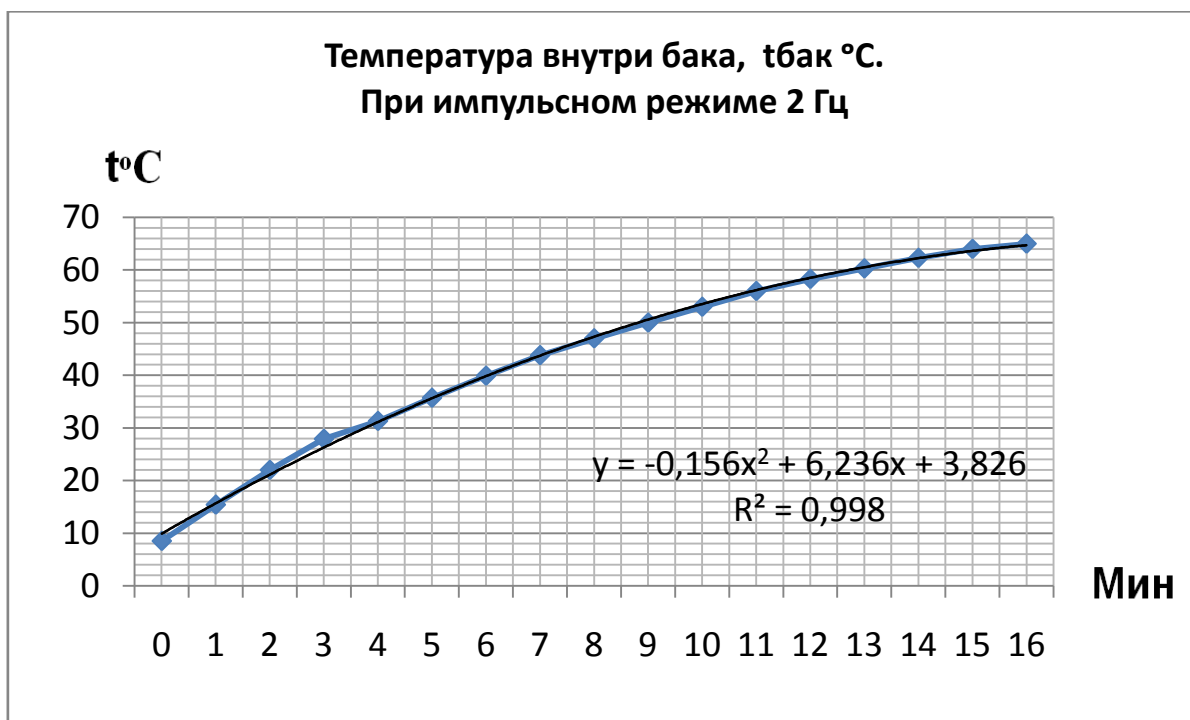


Рисунок 4.6 – Аппроксимация функции зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 2 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды было предложено перспективное направление в модернизации емкостных теплообменных аппаратов. Был проведен анализ литературных источников современных видов теплообменников и их конструкций, а так же систем теплоснабжения с импульсным режимом работы, в результате которого были выявлены проблемы большинства емкостных теплообменников, а именно низкий коэффициент теплопередачи и его снижения в результате зашламления (образования накипи).

Определены исходные параметры теплоносителя, необходимые для конструктивного расчета лабораторного образца гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды и его параметров. Расчет гидроаккумулятора выполнен по известной методике. В результате конструктивного расчета получены габаритные размеры, количество змеевиков, длина змеевиков, площадь греющей поверхности.

Разработана функциональная схема лабораторной установки гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды, позволяющая определить режимы ее работы при частотах прерывания потока теплоносителя от 1 до 3 Гц. Разработана математическая модель гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды в виде системы дифференциальных уравнений. При составлении дифференциальных уравнений применялась энергетическая цепь. В процессе моделирования было выявлено, что наиболее оптимальной зоной частот является частоты от 3,14 до 6,28 рад/с. ($0,5 \pm 1$ Гц).

В результате математического моделирования гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды было установлено, что наиболее оптимальной зоной частот является частоты от 3,14 до 6,28 рад/с. ($0,5 \pm 1$ Гц) и были приняты следующие частоты прерывания теплоносителя в подводящем трубопроводе: 1 Гц, 2 Гц и 3 Гц.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Эффективность теплопередачи по сравнению со стационарным режимом работы повысилась на:

- 39% для импульсный режим с частотой 1 Гц;
- 56% для импульсный режим с частотой 2 Гц;
- 56% для импульсный режим с частотой 3 Гц.

На конкретное решение теплообменника с колебательном змеевиком была поданна заявка на изобретение (рег. номер 2018118220 от 17.05.2018).

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

